نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲

Vol.11, No.2, Summer 2023

۶۳ -۸۲

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]

[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

بررسی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس با استفاده از تلفیق داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس با مدل‌های هیدرولوژی جهانی *GLDAS* و محلی *SWAT*

محمدحسین فکوریان[۱*]، غلامرضا جودکی[۲]، مصطفی نادری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی نقشه برداری (ژئودزی)، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان

۲- استادیار گروه مهندسی نقشه برداری (ژئودزی)، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان

۳- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

چکیده

استفاده بهینه و پایدار از منابع آب نیارمند مطالعه و بررسی بیلان منابع آب اعم‌از سطحی و زیرزمینی می باشد. به دنبال پرتاب موفقیت‌آمیز ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس و سپس ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس فالوآن، استفاده از داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ای برای محاسبه و تخمین بیلان منابع آبی خصوصاً آب‌های زیرزمینی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفت. این مطالعه به بررسی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی آسپاس واقع در شمال استان فارس به مساحت ۷۲۶٫۸۱ کیلو مترمربع طی سال‌های آبی(۱۳۹۴-۱۳۸۱) پرداخته است. باتوجه به قدرت تفکیک مکانی پایین و ابعاد بزرگ پیکسل داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس، امکان محاسبه تغییرات آب‌های زیرزمینی برای آبخوان‌های آبرفتی کوچک امکان پذیر نیست، از این‌رو در این مطالعه با استفاده از روش ماهواره‌ای مبتنی بر مشاهدات سطح سه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس؛ ابتدا تغییرات ذخیره آب زیرزمینی محدوده مطالعه گریس محاسبه و سپس با استفاده از ریزمقیاس نمایی، تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی آسپاس برآورد گردید. نتایج تغییرات سطح آب واقعی آبخوان(حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان) با نتایج ریزمقیاس شده حاصل از ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس مقایسه گردید، که نشان داد نتایج تغییرات واقعی سطح آب با نتایج حاصل از ماهواره‌های گریس ارتباط مناسبی دارد. به‌طوری‌که کاهش حجم ذخیره آب زیرزمینی واقعی حدود ۳۳ میلیون مترمکعب در سال و نتایج حاصل از ماهواره‌های گریس نیز کاهش سطح آب زیرزمینی آبخوان آسپاس را حدود ۲۵ میلیون مترمکعب در سال نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها : ریزمقیاس نمایی، ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس، مدل هیدرولوژی *GLDAS*، مدل هیدرولوژیکی*SWAT*، هیدروگراف واحد آبخوان.

* نویسنده مکاتبه کننده: زنجان، کیلومتر ۴ جاده زنجان-میانه، دانشگاه زنجان، دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری.

تلفن: ۳۳۱۰۲۲۲۴

Email: Mohammadhosein.fakourian@Gmail.com

۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت جهان و توسعهٔ کشاورزی در دهه‌های اخیر و عدم تأمین آب‌های سطحی مورد نیاز بشر، منجر به افزایش روند پمپاژ آب و در نتیجه افت سطح آب‌زیرزمینی و تخلیه سفره‌های زیرزمینی شده است. تهی شدن سفره‌های زیرزمینی پیامدهایی نظیر افزایش هزینه‌های استحصال آب، فرونشست و کاهش کیفیت آب، را دربرخواهد داشت که امروزه به یک مشکل جهانی تبدیل شده است[۱]. ایران نیز از جمله کشورهایی است که به دلیل کمبود منابع آب سطحی، بیشترین آب مصرفی در کشاورزی را از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌کند. بنابراین کمبود منابع آب‌زیرزمینی یکی از بحران‌های زیست محیطی حال حاضر کشور محسوب می‌شود[۲]. از آنجایی که ایران سرزمینی خشک با نزولات جوی بسیار کم است، به‌طوری‌که میانگین بارندگی سالیانه در سطح خشکی‌های کره‌زمین حدود ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود و متوسط بارندگی سالیانه در ایران، تقریبا رقمی معادل ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. ملاحظه می‌شود که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح جهان است. علاوه بر این زمان ریزش نزولات جوی و محل ریزش آن‌ها نیز با نیاز بخش کشاورزی، که مصرف کننده اصلی آب در کشور می‌باشد، مطابقت ندارد. اکثر شهرهای ایران هم در مناطقی واقع هستند که به رودخانه‌هایی که جریان آب آن‌ها مستقیماً از رواناب حاصله از بارندگی‌ها تامین شده باشد، دسترسی ندارند[۳]. برداشت از سطح آبخوان بایستی در حد توان آبدهی آبخوان باشد. در اکثر مناطق کشور برداشت از آبخوان بیشتر از ذخایر استاتیک آبخوان بوده است و بازگشت این آبخوان‌ها به حالت اولیه خود امری غیرممکن به نظر می‌رسد. بنابراین باید پذیرفت که خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و استفاده بهینه از منابع آب یک امر ضروری به شمار می‌رود. حفظ و استفاده بهینه و پایدار از آب تنها از طریق شناخت جامع و همه جانبه منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی میسر است. و این مهم به شرط فراهم بودن آمار و اطلاعات دقیق و مستمر از منابع آب و تخمین بیلان[۱] منابع آب تحقق می‌یابد.

روش‌های سنتی تخمین بیلان منابع آب بسیار پرهزینه و زمان بر است، جایگزینی آن‌ها با روش‌های ماهواره‌ای می‌تواند بسیار باصرفه باشد. به دنبال پرتاب موفقیت‌آمیز ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس[۲] و سپس ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس فالوآن[۳]، استفاده از داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ای برای محاسبه و تخمین بیلان منابع آبی خصوصاً آب‌های زیرزمینی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفت. باتوجه به قدرت تفکیک مکانی پایین و ابعاد بزرگ پیکسل داده‌های ماهواره ثقل‌سنجی گریس، امکان محاسبه تغییرات آب‌های زیرزمینی برای آبخوان‌های آبرفتی کوچک امکان پذیر نیست؛ این مطالعه در نظر دارد با استفاده از ریزمقیاس نمایی تغییرات آب زیرزمینی را برای آبخوان‌های آبرفتی کوچک مورد بررسی قرار دهد. از این رو ابتدا با استفاده از روش ماهواره‌ای مبتنی بر مشاهدات ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس؛ ذخایر کلی آب محدوده مورد مطالعه گریس محاسبه و با کسر مولفه‌های هیدرولوژی نظیر رطوبت خاک، آب معادل برف، برگاب و رواناب سطحی حاصل از مدل هیدرولوژی جهانی *GLDAS*[۴] از ذخایر کلی آب، تغییرات آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس، محاسبه شده است. سپس ریزمقیاس نمایی به کمک داده‌های هواشناسی و مدل‌های هیدرولوژی جهانی *GLDAS* و محلی *SWAT*[۵] صورت گرفته و تغییرات آب‌های زیرزمینی برای آبخوان آبرفتی دشت آسپاس با مساحت ۷۲۶ کیلومتر مربع با استفاده از ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس تخمین زده شده است

---

[۱] بیلان آب، تراز نامه بین عوامل ورودی و عوامل خروجی آب در یک حوضه آبریز، یک محدوده مطالعاتی و یا یک آبخوان در زمان معین می‌باشد.

[۲] *Gravity Recovery And Climate Experiment*

[۳] *GRACE Follow-on*

[4] *Global Land Data Assimilation System*

[5] *Soil and Water Assessment Tool*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

و در نهایت نتایج حاصل شده با هیدروگراف واحد آبخوان آسپاس مورد مقایسه قرار گرفته است.

