

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.2.7.4

درصد همانندی: ۲۳٪

ارزیابی منابع آب‌های زیرزمینی غرب ایران با استفاده از مشاهدات ماهواره‌های گریس و گریس فو از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱

سعید بازیان^۱، سید روح اله عمادی^{۲*}

st_s_bazian@azad.ac.ir

^۱ کارشناسی ارشد ژئودزی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

sr_emadi@azad.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، گروه مهندسی نقشه‌برداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

چکیده

مطالعه تغییرات زمانی در ذخیره آب‌های زیرزمینی محلی، برای درک ویژگی‌ها و مدیریت استفاده بهینه از این منابع حیاتی بسیار ضروری است. امروزه از داده‌های ماهواره‌های گریس و گریس فو برای برآورد تغییرات ماهیانه سطح آب‌های زیرزمینی به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از داده‌های ماهواره‌های گریس و گریس فو، تغییرات ماهیانه سطح آب‌های زیرزمینی مناطق غربی ایران در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ به‌دست آمده است. نتایج نشان‌دهنده کاهش به میزان $1/17 \pm 0/15$ سانتی‌متر بر سال در سطح آب‌های زیرزمینی منطقه غرب ایران است، همچنین کاهش $1/28 \pm 0/19$ سانتی‌متر بر سال در کل سطح منابع آبی که شامل آب‌های سطحی، زیرزمینی، آب معادل برف و رطوبت خاک است در غرب ایران مشاهده شد. مدل بارش نیز با استفاده از داده‌های ماهواره اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری مورد بررسی قرار گرفت که همبستگی ۰/۱۶ با ذخایر آب مشاهده‌شده توسط ماهواره‌های گریس و گریس فو دارد.

واژه‌های کلیدی: ماهواره گریس فو، آب‌های زیرزمینی، داده‌های چاه‌های پیژومتری، مدل گلدس، مدل اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری.

۱. مقدمه

کمیود آب در سال‌های اخیر در ایران به مسئله‌ای جدی تبدیل شده است [۱-۵] با افزایش استخراج آب‌های زیرزمینی، سطح آن به میزان قابل توجهی کاهش یافته است [۶-۱۰]. مطالعاتی وجود دارد که تغییرات آب‌های سطحی و زیرزمینی در ایران را در طول دهه گذشته (۲۰۰۳ به بعد) اغلب با استفاده از داده‌های ذخیره آب زمینی^۱ از گریس^۲ بررسی کرده است، به‌عنوان مثال، وس و همکاران (۲۰۱۳) کاهش ۱۴۳/۶ کیلومتر مکعب آب شیرین از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ در منطقه شمال مرکزی خاورمیانه که تا حد زیادی حوضه دجله-فرات را پوشش می‌دهد، گزارش نمودند [۱۱]. فروتن و همکاران (۲۰۱۴) کاهش ذخیره آب با میانگین نرخ خطی ۱۵ میلی‌متر در سال بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱ را مشاهده کردند [۱۲]. روند منفی در ذخیره آب زمینی (۲۰۰۳-۲۰۱۲) توسط جودکی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های گریس در غرب ایران و شرق عراق مشاهده شد [۱۳]. فتح‌الله‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) از روش موجک برای بهبود برآورد تغییرات ذخیره آب‌های زیرزمینی از گریس استفاده کردند و کاهش چشمگیری در آب‌های زیرزمینی بین سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و به‌ویژه در سال ۲۰۱۱ مشاهده نمودند [۱۴]. فروتن و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های گریس و تجزیه و تحلیل آب‌وهوا، تغییرات ذخیره آب و شار آب هیدرولوژیکی را در کشور مورد بررسی قراردادند، نتایج آن‌ها نشان داد که کاهش ذخیره آب زمینی در حوضه‌های ارومیه و دجله-فرات بیشتر از کاهش شارهای انباشته ماهانه کل آب است. در نتیجه گفته شد که سهم انسان در جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی قابل توجه است و به کاهش ذخیره در ایران منجر می‌شود [۱۵]. پیمان سائیمیان و همکاران در سال ۲۰۲۲ نیز با استفاده از یک رویکرد داده محوری در دوره (۲۰۰۳-۲۰۱۹) اتلاف 211 ± 34 کیلومتر مکعب و کاهش $1/4 \pm 28$ سانتی‌متر سطح آب زیرزمینی در سال را مشاهده کردند [۱۶]. در این مطالعه تلاش شده که تغییرات سطح آب زیرزمینی غرب کشور ایران طی دوره ۲۰ ساله به‌منظور پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های

