

تخمین میزان کاهش آب های زیرزمینی خاورمیانه با استفاده از ماهواره GRACE همراه با پیامدهای مدیریت آبهای فرامرزی در منطقه دجله و فرات و ناحیه غربی ایران

هادی افندی زاده^۱، مرصادافندی زاده^۲، فرهاد علیزاده افشار^۳

۱- کارشناس ارشد عمران -سازه های هیدرولیکی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه ، hadi.afandizadeh@gmail.com

۲- کارشناس عمران - عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز ، mersad_afandicivil@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد عمران - مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آذرشهر info@fahadafshar.ir

چکیده

در این مطالعه از مشاهدات آزمایش تجدید پذیری جاذب و آزمایش آب و هوا استفاده می کنیم (GRACE) ماموریت های ماهواره ای برای ارزیابی روند ذخیره سازی آب شیرین در خاورمیانه ، شامل بخشی از حوضه رودخانه دجله و فرات و غرب ایران است، از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹. داده های GRACE نشان می دهد میزان هشدار دهنده کاهش در کل ذخیره سازی آب در حدود $-27.6 \pm 0.6 \text{ mm yr}^{-1}$ ارتفاع آب معادل، برابر با حجم 143.6 km^3 در طول دوره مطالعه است. اطلاعات سنجش از راه دور و خروجی از مدل های سطح زمین برای شناسایی منبع اصلی روند کاهش آب های زیرزمینی استفاده شده است. رویکرد مورد استفاده در این مطالعه، نمونه ای از "بهترین توانایی های فعلی" را در مناطقی مانند خاورمیانه ارائه می دهد که در آن دسترسی به داده ها به شدت محدود شده است. نتایج نشان می دهد که منطقه از بین رفته است. $17.3 \pm 2.1 \text{ mm yr}^{-1}$ ارتفاع آب معادل از آب های زیرزمینی در طول دوره مطالعه، یا حجمی برابر $91.3 \pm 10.9 \text{ km}^3$ می باشد. علاوه بر این، نتایج، مسائل مهم مربوط به استفاده از آب در حوضه های رودخانه ای و آبخیزهای مرزی، از جمله ضرورت استفاده از معاهدات بین المللی استفاده از آب و حل اختلاف در قوانین بین المللی آب، در حالی که نیاز به تقویت و افزایش نظارت بر اجزای اصلی بودجه آب می باشد.

واژه های کلیدی: آبهای زیرزمینی، ماهواره GRACE، خاورمیانه، منابع آب، آبهای فرامرزی