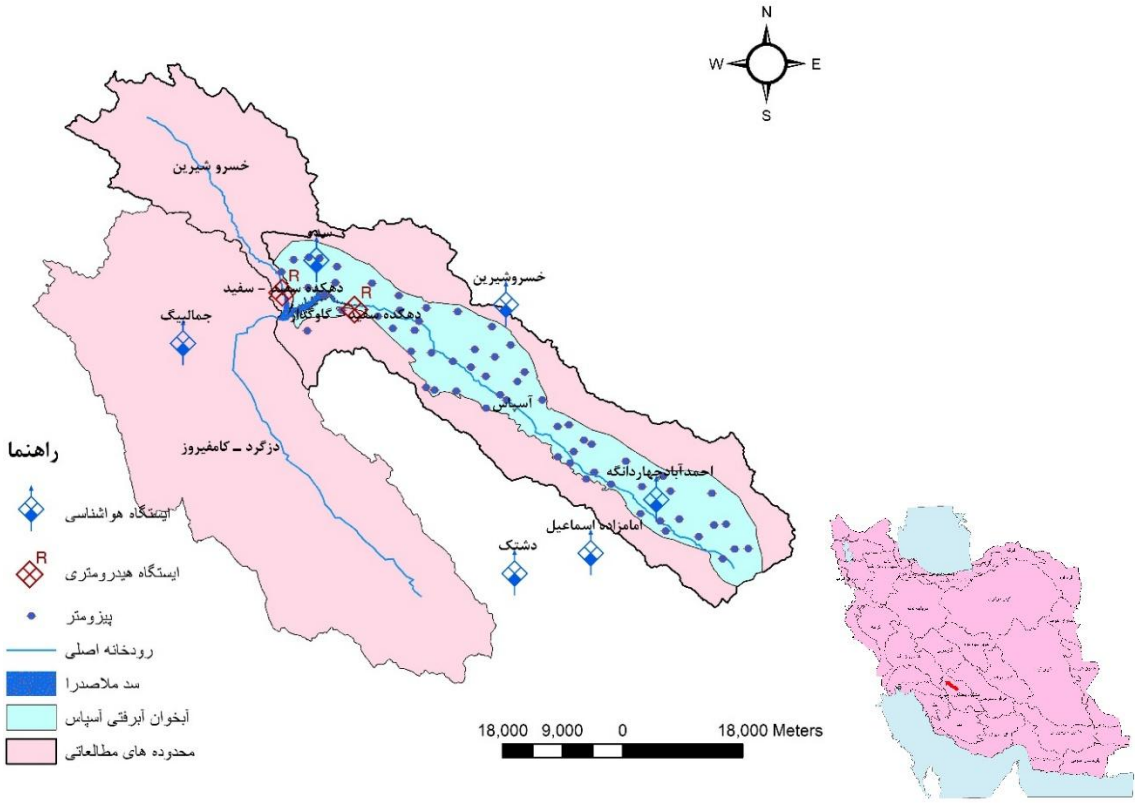
در کشور ایران مطالعات و پژوهش‌های زیادی در زمینه تخمین تغییرات سطح آب زیرزمینی صورت گرفته که به‌صورت مختصر به برخی از آن‌ها اشاره شده است. وس و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه تخلیه آب‌های زیرزمینی منطقه خاورمیانه با ماهواره ثقل سنجی *GRACE* با اشاره به مدیریت آب در منطقه دجله و فرات و غرب ایران طی دوره ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹، به بررسی روند ذخایر آب شیرین در شمال مرکزی خاورمیانه(منطقه رودخانه‌های دجله و فرات و غرب ایران) پرداختند. نتایج نشان دهنده کاهش حجم ۹۱ کیلومتر مکعب آب‌های زیرزمینی است[۴]. فروتن و همکاران (۲۰۱۴) تخمینی از تغییرات ذخایر آب در ایران را با استفاده از ترکیب داده‌های *GRACE*، آلتیمتری و داده‌های هیدرولوژی بدست آوردند[۵]. جودکی و همکاران(۲۰۱۴) در مطالعه برآورد سهم بشر در تخلیه آب‌های زیرزمینی منطقه خاورمیانه با استفاده از مشاهدات ماهواره ثقل‌سنجی گریس، مدل آب‌های سطحی زمین و مشاهدات چاه‌ها طی دوره فوریه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۲، به بررسی تغییرات ماهانه آب‌های زیرزمینی منطقه خاورمیانه پرداخته‌اند[۶]. شریفی و همکاران(۱۳۹۳) در مطالعه کاربرد داده‌های گریس در تعیین سطح آب‌های قاره‌ای محدوده مطالعاتی ایران جهت امکان‌سنجی پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های پروژه ماهواره‌ای گریس، از تغییرات سطح آب معادل به‌دست آمده از مدل‌های ماهانه گریس استفاده کردند[۷]. فتح‌الله زاده و همکاران(۲۰۱۵) در مطالعه رویکردهای موجک و فیلترهای گاوسی برای تخمین تغییرات آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های گریس، از دو روش مبتنی بر تجزیه و تحلیل موجک و فیلتر گاوسی برای اصلاح داده‌های گریس استفاده کرده است؛ که نشان می‌دهد رویکرد موجک می‌تواند سیگنال مورد نظر را بهتر محلی‌سازی کند و نسبت سیگنال به نویز را افزایش دهد و در نتیجه منجر به تخمین دقیق‌تر تغییرات ذخیره‌سازی آب زیرزمینی شود[۸]. فتح‌الله زاده و همکاران(۱۳۹۴) در مطالعه برآورد تغییرات سالیانه آب‌های زیرزمینی در ایران به کمک ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس، تغییرات سالیانه سطح آب زیرزمینی را در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ با استفاده از ماهواره‌های گریس و مدل هیدرولوژی *GLDAS* مورد بررسی قرار دادند[۹]. گل‌محمّدی و جودکی(۱۳۹۸) به مطالعهٔ ریزمقیاس‌نمایی آماری سطح آب‌های زیرزمینی حاصل از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس، با استفاده از روش تجربی رگرسیونی بر پایهٔ روابط بین مشاهدات گریس و دیگر داده‌های هیدرولوژی پرداختند[۱۰]. حاجی زاده و همکاران(۱۳۹۹) به بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس و مدل هیدرولوژی *SWAT* برای حوضه کارون بزرگ پرداخته‌اند. که برای برآورد تغییرات ماهانه سطح آب زیرزمینی حوضه کارون بزرگ، از مدل هیدرولوژیکی *SWAT* برای کسر مولفه‌های هیدرولوژی از ذخایر کلی آب استفاده کرده و نتایج دقت‌های بدست آمده نشان دهنده این است که بیشترین کاهش آب در دراز مدت به دلیل کاهش آب های زیرزمینی است[۱۱].

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده مطالعاتی آسپاس می‌باشد که در شمال غربی حوضه آبریز دریاچه طشک، بختگان و مهارلو واقع شده است. مساحت کل محدوده آسپاس برابر ۱۵۹۰٫۰۳ کیلومتر مربع است که از این میزان ۷۸۵٫۷۲ کیلومتر مربع دشت، ۷۹۵٫۷۰ کیلومتر مربع ارتفاعات و ۸٫۶۲ کیلومتر مربع دریاچه ملاصدرا می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه آسپاس برابر ۳۴۹۵ متر و حداقل ارتفاع برابر ۲۰۶۱ متر است. محدوده مطالعاتی آسپاس دارای آبخوان آبرفتی به مساحت ۷۲۶٫۸۱ کیلومتر مربع با ارتفاع متوسط ۲۱۸۶٫۵ متر می‌باشد. متوسط بارش سالیانه در آبخوان آسپاس با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

منطقه(ایستگاه هواشناسی سده، خسرو شیرین، جمالبیگ، امامزاده اسماعیل، دشتک و احمدآباد چهاردانگه)، ۴۰۱ میلی‌متر در سال محاسبه شد. آبخوان آبرفتی آسپاس، دارای ۶۲ پیزومتر با پراکندگی نسبتاً مناسبی می‌باشد که به صورت ماهانه این پیزومترها توسط سازمان مدیریت منابع آب ایران مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. در شکل(۱) موقعیت و پراکندگی پیزومترهای موجود در آبخوان آسپاس، ایستگاه‌های هواشناسی و ایستگاه‌های هیدرومتری نمایش داده شده است.

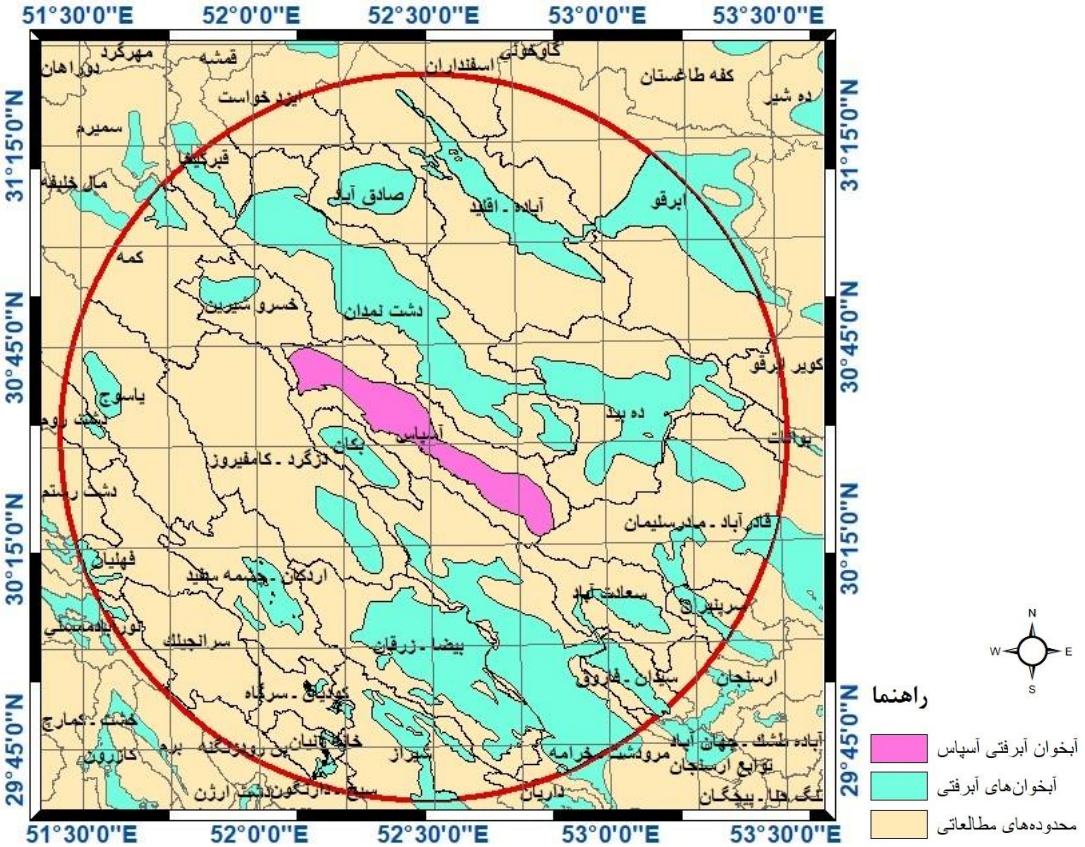


شکل ۱: محدوده مورد مطالعه

۲-۱- منطقه مورد مطالعه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

پروژه ماهواره‌ای گریس امکان ارزیابی منابع آبی را در مقیاس جهانی فراهم کرده است. علی‌رغم وجود پوشش وسیع مکانی، به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین و ابعاد بزرگ پیکسل، امکان استفاده از داده‌های ماهواره ثقل‌سنجی گریس برای مکان هایی با مقیاس کوچک و محلی امکان پذیر نیست[۱۲]. از این‌رو در این پروژه، محدوده مورد مطالعهٔ ماهواره ثقل‌سنجی گریس دایره‌ای به شعاع ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد که مرکز دایره در مرکز آبخوان آسپاس و دارای مختصات با عرض جغرافیایی ″۵۵ ′۲۸ °۵۲ و طول جغرافیایی ″۷ ′۳۱ °۳۰ می‌باشد و در شکل(۲) نمایش داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

۳- روش مطالعه و داده‌ها

این بخش از مطالعه، به بررسی روش مطالعه و منابع داده‌های استفاده شده در این پژوهش اختصاص یافته است.