گریس و گریس فو نشان داده شود که در ابتدا منطقه مطالعاتی و داده‌های ماهواره‌های گریس فو و در ادامه روش محاسبه تغییرات سطح آب زیرزمینی و در انتها، یافته‌ها و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

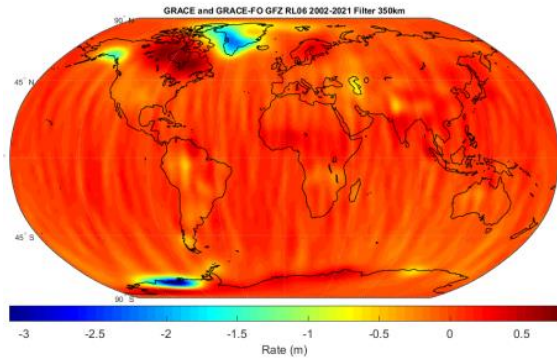
۲. مواد و روش‌ها

ایران که در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، تفاوت‌های شدید منطقه‌ای در آب‌وهوا را تجربه می‌کند. شرایط نیمه گرمسیری بر قسمت شمالی غالب است، اما ۹۰ درصد کشور دارای بارندگی محدود با تابستان‌های بسیار گرم در مناطق ساحلی مرکزی و جنوبی است [۱۷]. بخش اعظم غرب تا شمال غرب ایران در فلات‌های مرتفع و رشته‌کوه‌ها قرار دارد که با اختلاف دمای شدید بین زمستان و تابستان همراه است. بارندگی سالانه، منبع اصلی آب شیرین، از ۵۰ میلی‌متر در بیابان‌ها تا ۲۲۷۵ میلی‌متر در قسمت شمالی کشور متغیر است [۱۸]، تنها بخشی از کشور بارندگی کافی برای کشاورزی دریافت می‌کند. استفاده روزافزون از آبیاری برای تولیدات کشاورزی [۱۹] و افزایش جمعیت از ۵۵ میلیون در سال ۱۹۹۰ به ۸۰ میلیون در سال ۲۰۱۵ [۲۰]، دسترسی به آب را به یک مسئله مهم در سراسر کشور تبدیل کرده است [۵].

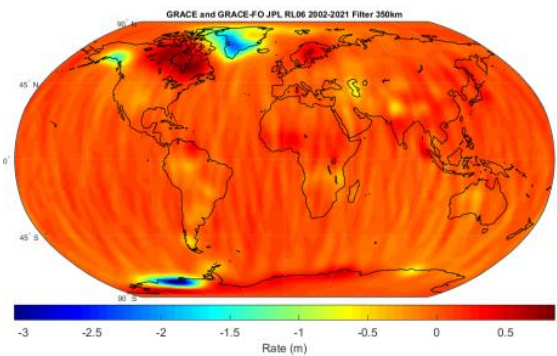


شکل ۱. منطقه مطالعاتی

در این مطالعه منظور از غرب ایران، از طول جغرافیایی ۴۰ تا ۵۳ درجه و عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۴۵ درجه شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، گیلان، زنجان،



شکل ۳. تغییرات سطح آب با استفاده از مشاهدات ماهواره‌های گریس فو و فیلتر گوسین از مرکز GFZ از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱



شکل ۴. تغییرات سطح آب با استفاده از مشاهدات ماهواره‌های گریس فو و فیلتر گوسین از مرکز JPL از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱