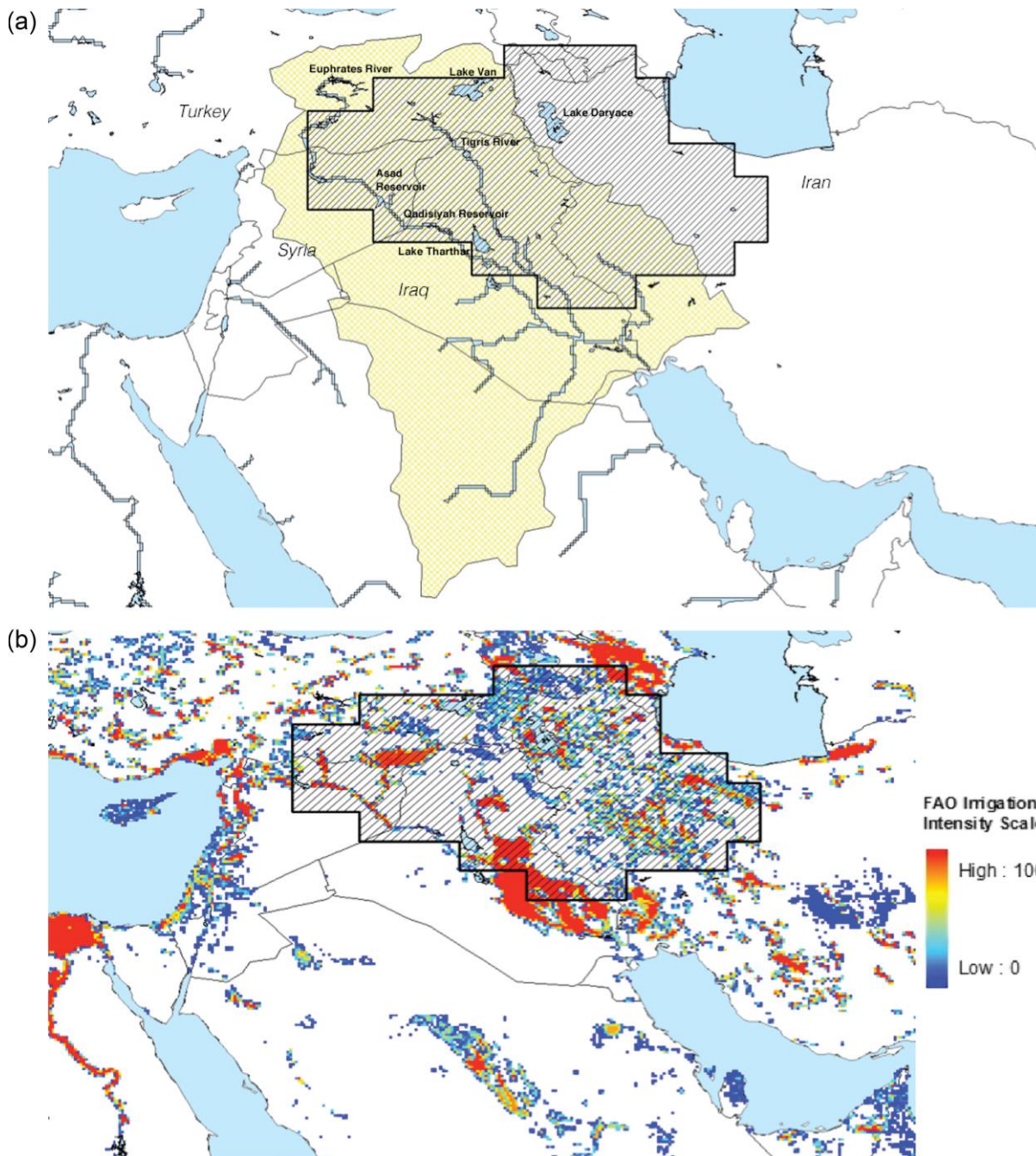
۱- مقدمه

کمبود منابع آب در خاورمیانه باعث بوجود آمدن درگیری های زیادی شده است. (e.g., Amery and Wolf, 2000; Wolfand Newton, 2007a; Wolf, 1998). خشکسالی اخیر که در سال ۲۰۰۷ آغاز شد، منابع آب محدود در منطقه را تحت تأثیر قرار داده است.

(Integrated Regional Information Networks, 2010; U.S. Department of Agriculture (USDA), 2008). گزارش های خبری از وضعیت دشواری که در آن مزارع نابود شدند، اکوسیستم های تالاب ها تغییر یافتند و صدها کشاورز در جستجوی اشتغال به مراکز شهری مهاجرت کردند را خبر می دهند. (Michelet al., 2012; Sullivan, 2010). چنین خشکسالی به طور خاص تأثیر تصمیمات مدیریتی توسط مصرف کنندگان بالادست را تقویت می کند، زیرا هر گونه تصمیم برای استفاده یا ذخیره آب به طور قابل ملاحظه ای بر دسترسی به کل آب در یک سیستم رودخانه تأثیر می

گذارد و عواقب بالقوه شدید برای مصرف کنندگان پایین دست دارد. مدیریت آب در حوضه رودخانه دجله-فرات از لحاظ تاریخی چالش برانگیز بوده است. (Solomon, 2010). دجله و فرات یک سیستم رودخانه مرزی است (شکل 1a) این در میان ترکیه، سوریه، عراق و به میزان کم، ایران، مشترک است. هر دو رودخانه دارای زیرساخت های مدیریت آب فرامرزی هستند و آبهای سطحی که توسط رودخانه ها تامین می شود، به بخش کشاورزی اقتصاد منطقه بستگی دارد (Food and Agriculture Organization (FAO), 2009). کشمکش ها بین تصمیمات مدیریتی مصرف کنندگان بالادست - ترکیه - و تقاضای پایین دست از سوریه و عراق بر سیاست های هیدرولیکی منطقه حاکم است. (Wolf and Newton, 2007a). به ویژه، پروژه جنوب شرقی آناتولی (پروژه بزرگ آناتولی ترکیه gap) تنش شدیدی در میان سه کشور به علت اقدام ترکیه به طور یک جانبه برای ساخت بیش از ۲۰ سد در هر دو رودخانه دجله و فرات وجود دارد. (Bayazit and Avci, 1997). با این توسعه زیرساخت های فشرده به طور قابل توجهی در حوضه دجله و فرات از بسیاری جهات تغییر کرده است. مدیران آب ترکیه، سوریه و عراق اکنون جریانهای رودخانه را با زمان های آزاد شده از مخازن مدیریت می کنند. علاوه بر این، یک سیستم پیچیده از آبخوان های زیرزمینی فراساحلی در این منطقه قرار دارد. (FAO, 2009). نظارت و مدیریت محلی و بین المللی برای آبخوانهای آب زیرزمینی کم است.