۳-۱- ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

پروژه ماهواره‌ای گریس، یک پروژه مشترک بین سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده[1] و مرکز هوافضای آلمان[2]، ماموریتی به رهبری محقق اصلی بایرون تاپلی در دانشگاه تگزاس است که در ۱۷ مارس سال ۲۰۰۲ برای بررسی دقیق تغییرات زمانی میدان گرانش، به فضا پرتاب شد. ماموریت گریس به خوبی تغییرات آب، یخ و توده جامد زمین بر روی سطح یا نزدیک زمین را به دلیل تغییر فصول زمین، فرایندهای آب و هوا، زلزله‌ها و حتی فعالیت‌های انسانی، مانند تخلیه سفره‌های زیرزمینی بزرگ را نشان می‌دهد[۱۳]. ماهواره‌های دوقلو گریس در ارتفاع ۴۵۰ تا ۵۰۰ کیلومتری در مداری نزدیک به قطب با زاویه میل ۸۹/۵ درجه با فاصله تقریبی ۲۲۰ کیلومتری از یکدیگر پرواز می‌کنند. با توجه به اینکه ماهواره‌های گریس یکدیگر را در مدار پایین زمین(*LEO*[3]) ردیابی می‌کنند، به عنوان پروژه *LL-SST*[4] شناخته می‌شود. تخمین میدان‌های گرانشی با استفاده از ماموریت *LL-SST* یک پیشرفت نسبتاً جدید است و گریس در واقع اولین ماموریت در این نوع است. هنگامی که ماهواره‌های گریس از روی

[1] *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*
[2] *German Aerospace Center (DLR)*
[3] *Low Earth Orbit*
[4] *Low-Low Satellite-to-Satellite Tracking*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

یک ناهنجاری تـوده‌ای در سـطح زمـین یـا نزدیـک آن عبور می‌کنند، ماهواره پیشـرو ابتـدا ایـن ناهنجـاری را حس می‌کند؛ زیرا باعث ایجاد اختلال کوچکی در مـدار می‌شود. اندکی پس از آن، ماهواره عقبـی دقیقـاً همـان آشفتگی ناشی از همان ناهنجاری را احساس مـی‌کنـد. این ناهنجاری به صورت تغییر فاصـله بـین دو مـاهواره مشاهده می‌شود. با استفاده از تغییرات مشاهده شده در فاصله، موقعیت و شتاب بین ماهواره‌ها، میـدان گـرانش زمین را مـی‌تـوان تعیـین کـرد. تغییـر در فاصـله بـین ماهواره‌ها، داده‌های این ماموریـت اسـت، در حـالی کـه شتاب و موقعیـت بـرای هـر مـاهواره ایجـاد مـی شـود. موقعیت هر ماهواره به طور دقیق توسـط مـاهواره‌هـای *GPS*[1] تعیین می‌شود. به‌طور کلی قدرت تفکیک میدان گرانش زمین به ارتفاع مدار بسـتگی دارد. هرچـه مـدار ماهواره پایین‌تر باشد، قـدرت تفکیـک بهتـر اسـت، امـا موجب کاهش طول عمر ماهواره‌ها می‌شود[۱۴].

داده‌های شبکه‌بندی شده ماهواره‌ای گریس توسط سـه موسسه، مرکز تحقیقـات فضـایی در دانشـگاه تگـزاس، آسـتین[2]، آزمایشـگاه رانـش جـت[3] در پاسـادنا، ایـالات متحده آمریکا و موسسه تحقیقاتی در پوتسدام، آلمـان[4] ارائه می‌شـود. در ایـن مطالعـه از داده‌هـای سـطح سـه مـاهواره‌هـای ثقـل‌سـنجی گـریس کـه توسـط گـروه تحقیقاتی دانشگاه کلرادو تجزیه و تحلیل شـده اسـت و از طریق سایت[5] قابل دسترس می‌باشـد، اسـتفاده شـده است.

۳-۲- مدل هیدرولوژی جهانی *GLDAS*

مـدل هیـدرولوژی *GLDAS*، یـک کـار مشـترک بـین دانشمندان ناسا، مرکز پروازهـای فضـایی گـادِرد[6]، ادارهٔ ملی اقیانوسی و جوّی ایـالات متحـده آمریکـا[7] و مرکـز ملی پیش بینی محیط‌زیسـت ایـالات متحـده آمریکـا[8] است که توسط مرکز پـرواز فضـایی گـادِرد متعلـق بـه سازمان ملی هوانوردی و فضایی ناسا توسعه یافته است. این یک پایگاه داده جهانی است که بـه صـورت رایگـان برای کاربران از طریق اینترنت در دسـترس اسـت[۱۵]. متغیرهـا در پایگـاه داده از چنـدین پـارامتر تشـکیل شده‌اند که عبارتند از رطوبت و دمای خـاک در سـطوح مختلف، بارش، فشار هوا، تبخیر و تعرق، رواناب سطحی و آب معادل برف که برای دستیابی بـه بهتـرین وضـوح فضایی اطلاعات، داده‌ها با استفاده از انـدازه‌گیـری‌هـای زمینی و مشاهدات ماهواره‌ای مدل‌سازی می‌شوند[۱۶]. لازم به ذکر است کـه *GLDAS* یـک منبـع داده بسـیار مهـم بـرای تحقیقـات چرخـه آب و تعـادل اتمسـفر است[۱۷]. هـدف *GLDAS* یکپارچـه‌سـازی مشـاهدات ماهواره‌ای و زمینی با استفاده از مدل‌سازی سطح زمین و تکنیـک‌هـای همسـان‌سـازی داده‌هـا اسـت. چنـین رویکردی منجر به تولید میدان‌های بهینه از حالت‌هـا و شارهای سـطح زمـین مـی‌شـود کـه در هیـدرولوژی و مـدل‌سـازی و پـیش‌بینـی آب و هـوا بسـیار مفیـد هستند[۱۸]. شبیه‌سازی‌ها با وضـوح ۱ درجـه و ۰٫۲۵ درجـه، از سـال ۱۹۴۸ تـاکنون در چهـار مـدل فرعـی، شـامل مـدل *NOAH* (مراکـز ملـی پـیش‌بینـی محیط‌زیست/دانشگاه ایالتی اورگـان/نیروی هوایی/مـدل آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولوژیک)، مـدل *CLM* (مـدل زمین جامع)، مدل *VIC* (ظرفیت نفـوذ متغیـر) و مـدل *MOS* (مدل موزاییک) ارائه شـده‌انـد[۱۹]. محصـولات *GLDAS* شامل داده‌های رطوبت خاک، آب معادل برف، آب سطحی تاج گیاه(برگاب)، میزان بارش باران و برف، تبخیر و تعرق، رواناب سطحی ، رواناب جریان پایـه آب زیرزمینی و ذوب برف می‌باشد[۱۸].

در این مطالعه از داده‌های ماهانه مدل *NOAH* با وضوح

[1] *Global Positioning System*
[2] *the Center for Space Research at the University of Texas, Austin (UTCSR)*
[3] *Jet Propulsion Laboratory (JPL)*
[4] *Geoforschungszentrum (GFZ)*
[5] *http://geoid.colorado.edu/grace/dataportal.html*
[6] *Goddard Space Flight Center (GSFC)*
[7] *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*
[8] *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

۰٫۲۵ درجه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ که در وب‌سایت مرکز خدمات داده‌ها و اطلاعات علوم زمین گدارد(*https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets*) موجود است، استفاده شده است و فایل به فرمت *Net cdf* می‌باشد.

۳-۳- مدل هیدرولوژیکی *SWAT*

مدل هیدرولوژیکی *SWAT*، یک مدل مقیاس حوضه رودخانه یا حوضه آبخیز است که توسط دکتر جف آرنولد برای خدمات تحقیقات کشاورزی توسعه یافته است. *SWAT* برای پیش‌بینی تاثیر شیوه‌های مدیریت زمین بر آب، رسوبات و بازده شیمیایی کشاورزی در حوزه‌های آبخیز پیچیده بزرگ با خاک‌ها، کاربری زمین و شرایط مدیریتی متفاوت در دوره‌های زمانی طولانی توسعه داده شد و مبتنی بر فیزیک است. *SWAT* به جای ترکیب معادلات رگرسیون برای توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی، به اطلاعات خاصی در مورد آب و هوا، خواص خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریت زمین در حوضه نیاز دارد. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوب، رشد محصول، چرخه مواد مغذی و غیره مستقیماً توسط *SWAT* با استفاده از این داده‌های ورودی مدل‌سازی می‌شوند[۲۰].

در این مطالعه از داده‌های تغذیه آب زیرزمینی حاصل از مدل هیدرولوژیکی *SWAT* که توسط نادری(۲۰۲۰) محاسبه شده، استفاده شده است[۲۱].

جدول(۱) خلاصه ای از داده‌های مورد استفاده در این مطالعه است.