۳. تئوری و محاسبات

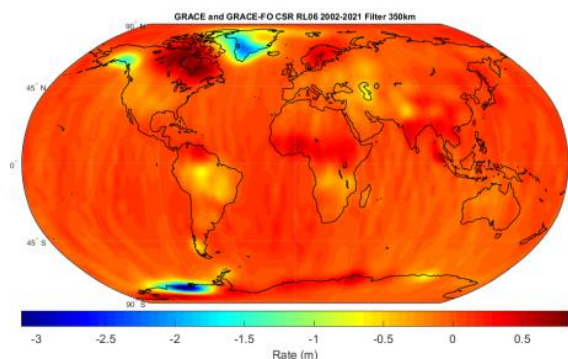
بعد از محاسبه تغییرات ذخایر آب که شامل آب‌های سطحی، زیرزمینی، آب معادل برف، رطوبت خاک و غیره است، نیاز است که تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی از مشاهدات ماهواره گریس فو استخراج شود. برای حذف اثرات سهم آب‌های سطحی، آب معادل برف و رطوبت خاک از روی تغییرات ذخایر آب به‌دست آمده از داده‌های ماهواره گریس فو از مدل جهانی هیدرولوژی گلدس^۵ استفاده شد. مدل‌های جهانی هیدرولوژی مانند گلدس با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای امکان بررسی پارامترهای هیدرولوژی را در مناطق خشکی سراسر دنیا فراهم می‌کنند، بنابراین از این مدل به‌منظور بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. با کسر تغییرات ذخیره آب معادل برف، آب سطحی و رطوبت خاک از تغییرات ذخایر آب مشاهدات گریس فو با استفاده از مدل

کردستان، قزوین، همدان، کرمانشاه، ایلام، لرستان، مرکزی، البرز، خوزستان، بوشهر، چهارمحال و بختیاری و قم است.

در این مقاله از ضرایب هارمونیک کروی سطح ۲ ماهانه ماهواره گریس فو با مرکز^۳ CSR، GFZ و^۴ JPL طی سری زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ استفاده شد، همچنین ضرایب درجه ۲ و مرتبه ۰ (C₂₀) به دلیل عدم قطعیت زیاد نامعلوم با ضرایب ماهواره‌های لیزری جایگزین می‌شوند، سپس با استفاده از رابطه (۱) تغییرات ماهیانه سطح آب قابل محاسبه شده است.

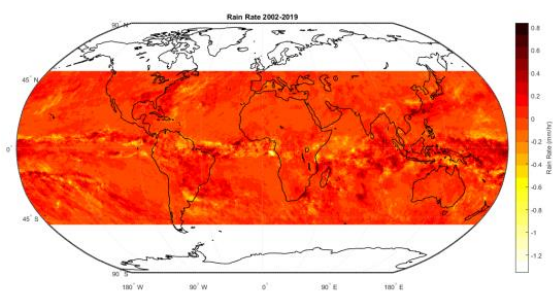
$$S(\varphi, \lambda) = \frac{a\rho_{ave}}{3\rho_w} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \frac{2l+1}{1+k_l} \tilde{p}_{lm}(\sin \varphi) [\Delta \hat{C}_{lm} \cos m\lambda + \Delta \hat{S}_{lm} \sin m\lambda] \quad (1)$$

در این رابطه $\rho_{ave} = 5517 \text{ kg/m}^3$ میانگین دانسیته زمین، $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ شعاع کره زمین، $a = 6378137 \text{ m}$ دانسیته آب، k_l عدد لاو از درجه l ، $\Delta \hat{C}_{lm}$ و $\Delta \hat{S}_{lm}$ تغییرات ماهیانه ضرایب هارمونیک کروی و \tilde{p}_{lm} توابع نرمالیزه لژاندر است. در ادامه شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) نقشه تغییرات جرم روی کل کره زمین از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ با استفاده از مجموعه داده‌های سطح ۲ ماهواره گریس فو نسخه شش از سه مرکز داده CSR، GFZ و JPL با شعاع گوسین ۳۵۰ کیلومتر آورده شده است.