Archive of SID



شکل ۱-*a* نمایان گر منطقه مورد مطالعه با خط سیاه و سفید راه راه نشان دهنده آن است. منطقه مورد نظر که از داده های **GRACE** استخراج شده و از مجموعه داده های جمع آوری شده پشتیبانی می کند. تمام محاسبات توازن توده ای به این منطقه محدود شده است. خطوط سیاه نازک نشان دهنده مرزهای سیاسی است. آبهای سطحی (آبی روشن) از پایگاه داده های دریاچه ها و تالاب های جهانی گرفته شده است. (Lehner and Döll, 2004). رودخانه ها آبی رنگ و مرزهای حوضه مربوطه زرد رنگ شده است. (Graham et al., 1999). شکل ۱-*b* مربع های کوچک شبکه ای درصد زمین های آبیاری را نشان می دهند. (Siebert et al., 2007). شیب آبی به قرمز نشان دهنده تجمع و کثرت در مقیاس ۰٪ تا ۱۰۰٪ است.

در واقع این یک منبع حیاتی برای منطقه است، به ویژه درجایی و هنگامی که آب سطحی در دسترس نیست. دو مساله عمده مدیریت آب را در منطقه بغرنج می کند. اولاً، هیچ گونه قراردادی جهت تخصیص آب برای آبهای سطحی و زیرزمینی وجود ندارد. در اصل این معضل تفاوت های اساسی در تفسیر قوانین بین المللی آب است. (United Nations, 1997; Weiss, 2009). از جمله کاربرد آن در آب های زیرزمینی و تعاملات سطح آب زیرزمینی است. این تفاوت در تفسیر، به شدت محدودیت بالقوه برای هر گونه توافق برای تخصیص قانونی یا سیاست های مدیریت برای رودخانه دجله و فرات را می افزاید. چالش دوم کمبود داده های هیدرولوژیکی برای منطقه است. نظارت غیرمستقیم همراه با کمبود شفافیت و دسترسی به اطلاعات، یک مشکل است که مدیران آب سراسر جهان را در معرض خطر قرار می دهد و منطقه دجله و فرات نیز از این قاعده مستثنی نیست. این کمبود و عدم دسترسی به داده ها منجر به درک ناقص از منابع آب و استفاده از آن در خاورمیانه می شود. اگرچه مطالعات دیگری در این منطقه انجام شده است. (Chenoweth et al., 2011; Jones et al., 2008) و (Kavvas et al., 2011). مشاهدات عمومی نشان داد که داده های موجود در جریان، بارش و تبخیر، به ندرت وجود دارد و در صورت وجود، مجموعه داده ها اغلب ناقص هستند. داده ها طبقه بندی شده و تحت کنترل دولت ها هستند، آمادگستری به این اطلاعات نیاز به اجازه و همکاری دولت های مربوطه دارد. دسترسی به اطلاعات مربوط به آبهای زیرزمینی هم محدود است. اطلاعات مربوط به ارتفاع آب و یا استخراج سالانه آب های زیرزمینی در دسترس عموم نیست. در نتیجه، علیرغم اهمیت آن، مطالعات هیدرولوژیکی گسترده ای از حوضه با استفاده از داده های مشاهداتی برای حوضه دجله و فرات در سال های اخیر وجود داشته است. مشاهدات ماهواره ای از گرانش زمان متغیر از آزمایشات بازیابی جاذبه و آزمایش آب و هوا (GRACE). (Tapley et al., 2004). ارائه یک ابزار جدید و ارزشمند برای پر کردن این شکاف مبتنی بر عدم دسترسی به اطلاعات و نظارت بر منابع آب می باشد. (Rodell et al., 2006; Lettenmaier and Famiglietti, 2006; Tiwari et al., 2009; Rodell et al., 2011b). پیشینه تغییرات در کل ذخیره سازی آب زمین (برف، آب سطحی، رطوبت خاک، و آب های زیرزمینی) را در سراسر جهان ارائه می دهد. (Rodell and Famiglietti, 1999; Wahr et al., 2004; Syed et al., 2008; Ramillien et al., 2004; et al., 2004). مطالعات اخیر نشان داده است که تغییرات ذخیره سازی آب از اطلاعات GRACE با نتایج و دقت کافی برای استفاده در مدیریت منابع آب به دست می آید. (Yeh et al., 2008; Zaitchik et al., 2008; Rodell et al., 2007; Rodell et al., 2006). برای مثال، اطلاعات GRACE برای تخمین میزان تخلیه آبهای زیرزمینی استفاده شده است. (Tiwari et al., 2009; Rodell et al., 2009; Famiglietti et al., 2011b). پتانسیل سیلاب (Reager and Famiglietti, 2009). خشکسالی (Andersen et al., 2010; Chen et al., 2009; Agboma et al., 2009; Leblanc et al., 2009; Yirdaw et al., 2005) و تغییر ذخیره مخزن (Wang et al., 2011; Swenson and Wahr, 2009; and reservoir storage changes) در این مطالعه ۸۴ ماهه از داده های GRACE استفاده شده است. (January 2003 to December 2009) برای بررسی رفتار ذخیره سازی آب در منطقه خاورمیانه منطقه ای که شامل قسمت وسیعی از حوضه رودخانه دجله و فرات و غرب ایران است. مجموعه داده های اضافی، از جمله بارش، تبخیر، تعرق، جریان، سطح مخزن و رطوبت خاک، برای کمک به مشخص کردن علل تغییرات مشاهده شده و روند در حال پدیدار شدن آن گردآوری شد. به عنوان یک ناحیه ای که به دلیل کمبود آب و تنش در آب های فرامرزی شناخته شده است، منطقه دجله-فرات به عنوان نمونه قابل توجهی از قدرت مشاهدات ماهواره ای برای ارائه بینش جدید به مسائل مربوط به منابع آب بحرانی در مناطقی است که مشاهدات هیدرولوژیکی در غیر این صورت دشوار است. (Wada et al 2010)، (Siebert and Döll 2008) and). روش های توسعه یافته برای اندازه گیری تغییرات در منابع آب در مناطقی با داده های مشاهده محدود از مدل های هیدرولوژیکی و منابع آب جهانی برای مدل تخلیه آبهای سطحی و همچنین تغذیه آب های زیرزمینی و برآورد مصرف آب بر اساس آمار جمعیت، تولید ناخالص داخلی (GDP) و مناطق آبیاری، وجود دارد. این روش ها گزینه های بالقوه را هنگامی که داده های مشاهدات محدود هستند