جدول ۱: منابع داده‌ها و پردازش

واحدها	پردازش‌ها	متغیرها
تغییرات ماهانه ذخایر آب زمینی بر حسب *[mm]*	دانلود داده‌های سطح سه از نسخه ۰۵	تغییرات ذخایر آب زمینی حاصل از داده های گریس
رطوبت ماهیانه خاک بر حسب *[mm]*	دانلود داده ها با قدرت تفکیک *[0.25°×0.25°]*	رطوبت خاک حاصل از مدل هیدرولوژی *GLDAS/NOAH*
برگاب ماهیانه بر حسب *[mm]*	دانلود داده ها با قدرت تفکیک *[0.25°×0.25°]*	برگاب حاصل از مدل هیدرولوژی *GLDAS/NOAH*
رواناب سطحی ماهیانه بر حسب *[mm]*	دانلود داده ها با قدرت تفکیک *[0.25°×0.25°]*	رواناب حاصل از مدل هیدرولوژی *GLDAS/NOAH*
تبخیر و تعرق ماهیانه بر حسب *[mm]*	دانلود داده ها با قدرت تفکیک *[0.25°×0.25°]*	تبخیر و تعرق حاصل از مدل هیدرولوژی *GLDAS/NOAH*
بارش ماهیانه بر حسب *[mm]*	دانلود داده ها با قدرت تفکیک *[0.25°×0.25°]*	بارش حاصل از مدل هیدرولوژی *GLDAS/NOAH*
آب معادل برف ماهیانه بر حسب *[mm]*	دانلود داده ها با قدرت تفکیک *[0.25°×0.25°]*	آب معادل برف حاصل از مدل هیدرولوژی *GLDAS/NOAH*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

۴- نتایج و بحث

در این قسمت، نتایج حاصل از ماهواره‌های گریس و اعتبارسنجی آن‌ها با استفاده از هیدروگراف واحد آبخوان ارائه شده است.

۴-۱- تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

باتوجه به قدرت تفکیک مکانی پایین و ابعاد بزرگ پیکسل داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس، امکان محاسبه تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس که مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع دارد، مستقیماً امکان پذیر نمی‌باشد. در این مطالعه از ۱۶۸ ماه داده ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس طی اکتبر ۲۰۰۲ تا سپتامبر ۲۰۱۶ برای برآورد تغییرات ذخایر کلی آب استفاده شده است. برای محاسبه تغییرات سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس، با استفاده از مدل هیدرولوژی جهانی *GLDAS*، پارامترهای تغییرات رطوبت خاک، تغییرات آب معادل برف، تغییرات برگاب و تغییرات رواناب سطحی از تغییرات ذخایر کلی آب کسر گردید. سپس با استفاده از محاسبه تغذیه آب زیرزمینی حاصل از مدل‌های هیدرولوژی و تخلیه آب زیرزمینی، عمل ریزمقیاس نمایی صورت گرفت و بدین ترتیب تغییرات ذخایر آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس محاسبه شد.

۴-۱-۱- تغییرات آب‌های ذخیره شده کلی محدوده مورد مطالعه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

برای برآورد تغییرات ماهانه ذخایر کلی آب[1]، از داده‌های سطح سه ماهواره‌های گریس نسخه ۰۵ طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. در این مطالعه از فیلترهای گوسی[2] با شعاع‌های ۲۵ کیلومتر تا ۲۰۰ کیلومتر برای محدوده مورد مطالعه گریس استفاده شده است و همچنین برای حذف کردن نویزهای داده‌های ماهواره ثقل‌سنجی گریس، اثرات سالانه و نیم سالانه در نظر گرفته شده، که از میانگین متحرک شش ماهه استفاده شده است و نتایج آن در جدول(۲) قابل مشاهده می‌باشد.

فیلتر کردن، یک روش برای کاهش خطاها در داده‌ها است. معمولاً نویز سفید[3] در طبیعت به صورت تصادفی وجود دارد و درنتیجه داده‌ها نرم[4] نیستند، به عبارتی آشکارسازی سیگنال‌ها در حضور نویز به خوبی صورت نمی‌گیرد و با فیلتر کردن نویزها، سیگنال‌ها بهتر نمایش داده می‌شوند. بنابراین ما بعد از فیلتر کردن، داده‌ها را به‌صورت نرم دریافت می‌کنیم. فیلتر یک عملیات روی سیگنال است که باعث تغییر طیف سیگنال می‌شود[۲۲]. داده‌های ماهانه گریس با اثرات مدل نشده‌ای مانند هیدرولوژی، بازگشت یخبندان، تغییرات جرم در کلاهک یخی قطب، فعالیت‌های لرزه‌ای و آتشفشانی همراه هستند. علاوه بر اثرات مدل نشده، سیگنال‌های غیرواقعی ثقل از مؤلفه‌های سیستماتیک و تصادفی در داده ها وجود دارند. این خطاها ناشی از منابع مختلف مانند نواقص پتانسیل[5] در داده‌های ماهواره گریس، پارامترهای حرکت مداری، خطاهای *GPS* و غیره است. اثرات این سیگنال‌های غیرواقعی می‌تواند به طور قابل توجهی با فیلترهای ضرایب هارمونیک کروی گریس با روش فیلتر ایزوتروپیک یا غیرایزوتروپیک کاهش یابند. فیلتر گوسین نمونه‌ای از فیلتر ایزوتروپیک و فیلتر از بین برنده نوار یک فیلتر غیرایزوتروپیک است[۲۳]. در این مطالعه، این اثرات توسط گروه تحقیقاتی دانشگاه کلرادو[6] تجزیه و تحلیل شده است. روند تغییرات آب‌های ذخیره شده کلی به کمک رابطه کمترین

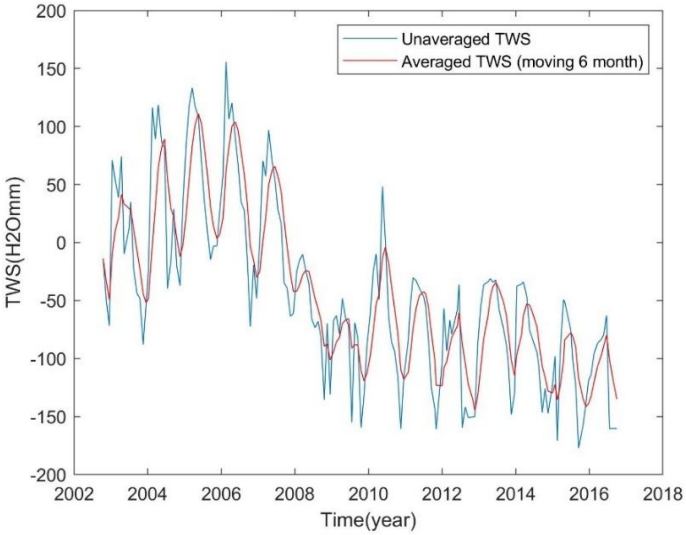
---

[1] *Total Water Storage (TWS)*
[2] *Gosian Filter*
[3] *White Noise*
[4] *Smooth*
[5] نواقص پتانسیل، ناشی از عدم صحیح بودن ضرایب هارمونیک کروی با درجات پایین در مدل‌های پتانسیل ماهواره‌ای گریس می‌باشد.
[6] *http://geoid.colorado.edu/grace/dataportal.html*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

مربعات، با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس برای محدوده مورد مطالعه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس با فیلتر گوسی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر در شکل(۳) رسم شده است. با توجه به اینکه فیلترینگ بیش از حد موجب از بین رفتن داده‌ها می‌شود در این مطالعه از فیلتر گوسی با شعاع کمتر از ۱۰۰ کیلومتر استفاده نشده و همچنین با توجه به محدوده مورد مطالعه گریس که محدوده‌ای با شعاع ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد از فیلترهای گوسی با شعاع بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر نیز استفاده نشده است.

تغییرات حجم ذخایر کلی آب طی اکتبر ۲۰۰۲ تا سپتامبر ۲۰۱۶ با فیلتر گوسی با شعاع‌های مختلف محاسبه شده است. تغییرات حجم ذخایر کلی آب با شعاع‌های مختلف بین ۳۸۲- تا ۴۰۰- میلیون مترمکعب برای محدوده مورد مطالعه گریس طی این دوره متغیر است و نتایج آن در جدول(۲) نمایش داده شده است.



شکل۳: تغییرات آب‌های ذخیره شده کلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس برای محدوده مورد مطالعه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس(فیلتر گوسی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر)

۴-۱-۲- تغییرات سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

یکی از روش‌های مرسوم برای کسر پارامترهای هیدرولوژی از ذخایر کلی آب حاصل شده از ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس استفاده از مدل‌های جهانی هیدرولوژی است. مدل‌های جهانی هیدرولوژی مانند *GLDAS* با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای امکان بررسی تغییرات پارامترهای هیدرولوژی را در مناطق خشکی سراسر کره‌زمین فراهم می‌کنند. البته به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های زمینی کافی در برخی از نقاط زمین مانند تبت، گرینلند و بیابان‌های وسیع آفریقا هیچگونه اطلاعاتی وجود ندارد[۲۴].

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

جدول ۲: تغییرات آب‌های ذخیره شده کلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس برای محدوده مورد مطالعه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

تغییرات ذخایر کلی آب دوره (mm)	فیلترهای گوسی با شعاع‌های مختلف (km)	مساحت (km^2)	تغییرات حجم ذخایر کلی دوره (MCM)
-۱۲٫۷۳۶	۲۵	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۴۰۰٫۱۰
-۱۲٫۶۷۴	۵۰	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۳۹۸٫۱۶
-۱۲٫۵۸۰	۷۵	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۳۹۵٫۲۰
-۱۲٫۴۶۶	۱۰۰	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۳۹۱٫۶۳
-۱۲٫۳۴۹	۱۲۵	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۳۸۷٫۹۴
-۱۲٫۲۴۵	۱۵۰	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۳۸۴٫۴۹
-۱۲٫۱۷۳	۱۷۵	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۳۸۲٫۴۴
-۱۲٫۱۴۹	۲۰۰	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۳۸۱٫۶۶

ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس، توانایی محاسبه ذخایر کلی آب را برای یک منطقه دارند و برای برآورد تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌بایست طبق رابطه(۱) مولفه‌های حاصل شده از مدل‌های هیدرولوژی جهانی، از ذخایر کلی آب حاصل شده از ماهواره‌های ثقل سنجی گریس کسر گردد تا به تغییرات سطح آب زیرزمینی دست پیدا کرد. در این مطالعه از مدل هیدرولوژی *GLDAS* برای کسر مولفه‌های هیدرولوژی استفاده شده است.