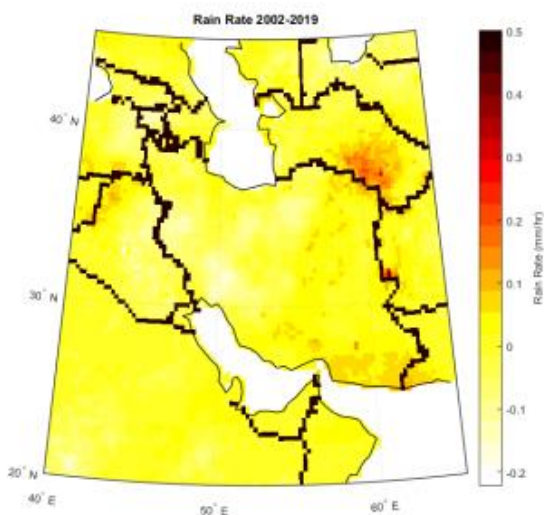
شکل ۲. تغییرات سطح آب با استفاده از مشاهدات ماهواره‌های گریس فو و فیلتر گوسین از مرکز CSR از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱

۱۹۹۷ جهت اندازه‌گیری باران گرمسیری؛ که پروژه‌ای مشترک بین ناسا و آژانس توسعه فضایی ژاپن^۷ است، و هدف اصلی از پرتاب آن اندازه‌گیری میزان بارش مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان، برای پوشاندن عرض جغرافیایی از ۵۰ درجه شمالی تا ۵۰ درجه جنوبی است تا امکان پوشش مناطق غیرقابل دسترسی مانند اقیانوس‌ها و زمین‌های نمونه‌برداری نشده را فراهم کند [۲۱]. شکل (۷) تغییرات بارش در کل کره زمین با استفاده از داده‌های ماهواره اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد.



شکل ۷. تغییرات بارش روی کل کره زمین بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ با استفاده از ماهواره اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری

شکل‌های (۸) و (۹) نیز نشان‌دهنده روند کاهشی بارش، مشاهدات اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری در منطقه غرب ایران بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ است.

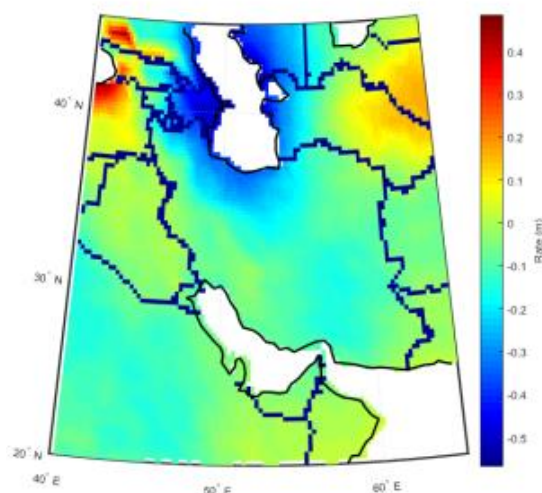


شکل ۸. تغییرات بارش در سراسر ایران با استفاده از مشاهدات ماهواره اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹

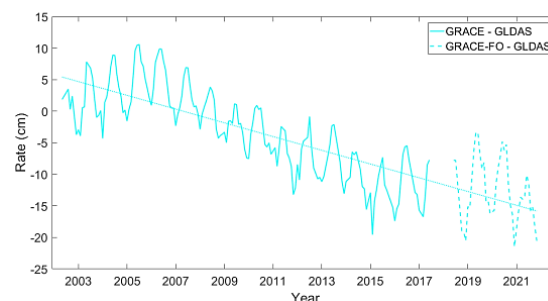
هیدرولوژی گلدس، تغییرات ماهیانه سطح آب‌های زیرزمینی قابل مشاهده است.

$$G = S - SWE - SW - SM \quad (2)$$

که G سطح آب زیرزمینی، S ذخایر آب مشاهدات گریس، SWE آب معادل برف، SW آب سطحی و SM رطوبت خاک است [۱۳]. شکل‌های (۵) و (۶) نشان‌دهنده تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه غرب ایران بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ با استفاده از همان داده‌های گریس فو است.



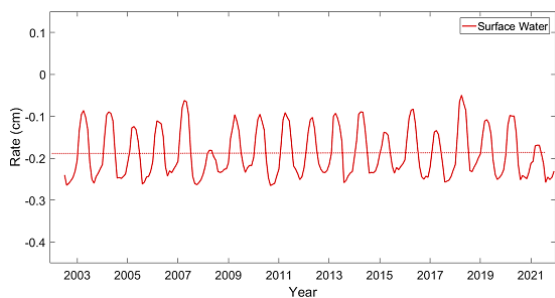
شکل ۵. تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در سراسر ایران با استفاده از مشاهدات ماهواره‌های گریس فو در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱



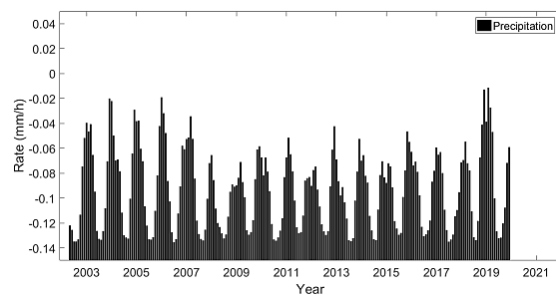
شکل ۶. تغییرات ماهیانه سطح آب‌های زیرزمینی غرب ایران با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای گریس فو

همان‌طور که در شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود، اکثر کاهش آب‌های زیرزمینی در غرب ایران است.

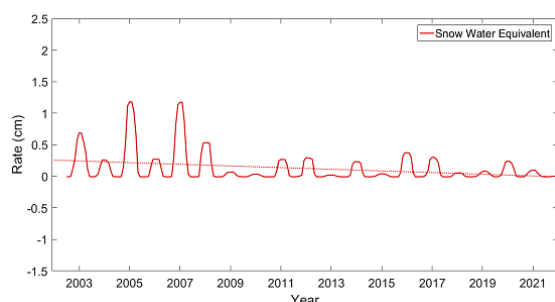
در این تحقیق برای درک تغییرات آب و هوایی در ایران از داده‌های اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری^۶ استفاده شده است. ماهواره اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری در سال



شکل ۱۲. تغییرات ماهیانه آب سطحی با استفاده از مدل گلدس برای منطقه غرب ایران

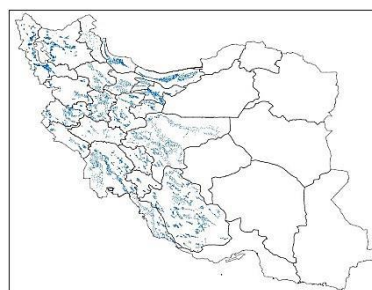


شکل ۹. تغییرات ماهیانه بارش در غرب ایران با استفاده از مشاهدات ماهواره اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری



شکل ۱۳. تغییرات ماهیانه آب معادل برف با استفاده از مدل گلدس برای منطقه غرب ایران

برآوردهای داده‌های مشاهده‌ای ماهواره گریس فو برای غرب ایران را با برآوردهای آب‌های زیرزمینی به‌دست‌آمده از مشاهده چاه‌های پیزومتری که برای نظارت بر سطح و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی در غرب کشور است، مقایسه کردیم. مشاهدات توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران در سایت stu.wrm.ir بایگانی شده‌اند [۲۲]. شکل (۱۰) نحوه توزیع آبخوان چاه‌های پیزومتری غرب ایران را نشان می‌دهد.

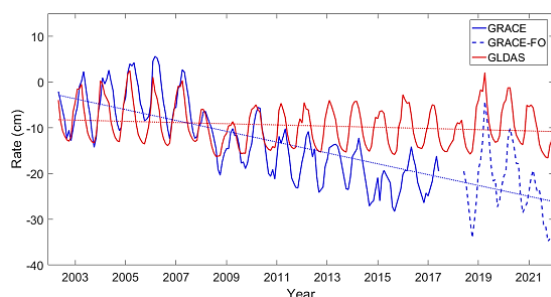


شکل ۱۰. نحوه توزیع آبخوان‌های آب‌های زیرزمینی غرب ایران

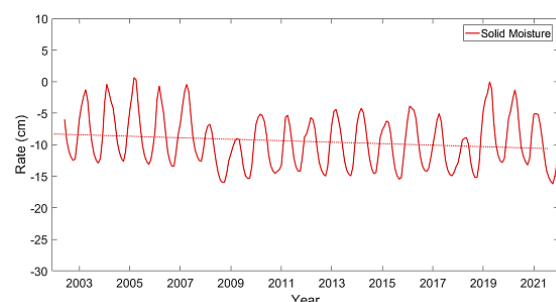
همان‌طور که در شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) مشاهده می‌شود، به‌ویژه آب معادل برف کاهش چشم‌گیری در منطقه غرب ایران مشاهده می‌شود. نوسانات ماهیانه ذخایر آب مشاهدات گریس فو و مدل هیدرولوژی گلدس برای منطقه مورد مطالعه در شکل (۱۴) مورد مقایسه قرار می‌گیرند. روند کاهش ذخایر آب غرب ایران طی دوره مطالعاتی از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۲۱ در حدود 0.19 ± 1.28 سانتی‌متر بر سال است. همچنین روند کاهش مدل گلدس که شامل رطوبت خاک، آب سطحی و آب معادل برف بوده در حدود 0.06 ± 0.14 سانتی‌متر بر سال است.