مشخص می کند و علاوه بر رویکردی که در اینجا دنبال می شود، به نظر ما، ممکن است به خوبی نمونه ای از بهترین توانایی های فعلی را در مناطقی مانند خاورمیانه ارائه دهد که در آن دسترسی به داده ها به شدت محدود می شود.

۲- داده ها و روش ها

۱-۲ شرح منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی خاص در ناحیه دجله و فرات (نگاه کنید به شکل ۱) بر اساس تجزیه و تحلیل روندهای منطقه ای موجود در مجموعه داده جهانی GRACE انتخاب شد. منطقه، نشان داده شده در شکل ۱a، یک روند منفی قوی را در کل ذخیره سازی آب در منطقه نشان می دهد 753.96 km^3 . این شامل اکثر حوضه رودخانه دجله، بخش فوقانی و وسط حوضه رود فرات و غرب ایران است. منطقه TEWI (Tigris-Euphrates-Western Iran region) در کشورهای ترکیه، سوریه، عراق و غرب ایران قرار دارد. بخش هایی از گرجستان و آذربایجان، و همچنین همه ارمنستان، نیز در این فهرست قرار دارند. منطقه مورد مطالعه، همچنین چندین قسمت از آب های سطحی بزرگ یعنی دریاچه ارومیه، دریاچه ون، دریاچه تارتار، مخزن اسد و مخزن قادیسیه در فهرست فوق قرار دارند. علاوه بر آبهای سطحی منطقه، یک سیستم آب زیرزمینی پیچیده وجود دارد. (German Federal Institute for Geosciences and Natural Resource (BRG) and United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO), 2010) هر دو پارامتر آب های سطحی و آب های زیرزمینی، حوضه آبریز دجله و فرات و ناحیه غربی ایران را پایه گذاری میکنند برای درک دینامیک ذخیره سازی آب شیرین منطقه، مطالعه ناحیه مورد نظر ضروری است. استفاده از زمین در ناحیه وسیع اطراف منطقه مطالعه نیز باید مورد توجه قرار گیرد. این منطقه ی وسیع تر شامل جنوب شرقی ترکیه است که بیشتر زیرساخت های مدیریت منابع آب، سدها، مخازن و کانال های پروژه GAP در آن واقع شده است. علاوه بر این، آبیاری گسترده ای برای کشاورزی در منطقه مطالعه و محیط اطراف وجود دارد. (Siebert et al., 2007). شکل ۱b این ویژگی ها و خصوصیات را برجسته می کند.