رابطه(۱)

$$\Delta GWS = \Delta TWS - \Delta SM - \Delta SWE - \Delta CWS - \Delta Q_S$$

در رابطه(۱)، ΔGWS تغییرات سطح آب زیرزمینی، ΔTWS تغییرات ذخایر کلی آب زیرزمینی حاصل از مشاهدات گریس، ΔSM تغییرات رطوبت خاک، ΔSWE تغییرات آب معادل برف، ΔCWS تغییرات برگاب و ΔQ_S تغییرات رواناب سطحی می‌باشد.

با استفاده از رابطه کمترین مربعات که در رابطه(۲) ارائه شده است، روند تغییرات ذخایر کلی آب و روند تغییرات مولفه‌های هیدرولوژی برای دوره مورد نظر (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶) محاسبه گردید و در نهایت روند تغییرات آب زیرزمینی محاسبه شد. سپس با استفاده از مساحت محدوده مورد نظر، روند تغییرات حجم آب زیرزمینی دوره مورد مطالعه در جدول(۳) نمایش داده شده است؛ که بیانگر این است که به‌طور میانگین سالانه ۲۴۷٫۰۶ میلیون مترمکعب(فیلتر گوسی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر) از ذخایر آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه گریس کاهش می‌یابد.

در رابطه(۲)، پارامترهای A، B، C، D، E و F پارامترهای مجهول هستند که با استفاده از رابطه کمترین مربعات محاسبه می‌شوند و پارامتر A بیانگر بایاس و B بیانگر روند تغییرات و پارامتر های C، D، E و F به‌ترتیب مؤلفه‌های سالانه و نیم‌سالانه هستند. همچنین n برابر تعداد ماه مشاهدات، t بازه زمانی و y مشاهدات ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس می‌باشد.

با استفاده از کسر پارامتر های هیدرولوژی از ذخایر کلی آب طی اکتبر ۲۰۰۲ تا سپتامبر ۲۰۱۶ با فیلتر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

گوسی با شعاع‌های مختلف تغییرات حجم آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس محاسبه شده است. تغییرات حجم آب زیرزمینی با شعاع‌های مختلف بین ۲۳۷- تا ۲۵۵- میلیون مترمکعب متغیر بوده و نتایج آن در جدول(۳) نمایش داده شده است.

رابطه(۲)

$$f(\varphi,\lambda,t) = A + Bt + \sum C_i COS(2\pi t) + \sum D_i SIN(2\pi t) + \sum E_i COS(\pi t) + \sum F_i SIN(\pi t)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cos 2\pi t_1 & \sin 2\pi t_1 & \cos \pi t_1 & \sin \pi t_1 \\ 1 & t_2 & \cos 2\pi t_2 & \sin 2\pi t_2 & \cos \pi t_2 & \sin \pi t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_n & \cos 2\pi t_n & \sin 2\pi t_n & \cos \pi t_n & \sin \pi t_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{bmatrix}$$

جدول۳: تغییرات حجم آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس برای دوره مطالعه(۱۳۹۴-۱۳۸۱)

روند تغییرات ذخایر کلی آب (mm)	فیلترگوسی با شعاع‌های مختلف (km)	تغییرات رطوبت خاک (mm)	تغییرات آب معادل برف (mm)	تغییرات برگاب (mm)	تغییرات رواناب سطحی (mm)	تغییرات آب زیرزمینی (mm)	مساحت (km2)	تغییرات حجم آب زیرزمینی (MCM)
۱۲٫۷۳۶-	۲۵	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۵۵٫۵۲
۱۲٫۶۷۴-	۵۰	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۵۳٫۵۸
۱۲٫۵۸۰-	۷۵	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۵۰٫۶۳
۱۲٫۴۶۶-	۱۰۰	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۴۷٫۰۶
۱۲٫۳۴۹-	۱۲۵	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۴۳٫۳۷
۱۲٫۲۴۵-	۱۵۰	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۴۰٫۱۱
۱۲٫۱۷۳-	۱۷۵	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۳۷٫۸۷
-۱۲٫۱۴۹	۲۰۰	-۴٫۵۳۵	-۰٫۰۶۵	-۰٫۰۰۱	-۰٫۰۰۰۱	-۷٫۸۶۴	۳۱۴۱۵٫۹۳	-۲۳۷٫۰۹

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

۴-۱-۳- تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس با استفاده از ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس

همانطور که بیان شد، به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین و ابعاد بزرگ پیکسل داده‌های ماهواره ثقل سنجی گریس، امکان محاسبه مستقیم تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس امکان‌پذیر نمی‌باشد. باتوجه به اینکه عامل تغییرات سطح آب‌زیرزمینی یک منطقه، به مولفه‌های تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی آن منطقه بستگی دارد، در این مطالعه، برای تخمین تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس، مولفه‌های تغذیه آب زیرزمینی برای محدوده مورد مطالعه گریس با استفاده از مدل *GLDAS* و مولفه‌های تغذیه آب زیرزمینی برای آبخوان آبرفتی آسپاس با استفاده از مدل *SWAT* محاسبه شده است. تخلیه آب زیرزمینی نیز از طریق سازمان مدیریت منابع آب ایران دریافت شده است، با این تفاسیر می‌توان با استفاده از کسر تخلیه آب زیرزمینی از تغذیه آب‌زیرزمینی، تغییرات سطح آب‌زیرزمینی را برای محدوده مورد مطالعه گریس و آبخوان آبرفتی آسپاس تخمین زد. باتوجه به اینکه مدل *GLDAS* یک مدل جهانی می‌باشد در این مطالعه برای بهبود نتایج از مدل محلی *SWAT* برای تغذیه آب‌زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس استفاده شده است. سپس از رابطه(۳) برای ریزمقیاس نمایی و محاسبه تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس برای دوره (۱۳۹۴-۱۳۸۱) استفاده شده است که نشان می‌دهد آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس سالانه ۲۴/۵۴ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد و نتایج آن در جدول(۴) ارائه شده است.

$$\Delta GWS_{Aquifer} = \frac{(GWR_{Aquifer})_{SWAT} - Abstraction_{Aquifer}}{(GWR_{Circle})_{GLDAS} - Abstraction_{Circle}} \times \Delta GWS_{Circle}$$ رابطه(۳)

در رابطه(۳):

$GWS_{Aquifer}$: تغییرات آب‌های زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس

$(GWR_{Aquifer})_{SWAT}$: تغذیه آب‌های زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس محاسبه شده از طریق مدل *SWAT*

$(GWR_{Circle})_{GLDAS}$: تغذیه آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس محاسبه شده از طریق مدل *GLDAS*

$Abstraction_{Aquifer}$: تخلیه آب‌های زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس

$Abstraction_{Circle}$: تخلیه آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس

GWS_{Circle}: تغییرات آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس محاسبه شده از طریق ماهواره ثقل‌سنجی گریس

باتوجه به‌اینکه امکان محاسبه تغذیه آب زیرزمینی مستقیماً از طریق مدل *GLDAS* امکان پذیر نمی‌باشد، تغذیه آب‌زیرزمینی برای محدوده مورد مطالعه گریس با استفاده ازرابطه(۴) محاسبه شده است؛ که در آن P بیانگر بارش، Q_S بیانگر رواناب سطحی، ET بیانگر تبخیر و تعرق و SM بیانگر رطوبت خاک می‌باشد.

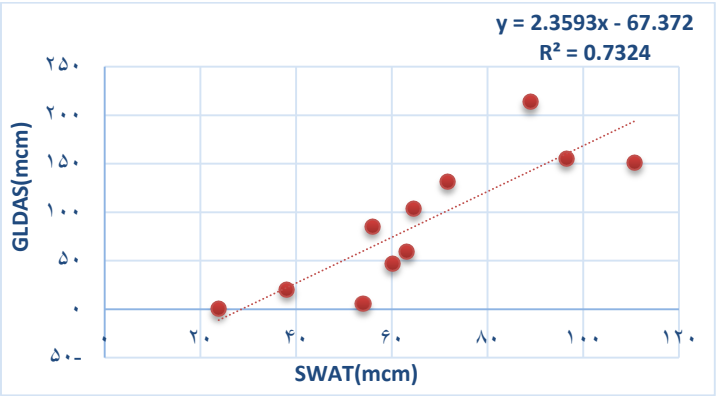
$$GWR = P - Q_S - ET - SM$$ رابطه(۴)

در جدول(۴) تغذیه آب‌های زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس با استفاده از مدل هیدرولوژیکی محلی *SWAT* و مدل جهانی *GLDAS* مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه مدل هیدرولوژیکی *SWAT* یک مدل محلی می‌باشد تغذیه آب زیرزمینی را با دقت مناسب‌تری تخمین می‌زند. سپس برای اعتبارسنجی تغذیه آب زیرزمینی حاصل از مدل *GLDAS*، نتایج حاصل شده با نتایج حاصل از مدل *SWAT* مورد مقایسه قرار گرفت که ضریب تعیین(R^2) آن برابر ۰/۷۳ تخمین زده شد که در شکل(۴) قابل مشاهده می‌باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