۴. یافته‌ها

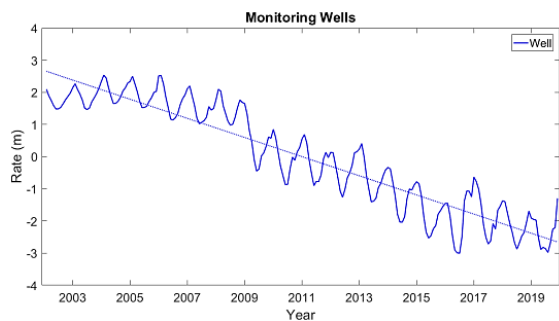
تغییرات ماهیانه رطوبت خاک، آب سطحی و آب معادل برف به‌دست‌آمده از مدل هیدرولوژی گلدس بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ برای منطقه غرب ایران در شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۴. تغییرات ذخایر آب مشاهدات گریس فو و مدل هیدرولوژی گلدس در منطقه غرب ایران

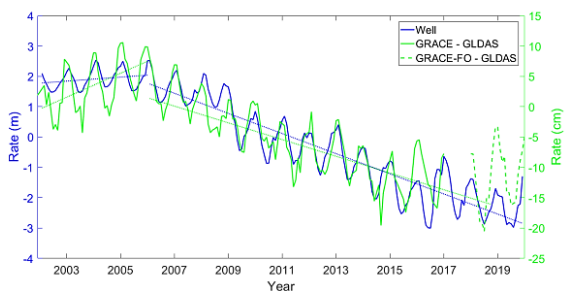


شکل ۱۱. تغییرات ماهیانه رطوبت خاک با استفاده از مدل گلدس برای منطقه غرب ایران



شکل ۱۶. تغییرات ماهیانه سطح آب زیرزمینی با استفاده از مشاهدات چاه‌های پیژومتری منطقه غرب ایران

آب‌های زیرزمینی با استفاده از مشاهدات چاه‌های پیژومتری همبستگی $0/85$ با آب‌های زیرزمینی مشاهده شده توسط ماهواره گریس فو دارد. با توجه به شکل (۱۷) آب‌های زیرزمینی با استفاده از چاه‌های پیژومتری و ماهواره‌های گریس فو اگرچه در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ افزایش داشته است ولی از سال ۲۰۰۸ به بعد کاهش شدیدی مشاهده می‌شود که عمده‌ترین کاهش آب‌های زیرزمینی می‌تواند به علت آب معادل برف باشد.

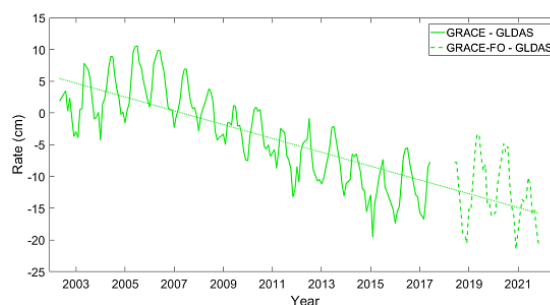


شکل ۱۷. تغییرات ماهیانه سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از مشاهدات ماهواره‌های گریس فو و مشاهدات چاه‌های پیژومتری منطقه غرب ایران

۵. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی به دلیل گسترش مناطق شهری و کشاورزی یک چالش جدی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به وجود آورده است به‌نحوی که این امر به کاهش شدید این منبع ارزشمند منجر شده است؛ بنابراین نظارت دقیق بر منابع آب‌های زیرزمینی ضروری است و باید در استفاده صحیح از آب‌های زیرزمینی به‌منظور کاهش پیامدهای اجتماعی-اقتصادی ناشی از بهره‌برداری بیش‌ازحد احتیاط شود.