جدول ۴:تغذیه آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس و محدوده مطالعهٔ گریس

سال آبی	مدل *SWAT* برای آبخوان (*MCM*)	مدل *GLDAS* برای آبخوان (*MCM*)	مدل *GLDAS* برای دایره (*MCM*)
۱۳۸۱	۸۵٫۴۵	۵۵٫۹۱	۲۵۰۶٫۳۹
۱۳۸۲	۲۱۳٫۹۲	۸۸٫۹۱	۳۹۱۱٫۰۹
۱۳۸۳	۱۵۵٫۵۲	۹۶٫۴۳	۴۳۴۰٫۷۹
۱۳۸۴	۱۰۳٫۹۷	۶۴٫۶۳	۲۹۸۲٫۵۷
۱۳۸۵	۱۵۱٫۸۴	۱۱۰٫۷۷	۴۸۲۹٫۱۲
۱۳۸۶	۰٫۰۴	۲۳٫۸۰	۱۰۶۰٫۶۸
۱۳۸۷	۵٫۹۴	۵۴٫۰۱	۱۹۴۹٫۹۳
۱۳۸۸	۲۰٫۴۱	۳۸٫۰۸	۱۷۴۳٫۰۷
۱۳۸۹	۵۹٫۱۷	۶۳٫۱۵	۲۹۰۹٫۰۴
۱۳۹۰	۱۳۱٫۴۸	۷۱٫۶۵	۳۲۷۱٫۲۶
۱۳۹۱	۴۷٫۲۲	۶۰٫۰۳	۲۵۷۳٫۷۲
۱۳۹۲	۱۳۳٫۶۸	۸۵٫۲۲	۳۱۷۷٫۵۳
۱۳۹۳	۶۷٫۱۸	۵۷٫۰۳	۲۷۱۹٫۲۳
۱۳۹۴	۵۶٫۸۷	۵۲٫۶۶	۲۴۵۰٫۵۵



شکل ۴: رابطه بین تغذیه آب‌های زیرزمینی محاسبه شده از مدل *GLDAS* و *SWAT* برای آبخوان آسپاس

در جدول(۵) حاصل کسر تخلیه آب زیرزمینی از تغذیه آب زیرزمینی برای محدوده مورد مطالعه گریس با مساحتی حدود ۳۱۴۱۶ کیلومتر مربع و همین‌طور برای آبخوان آبرفتی آسپاس با مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع نمایش داده شده است و سپس با استفاده از رابطه(۳) میزان تغییرات حجم آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس برای هر سال محاسبه شد و بیانگر آن است که به‌طور میانگین سالیانه ۲۴٫۵۴ میلیون متر مکعب از ذخایر آب زیرزمینی آبخوان آسپاس کاهش می‌یابد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

جدول ۵: محاسبه تغییرات حجم آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس با استفاده از رابطه(۳)

سال	$(GWR_{Circle})_{GLDAS} - Abstraction_{Circle}$ (MCM)	$(GWR_{Aquifer})_{SWAT} - Abstraction_{Aquifer}$ (MCM)	رابطه(۳)
۱۳۸۱	-۱۸۴۳٫۳۸	-۱۳۵٫۰۳	-۱۸٫۱۰
۱۳۸۲	-۱۵۲۹٫۴۸	-۱۳۸٫۷۳	-۲۲٫۴۱
۱۳۸۳	-۱۲۱۱٫۸۲	-۱۹۷٫۹۸	-۴۰٫۳۶
۱۳۸۴	-۲۵۷۵٫۱۳	-۳۰۵٫۹۰	-۲۹٫۳۵
۱۳۸۵	-۲۰۳۹٫۵۰	-۳۶۳٫۱۰	-۴۳٫۹۸
۱۳۸۶	-۵۷۴۹٫۰۸	-۵۶۹٫۲۴	-۲۴٫۴۶
۱۳۸۷	-۸۶۲۳٫۱۲	-۷۶۶٫۶۱	-۲۱٫۹۶
۱۳۸۸	-۱۱۴۹۰٫۱۳	-۹۴۶٫۶۶	-۲۰٫۳۵
۱۳۸۹	-۱۳۱۸۹٫۶۸	-۱۰۸۱٫۹۸	-۲۰٫۲۷
۱۳۹۰	-۱۴۰۰۱٫۵۱	-۱۱۳۹٫۰۴	-۲۰٫۱۰
۱۳۹۱	-۱۵۵۳۸٫۲۷	-۱۲۷۴٫۳۹	-۲۰٫۲۶
۱۳۹۲	-۱۵۸۴۸٫۰۰	-۱۳۱۷٫۳۳	-۲۰٫۵۴
۱۳۹۳	-۱۶۹۲۷٫۲۰	-۱۴۲۰٫۸۰	-۲۰٫۷۴
۱۳۹۴	-۱۸۲۱۷٫۷۰	-۱۵۲۸٫۶۳	-۲۰٫۷۳
میانگین	-۹۱۹۸٫۸۶	-۷۹۸٫۹۶	**-۲۴٫۵۴**

۴-۲- تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس با استفاده از هیدروگراف واحد آبخوان

هیدروگراف واحد آبخوان که معرف تغییرات عمومی سطح آب زیرزمینی آبخوان در طول زمان می‌باشد، از متوسط مجموع تغییرات سطح آب طولانی مدت چاه‌های مشاهده‌ای برای یک آبخوان رسم می‌گردد. هیدروگراف واحد آبخوان معرف تغییرات سطح آب در سال‌های پرباران که تغذیه آبخوان بیشتر است، حالت بالاروندگی را نشان می‌دهد و در سال‌های خشک که از تغذیه آبخوان توسط بارندگی کاسته می‌شود و معمولاً بهره‌برداری از آب زیرزمینی هم برای جایگزینی کمبود آب مصرفی سطحی افزایش می یابد، حالت پایین رفت یا افت را مشخص می‌نماید. در طولانی مدت، صرف نظر از سال‌های خشک و مرطوب چنانچه هیدروگراف معرف تغییرات سطح آب زیرزمینی یک آبخوان در یک ماه معین برای اولین سال و آخرین سال آماری یکسان باشد و یا تغییرات جزئی داشته باشد، هیدرگراف حالت متعادل بودن سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد ولی اگر در طول زمان کاهش تدریجی را نشان دهد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

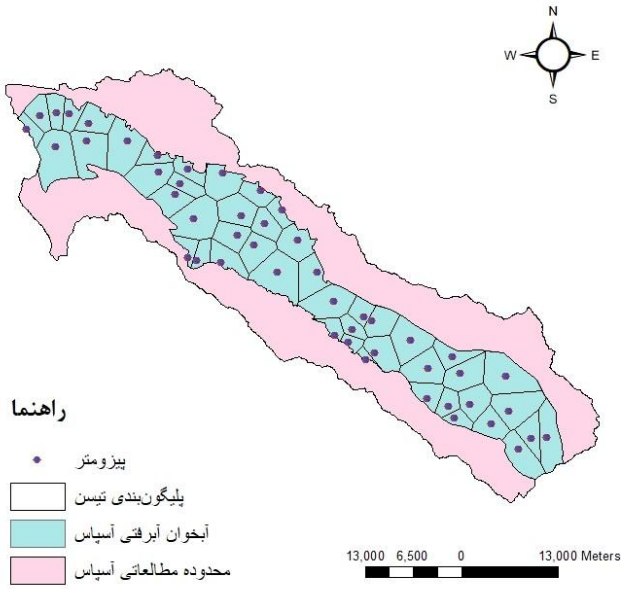
هیدروگراف حالت افت سطح آب در آبخوان را مشخص می‌نماید.

به طور کلی در آبخوان آبرفتی دشت آسپاس، با وجود ۶۲ چاه پیزومتر، ۴۹ چاه پیزومتر دارای دیتاهای با دوره زمانی بیلان برای این پروژه موجود است که از این ۴۹ پیزومتر برای رسم هیدورگراف واحد آبخوان نیز استفاده شده است. برای برخی چاه‌های پیزومتر در ماه‌ها مختلف به دلایلی نظیر شرایط آب و هوایی نامناسب و ... اندازه‌گیری‌های پیزومتر صورت نگرفته که با استفاده از اینترپوله کردن داده‌ها این مسئله حل شده است.

با استفاده از میانگین گیری وزنی(پلیگون بندی تیسن)، سطح اثر هر کدام از چاه‌های پیزومتر در آبخوان با استفاده از رابطه(۵) مشخص شده است، سطح اثر هرکدام از پیزومترها در شکل(۵) قابل مشاهده می‌باشد.

$$\Delta h = \frac{\sum (A_i \times h_i)}{A}$$ رابطه(۵)

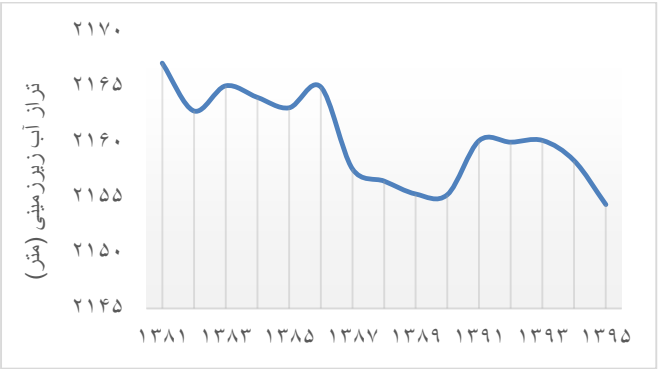
در رابطه(۵)، Δh تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس برای هر سال، A_i مساحت هر پلیگون حاصل از پلیگون بندی تیسن و h_i تراز آب زیرزمینی مشاهده شده توسط چاه‌های پیزومتر و A مساحت کل آبخوان آسپاس می‌باشد.