بر اساس رابطه (۲)، تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان مؤلفه مانده بعد از کسر مؤلفه‌های آب معادل برف، آب سطحی و رطوبت خاک از تغییرات ذخایر آب مشاهدات گریس فو محاسبه می‌شود. شکل (۱۵) نشان‌دهنده تغییرات ماهیانه سطح آب‌های زیرزمینی برآورد شده با این روش است. روند کاهش سطح آب‌های زیرزمینی غرب ایران طی دوره مطالعاتی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ در حدود $0/15 \pm 1/17$ سانتی‌متر بر سال است. همان‌طور که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، روند کاهشی سطح آب‌های زیرزمینی طی دوره مطالعاتی به‌خوبی نمایان است.



شکل ۱۵. تغییرات ماهیانه سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه غرب ایران با استفاده از مشاهدات ماهواره‌های گریس فو

مدل بارش نیز با استفاده از داده‌های ماهواره اندازه‌گیری میزان بارندگی گرمسیری طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ بررسی شد، روند کاهش آن حدود $0/03 \pm 0/01$ میلی‌متر بر سال است که همبستگی $0/16$ با ذخایر آب مشاهده شده توسط ماهواره گریس فو و همبستگی $0/68$ با داده‌های مدل گلداس دارد، همچنین بارش همبستگی $0/68$ ، $0/21$ ، $0/43$ به ترتیب با رطوبت خاک، آب سطحی و آب معادل برف دارد.

شکل (۱۶) تغییرات ماهیانه سطح آب زیرزمینی با استفاده از مشاهدات چاه‌های پیژومتری منطقه غرب ایران طی دوره مطالعاتی نشان داده شده است. برآورد داده‌های چاه‌های پیژومتری نیز نشان‌دهنده کاهش آب‌های زیرزمینی در طول این دوره است. روند کاهش سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از چاه‌های پیژومتری منطقه غرب ایران در حدود $0/16 \pm 29/76$ سانتی‌متر بر سال است.

- environmental studies and sciences. 2014 Dec;4:315-28.
- [5] Michel D. Iran's impending water crisis. In Water, security and US foreign policy 2017 Jun 26 (pp. 168-188). Routledge.
- [6] Sarraf M, Owaygen M, Ruta G and Croitoru L. Islamic Republic of Iran: Cost assessment of environmental degradation. 2005.
- [7] Motagh M, Walter TR, Sharifi MA, Fielding E, Schenk A, Anderssohn J, Zschau J. Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. Geophysical Research Letters. 2008 Aug;35(16).
- [8] Mohammadi-Ghaleni M, Ebrahimi K. Assessing impact of irrigation and drainage network on surface and groundwater resources—Case study: Saveh Plain, Iran. In ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage 2011 Oct (pp. 15-23).
- [9] Marc VA, Radfar M, Martens K, Walraevens K. Analysis of the groundwater resource decline in an intramountain aquifer system in Central Iran. Geologica Belgica. 2012 Jan 1.
- [۱۰] اشرف زاده افشار علی، جودکی غلامرضا، شریفی محمدعلی. ارزیابی منابع آب‌های زیرزمینی ایران با استفاده از داده‌های ماهواره ثقل سنجی GRACE. علوم و فنون نقشه‌برداری. ۱۳۹۵؛ ۵ (۴): ۷۳-۸۴
- [11] Voss KA, Famiglietti JS, Lo M, De Linage C, Rodell M, Swenson SC. Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region. Water resources research. 2013 Feb;49(2):904-14.
- [12] Forootan E, Rietbroek R, Kusche J, Sharifi MA, Awange JL, Schmidt M, Omondi P, Famiglietti J. Separation of large scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data. Remote Sensing of Environment. 2014 Jan 1;140:580-95.
- [13] Joodaki G, Wahr J, Swenson S. Estimating the human contribution to groundwater depletion in the Middle East, from GRACE data, land surface models, and well observations. Water Resources Research. 2014 Mar;50(3):2679-92.
- [۱۴] فتح‌اله‌زاده، فرزاد، وثوقی، بهزاد، روفیان نائینی، مهدی، محبی، محمود. برآورد تغییرات سالیانه آب‌های زیرزمینی در ایران به کمک مشاهدات ماهواره