شکل ۵: موقعیت های پیزومتر آبخوان آسپاس و پلیگون‌بندی هر پیزومتر

هیدروگراف واحد آبخوان محدوده مطالعاتی آسپاس برای سال‌های(۱۳۹۴-۱۳۸۱) تراز سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی در این دوره حدوداً ۹ متر افت داشته است که به‌طور میانگین سالانه سطح آب‌زیرزمینی حدود ۶۸ سانتی‌متر کاهش می‌یابد. نمودار تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان در شکل (۶) قابل ملاحظه می‌باشد. باحاصل ضرب مقادیر تغییرات سالانه سطح آب در مساحت آبخوان و ضریب ذخیره آبخوان، تغییرات حجم ذخیره آبخوان قابل محاسبه می‌باشد که این مقادیر در جدول(۶) محاسبه شده است. با در نظر گرفتن ضریب ذخیره آبخوان(۵ درصد) تغییرات واقعی سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس برای این دوره ۳۳/۲۹- میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]



شکل ۶: تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان

جدول ۶: تغییرات سطح آب زیزمینی و تغییرات حجم ذخیره آبخوان حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان

سال	سطح آب واقعی(هیدروگراف) (m)	تغییرات سالانه سطح آب (mm)	تغییرات حجم ذخیره آبخوان (MCM)
۱۳۸۱	۲۱۶۷٫۱۷۵	-۴٫۳۲۹	-۱۵۸٫۸۴۹
۱۳۸۲	۲۱۶۲٫۸۴۶	۲٫۲۷۲	۸۳٫۳۵۰
۱۳۸۳	۲۱۶۵٫۱۱۸	-۱٫۰۳۹	-۳۸٫۱۳۹
۱۳۸۴	۲۱۶۴٫۰۷۸	-۰٫۹۴۹	-۳۴٫۸۳۷
۱۳۸۵	۲۱۶۳٫۱۲۹	۱٫۸۹۹	۶۹٫۶۹۰
۱۳۸۶	۲۱۶۵٫۰۲۸	-۷٫۴۱۸	-۲۶۹٫۵۵۶
۱۳۸۷	۲۱۵۷٫۶۱۱	-۱٫۱۱۱	-۴۰٫۳۹۲
۱۳۸۸	۲۱۵۶٫۴۹۹	-۱٫۱۷۱	-۴۲٫۵۷۲
۱۳۸۹	۲۱۵۵٫۳۲۸	-۰٫۰۵۴	-۱٫۹۵۰
۱۳۹۰	۲۱۵۵٫۲۷۴	۴٫۸۸۸	۱۷۷٫۶۲۵
۱۳۹۱	۲۱۶۰٫۱۶۲	-۰٫۱۳۹	-۵٫۰۴۹
۱۳۹۲	۲۱۶۰٫۰۲۳	۰٫۱۵۴	۵٫۵۷۸
۱۳۹۳	۲۱۶۰٫۱۷۶	-۱٫۸۳۴	-۶۶٫۶۶۶
۱۳۹۴	۲۱۵۸٫۳۴۲		-۱۴۴٫۳۴۱
میانگین		**-۰٫۶۸**	**-۳۳٫۲۹۳**

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

۴-۳- مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از بیلان آب زیرزمینی و هیدروگراف واحد آبخوان

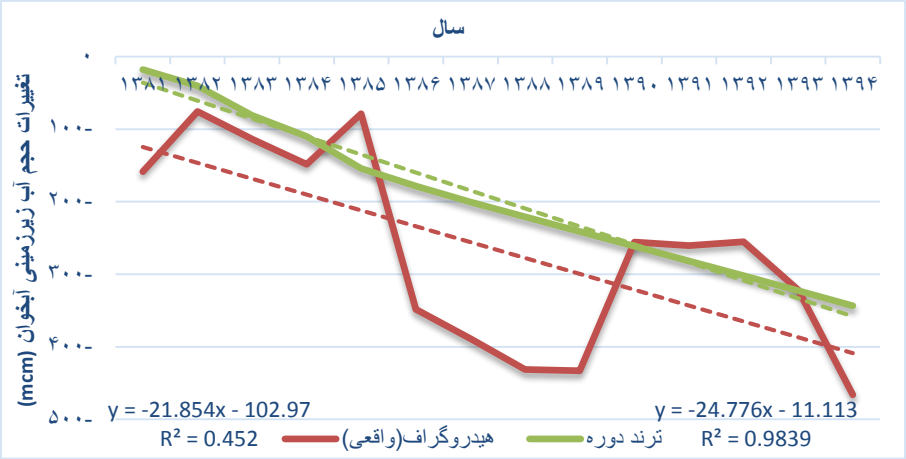
نتایج حاصل از محاسبه تغییرات سطح آب‌زیرزمینی حاصل از ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس برای آبخوان آبرفتی آسپاس، با نتایج حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان آبرفتی آسپاس برای این دوره مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طوری‌که کاهش حجم ذخیره آب زیرزمینی واقعی حدود ۳۳ میلیون متر مکعب در سال با استفاده از هیدروگراف واحد آبخوان تخمین زده شد و نتایج حاصل از گریس نیز کاهش سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس را حدوداً ۲۵ میلیون متر مکعب در سال نشان می‌دهد. نتایج تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس با استفاده از هیدروگراف واحد آبخوان و ماهواره‌های ثقل سنجی گریس جدول(۷) ارائه شده است.

جدول ۷: تغییرات آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس حاصل از هیدروگراف آبخوان و ماهواره ثقل‌سنجی گریس

سال	تغییرات آب‌زیرزمینی محدوده گریس (*MCM*)	تغییرات آب‌زیرزمینی آبخوان آسپاس رابطه (*MCM*)	تغییرات آب‌زیرزمینی آبخوان آسپاس (*MCM*)	تغییرات آب زیرزمینی آبخوان (واقعی) (*MCM*)	تغییرات آب زیرزمینی آبخوان (واقعی) (*MCM*)
	(فیلتر گوسی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر)	(سالیانه)	(تجمعی)	(سالیانه)	(تجمعی)
۱۳۸۱	-۲۴۷٫۰۶	-۱۸٫۱۰	-۱۸٫۱۰	-۱۵۸٫۸۴۹	-۱۵۸٫۸۵
۱۳۸۲	-۲۴۷٫۰۶	-۲۲٫۴۱	-۴۰٫۵۱	۸۳٫۳۵۰	-۷۵٫۵۰
۱۳۸۳	-۲۴۷٫۰۶	-۴۰٫۳۶	-۸۰٫۸۷	-۳۸٫۱۳۹	-۱۱۳٫۶۴
۱۳۸۴	-۲۴۷٫۰۶	-۲۹٫۳۵	-۱۱۰٫۲۲	-۳۴٫۸۳۷	-۱۴۸٫۴۷
۱۳۸۵	-۲۴۷٫۰۶	-۴۳٫۹۹	-۱۵۴٫۲۰	۶۹٫۶۹۰	-۷۸٫۷۹
۱۳۸۶	-۲۴۷٫۰۶	-۲۴٫۴۶	-۱۷۸٫۶۷	-۲۶۹٫۵۵۶	-۳۴۸٫۳۴
۱۳۸۷	-۲۴۷٫۰۶	-۲۱٫۹۶	-۲۰۰٫۶۳	-۴۰٫۳۹۲	-۳۸۸٫۷۳
۱۳۸۸	-۲۴۷٫۰۶	-۲۰٫۳۶	-۲۲۰٫۹۹	-۴۲٫۵۷۲	-۴۳۱٫۳۰
۱۳۸۹	-۲۴۷٫۰۶	-۲۰٫۲۷	-۲۴۱٫۲۵	-۱٫۹۵۰	-۴۳۳٫۲۵
۱۳۹۰	-۲۴۷٫۰۶	-۲۰٫۱۰	-۲۶۱٫۳۵	۱۷۷٫۶۲۵	-۲۵۵٫۶۳
۱۳۹۱	-۲۴۷٫۰۶	-۲۰٫۲۶	-۲۸۱٫۶۱	-۵٫۰۴۹	-۲۶۰٫۶۸
۱۳۹۲	-۲۴۷٫۰۶	-۲۰٫۵۴	-۳۰۲٫۱۵	۵٫۵۷۸	-۲۵۵٫۱۰
۱۳۹۳	-۲۴۷٫۰۶	-۲۰٫۷۴	-۳۲۲٫۸۹	-۶۶٫۶۶۶	-۳۲۱٫۷۷
۱۳۹۴	-۲۴۷٫۰۶	-۲۰٫۷۳	-۳۴۳٫۶۲	-۱۴۴٫۳۴۱	-۴۶۶٫۱۱
میانگین	**-۲۴۷٫۰۶**	**-۲۴٫۵۴**	**-۱۹۶٫۹۳**	**-۳۳٫۲۹۳**	**-۲۶۶٫۸۷**

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

در شکل(۷)، روند تغییرات آب‌زیرزمینی آبخوان آبرفتی آسپاس حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان(واقعی) و ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس به صورت تجمعی مورد مقایسه قرار گرفته و قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۷: مقایسه تغییرات تجمعی آب‌زیرزمینی آبخوان با هیدروگراف واحد آبخوان و ماهواره‌های گریس

۵- نتیجه‌گیری

همانطور که بیان شد روش‌های سنتی تخمین بیلان منابع آب بسیار پر هزینه و زمان بر است، جایگزینی آن‌ها با روش‌های ماهواره‌ای می‌تواند بسیار باصرفه باشد. به دنبال پرتاب موفقیت آمیز ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس و سپس ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس فالوآن، استفاده از داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ای برای محاسبه و تخمین بیلان منابع آبی خصوصاً آب‌های زیرزمینی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفت. باتوجه به قدرت تفکیک مکانی پایین و ابعاد بزرگ پیکسل داده‌های ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس، امکان محاسبه تغییرات آب‌های زیرزمینی برای آبخوان‌های آبرفتی کوچک امکان‌پذیر نیست، از این‌رو این مطالعه، ابتدا با استفاده از روش ماهواره‌ای مبتنی بر مشاهدات سطح سه ماهواره‌های ثقل‌سنجی گریس؛ تغییرات ذخایر کلی آب محدوده مورد مطالعه گریس را برای سال آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ محاسبه کرده است و سپس با استفاده از مدل هیدرولوژی *GLDAS*، پارامترهای هیدرولوژی نظیر رطوبت خاک، رواناب، آب معادل برف و برگاب، از ذخایر کلی آب محدوده مورد مطالعه گریس کسر شده است تا به این ترتیب تغییرات آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه گریس برای این دوره محاسبه شود. سپس برای ریزمقیاس‌نمایی و محاسبه تغییرات سطح آب‌زیرمینی آبخوان آبرفتی آسپاس از روابط تغذیه آب‌زیرزمینی حاصل از مدل جهانی *GLDAS*، مدل محلی *SWAT* و تخلیه آب‌زیرزمینی استفاده شد و بدین ترتیب تغییرات سطح آب‌زیرزمینی برای آبخوان آبرفتی آسپاس برای سال آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ محاسبه شد که بیانگر این است که سالانه ۲۴٫۵۴ میلیون مترمکعب از ذخیره آب‌زیرزمینی کاهش می‌یابد. هیدروگراف واحد آبخوان برای این دوره(۱۳۹۴-۱۳۸۱) نشان دهنده کاهش حجم ذخیره آبخوان، به اندازه ۳۳٫۲۹ میلیون مترمکعب در سال است. با این تفاسیر نتایج حاصل از ماهواره ثقل‌سنجی گریس با نتایج حاصل از هیدروگراف واحد آبخوان همخوانی مناسبی دارد و می‌توان از این روش برای محاسبه تغییرات سطح آب‌زیرزمینی آبخوان‌هایی با مساحت‌های کوچک استفاده کرد.

۶- پیشنهادات

با توجه به اینکه ماهواره‌های گریس تغییرات جاذبی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

ناشی از سیگنال‌های مربوط به نواحی اقیانوسی را نیز اندازه‌گیری می‌کند، بایستی این اثرات نیز حذف گردد، در این مطالعه به‌دلیل فاصله زیاد محدوده مورد مطالعه با نواحی اقیانوسی این اثر نادیده گرفته شده است، لذا پیشنهاد می‌شود میزان تاثیر این عامل در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

۷- سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های دانشگاه زنجان و دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان کمال تشکر را داشته و از سازمان مدیریت منابع آب ایران جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز تشکر می‌کنند.

مراجع

[1] H. Moslemi, and R. Darvishi,. "Solutions to reduce the level of underground water, Laver plain", Journal of land manegment, 1396.

[2] H. Moslemi,. "Calculating the underground water balance of Cheraghabad Plain using statistical information and unit hydrograph", The first national conference on passive defense in agriculture, natural resources and environment with a sustainable development approach, 1394.

[3] A. Alizadeh,. "Principles of applied Hydrology", Univercity of Emam Reza, 1392.

[4] K.A. Voss, J.S. Famiglietti, M.H. Lo, C.D. Linage, M. Rodell, and S.C. Swenson. "Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the igris-Euphrates-Western Iran region", Water Resources Research 49, no. 2: 904-914, 2013.

[5] E. Forootan, R. Rietbroek, J. Kusche, M.A. Sharifi, J.L. Awange, M. Schmidt, P. Omondi, and J. Famiglietti. "Separation of large scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data", Remote Sensing of Environment 140: 580-595, 2014.

[6] G. Joodaki, J. Wahr, and S. Swenson, "estimating the Human Contribution to Groundwater Depletion in the Middle East, from GRACE Data, Land Surface Models, and Well Observations", Water Resources Research, under review, 2013.

[7] M.A. Sharifi, M. Akhoondzadeh, M. Shahrisvand, and M. Sanatgar Ghochani,. "Drought monitoring in Iran using GRACE gravity satellite data and GLDAS hydrological model", The 16th Iranian geophysical conference, 13-15 May, Tehran, Iran, 2014.

[8] F. Fatolazadeh, B. Voosoghi, and M. Raoofian Naeeni,. "Wavelet and Gaussian Approaches for Estimation of Groundwater Variations Using GRACE Data", National GroundWater Association, 2015.

[9] F. Fatolazadeh, B. Voosoghi, M. Raoofian Naeeni, and M. Mohebi,. "Estimation of the annual changes of groundwater in Iran with the help of GRACE gravimetry satellite observations", The 1st National Conference on Geospatial Information Technology, 2016.

[10] M. Golmohammadi, and Gh, Joodaki,. "Statistical downscaling of GRACE gravity satellite-derived groundwater level data", Journal of Geospatial Information Technology Vol.8 No.3, Autumn 2020.

[11] A. Hajizadeh, Gh. Joodaki, and M. Naderi,. "Assessment of groundwater storage changes via Satellite gravimetry data And SWAT hydrology model", M. Sc. Thesis Geomatics Eng, Univercity of Zanjan, 1399.

[12] S. Swenson, and J. Wahr, "Methods for inferring regional surface mass anomalies from GRACE measurements of time-variable gravity", J. Geophys. Res., 107(B9), 2193, doi:10.1029/2001JB000576, 2002.

[13] https://www.jpl.nasa.gov/news/prolific-earth-gravity-satellites-end-science-mission.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

[14] G. Joodaki, "Earth Mass Change Tracking Using GRACE Satellite Gravity Data", Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2014.

[15]https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/GLDASdownload.php.

[16] M. Rodell, , P.R. Houser; U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.-J. Meng,; K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, K. Arsenault, and et al. "The global land data assimilation system", Bull. Am. Meteorol, Soc 85, 381–394, doi:10.1175/BAMS-85-3-381, 2004.

[17] Y. Cao, H. Guo, R. Liao, and M. Uradzinski, "Analysis of water vapor characteristics of regional rainfall around Poyang Lake using ground-based GPS observations", Acta Geod. Geophys, 51, 467, doi:10.1007/s40328-015-0137-1,2016.

[18] J. Śliwińska, M. Birylo, Z. Rzepecka, , and J. Nastula, "Analysis of Groundwater and Total Water Storage Changes in Poland Using GRACE Observations, In-situ Data, and Various Assimilation and Climate Models", J. Remote Sens, 2019.

[19] Z. Rzepecka, and M. Birylo, "Groundwater Storage Changes Derived from GRACE and GLDAS on Smaller River Basins—A Case Study in Poland", Geosciences, 2020.

[20]https://en.wikipedia.org/wiki/SWAT_model.

[21] M. Naderi. "Assessment of water security under climate change for the large watershed of Dorudzan Dam in southern Iran", Hydrogeology Journal, 2020.

[22] A. Afshsr, Gh. Joodaki, and M.A. Sharifi,. "Evaluation ground water storage in south of Iran using by GRACE satellite gravity and well data", M. Sc. Thesis Geomatics Eng, Univercity of Zanjan, 1394.

[23] B. D.Vishwakarma, "The GRACE event calendar", Geomatics engineering group, Indian Institute of Technology, 2012.

[24] M. Shahrisavand, M. Akhondzadeh, and M.A. Sharifi, "Investigating changes in Earth's gravity field due to large earthquakes, using GRACE satellite data", Second International Conference on Environmental Hazards, 1392.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.11, No.2, Summer 2023

Research Paper

Assessing groundwater level variation in alluvial aquifer of Aspas using satellite-based GRACE data combined with global (GLDAS) and locally-parametrized (SWAT) hydrological models

Mohammad Hossein Fakourian [1]*, Gholamreza Joodaki [2], Mostafa Naderi [3]

1-Ms.c student of geodesy in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Zanjan
2- Assisstant professor in Department of Geomatics, College of Engineering, University of Zanjan
3- Assisstant professor of hydrogeology in Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan

Abstract

Optimal and sustainable water use requires the assessment of the balance of both surface and ground water resources. After launching GRACE and GRACE FO satellites successfully, using satellite-based GRACE data to evaluate the storage change in water resources, especially in groundwater ones, received special attention. This study aims to evaluate the groundwater storage variation in alluvial aquifer of Aspas (726.81 km2) in the north of Fars Province during the period 2002-2015. Satellite-based GRACE and GRACE FO data provides large-scale groundwater storage variation, leading to large uncertainties for groundwater storage variation at the scale of an aquifer. Thus, the GRACE-scale groundwater storage variation is evaluated and then the change in Aspas groundwater storage is assessed by using a simple downscaling method. The real groundwater storage depletion (evaluated using groundwater level measurements) in Aspas aquifer is compared to the downscaled GRACE-based groundwater storage depletion to validate the results. The downscaled GRACE-based data for the alluvial aquifer of Aspas shows annual groundwater storage depletion by 25 million cubic meters which is near the measurement-based annual groundwater storage depletion that is 33 million cubic meters.

Key words: *Aspas aquifer, Fars Province, groundwater storage, hydrological model, downscaling, GRACE.*

Correspondence Address*: Geodesy Group, Department of Geomatics, College of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.*
Tel*: 33102224*
Email: *Mohammadhosein.fakourian@gmail.com*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2024-05-20]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1402.11.2.4.7]
[DOI: 10.61186/jgit.11.2.63]