در این مطالعه، از داده‌های ماهواره گریس فو برای نظارت بر تغییرات ماهیانه کل آب‌ها در سراسر غرب ایران استفاده می‌شود. نتایج از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ نشان‌دهنده یک روند منفی سطح آب‌های زیرزمینی در غرب ایران است. این کاهش شدید زنگ خطر برای غرب ایران است که در گذشته کمبود آب داشته است. با توجه به مطالعات گذشته، کاهش آب‌های زیرزمینی در منطقه خاورمیانه در ایران است و در این مطالعه نیز، کشور ایران کاهش هنگامی از آب‌های زیرزمینی را در این دوره مطالعاتی ۲۰ ساله تجربه کرده است. تجزیه و تحلیل داده‌های چاه‌های پیزومتری غرب ایران، نتایج کاهشی قابل توجه آب‌های زیرزمینی را تأیید می‌کند و همخوانی خود را با داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد. همچنین به دلیل بارش سالیانه کم در این منطقه، جبران این میزان آب زیرزمینی در این منطقه غیرممکن است. با توجه به این موضوع برای ادامه روند تحقیقات و مطالعات، پیشنهاد می‌شود با استفاده از داده‌های ماهواره‌های گریس فو تغییرات آب‌های زیرزمینی برای منطقه شرق ایران محاسبه و با داده‌های پیزومتری ماهیانه مقایسه و در نهایت این نتایج با نتایج منطقه غرب ایران تلفیق شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از داوران و ویراستاران محترم نشریه هیدروفریزیک که در بهبود کیفیت مقاله کمک شایانی داشته‌اند، کمال تقدیر و تشکر داریم.

مراجع

- [1] Amery H, Wolf A. Water in the Middle East: A Geography of Peace. New York, USA: University of Texas Press; 2000. p.283-293. <https://doi.org/10.7560/704947-018>
- [2] Wolf AT, Newton JT. Case study transboundary dispute resolution: the Tigris-Euphrates Basin, Transboundary Freshwater Dispute Database (TFDD), Oregon State University. 2007.
- [3] Trigo RM, Gouveia CM, Barriopedro D. The intense 2007–2009 drought in the Fertile Crescent: Impacts and associated atmospheric circulation. Agricultural and forest meteorology. 2010 Aug 15;150(9):1245-57.
- [4] Madani K. Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. Journal of

Available from: ثقل سنجی گریس. ۱۳۹۴.

<https://sid.ir/paper/840783/fa>

- [15] Forootan E, Safari A, Mostafaie A, Schumacher M, Delavar M, Awange JL. Large-scale total water storage and water flux changes over the arid and semiarid parts of the Middle East from GRACE and reanalysis products. *Surveys in Geophysics*. 2017 May;38:591-615.
- [16] Saemian P, Tourian MJ, AghaKouchak A, Madani K, Sneeuw N. How much water did Iran lose over the last two decades?. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2022 Jun 1;41:101095.
- [17] Golian S, Mazdiyasni O, AghaKouchak A. Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and applied climatology*. 2015 Feb;119:679-88.
- [18] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). FAO water report. 2009.
- [19] Ardakani R. Overview of water management in Iran. *Proceeding of regional center on urban water management*, 2009.
- [20] Karamouzian M, Haghdoost AA. Population control policies in Iran. *The Lancet*. 2015 Mar 21;385(9973):1071.
- [21] Huffman GJ, Bolvin DT, Nelkin EJ, Wolff DB, Adler RF, Gu G, Hong Y, Bowman KP, Stocker EF. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of hydrometeorology*. 2007 Feb 1;8(1):38-55.
- [22] IRAN Water Resources Management Company [Internet] 2024. Available from: <https://stu.wrm.ir/login.asp>. [cited July 2024].

پی‌نوشت‌ها

1. Total Water Storage
2. Gravity Recovery and Climate Experiment
3. Center for Space Research at the University of Texas
4. Jet Propulsion Laboratory
5. Global Land Data Assimilation System
6. Tropical Rainfall Measuring Mission
7. National Space Development Agency