۲-۲ داده های جمع آوری شده از ماهواره GRACE

ما ۸۴ ماه از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹ از تغییرات حاصل از GRACE در کل ذخایر آب زیرزمینی محاسبه شده در مرکز تحقیقات فضایی دانشگاه تگزاس در آستین را استفاده کردیم. (Chambers, 2006). داده های GRACE تحت روش های Wahr و Swenson پردازش شدند. (2002, 2009). به علت ناهنجاری های ماهانه در کل ذخیره آب (با توجه به میانگین دوره مطالعه) با توجه به ارتفاع آب معادل (بر حسب میلی متر) برای منطقه مشخص شده در شکل ۱a این روش نیاز به فیلتر کردن اطلاعات GRACE برای کاهش نویز دارد. (Swenson and Wahr, 2006). و بازگرداندن سیگنال از دست رفته مربوط به منطقه TEWI (دجله و فرات و ناحیه غربی ایران) تعریف شده و توسط مقیاس دادن به داده ها به منظور بهبود پیش بینی تغییر جرم برای منطقه است. (Velicogna and Wahr, 2006). در این کار یک ضریب مقیاس 1.09 جهت روند کل ذخیره سازی آب نیاز بود (mm yr^{-1}). که پس از حذف سیگنال سالانه محاسبه شد. توجه داشته باشید که تأثیر مشارکتهای دریای خزر که در منطقه TEWI (حوضه آبریز رود دجله و فرات و ناحیه غربی ایران) در شمال شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد، به تغییرات کل ذخیره سازی آب، ناچیز است، بطوریکه سهم آن در کل ذخیره سازی آب کمتر از 1.5% می باشد.

۲-۳ خروجی سیستم شبیه سازی شده از داده های جهانی زمین

جستجوی گسترده ای برای داده های هیدرولوژیکی در منطقه تایید کرد، که در مشاهدات موضعی در طول دوره زمانی مورد نظر عموماً در دسترس نبود. در نتیجه، برای درک بهتر دینامیک تعادل آب در ناحیه مورد مطالعه ما، از خروجی سیستم شبیه سازی شده زمین، از داده جهانی ناسا استفاده کردیم. (GLDAS) (Rodell et al., 2004a). برای بارش، تبخیر، تعرق، جریان، رطوبت خاک، و معادل آب برف. GLDAS (Global Land Data Assimilation System) مدل سازی سطح زمین است که مشاهدات جهانی و ماهواره ای را ادغام می کند. داده ها را برای اجرای شبیه سازی های پیشرفته برای مطالعات آب و هوا و هیدرولوژیکی بکار می بندد. به عنوان مثال، داده های بارش داده شده از مرکز پیش بینی آب و هوای NOAA ادغام تجزیه تحلیل بارش است. (Xie and Arkin, 1997). و دمای هوا ی نزدیک به سطح هوا، رطوبت خاص، باد و فشار از سیستم ساماندهی داده های سیستم نظارت بر زمین و همچنین سیستم شبیه ساز جهانی داده، گزارش شده است. (Derber et al., 1991; Pfaendtner et al., 1995). این داده های مشاهداتی، مورد استفاده قرار می گیرند تا مدل سطح زمین مشخصی را اعمال کنند و خروجی دقیق تر را ارائه دهند. در این مطالعه، از سه مدل سطح زمین از GLDAS و VIC (Liang et al., 1994, 1996)، (Chen et al., 1996; Koren et al., 1999) و CLM2 (Dai et al., 2003) استفاده شده است. برای ایجاد تعادل از هر مدل مجبور شدند GLDAS و خروجی های مدل نشان دهنده را که جایگزین مناسب برای غلبه بر عدم دسترسی به داده ها است بکاربرند. (Kato et al., 2007; Koster et al., 2004; Syed et al., 2008; Zaitchik et al., 2010). در مناطقی مانند خاورمیانه و همچنین ممکن است بهترین مجموعه داده های پشتیبان در دسترس در مناطق مشابه که داده ها کمیاب یا غیر قابل دسترس هستند. بارش و مدل خروجی مشاهده شده برای تبخیر، تعرق و گردش جریان در تعادل آب ترکیب شدند.

$$\frac{ds}{dt} = P-E-Q \quad (1)$$

$\frac{ds}{dt}$ گردش جریان آب است، و همه در میلی متر بیان می Q تبخیر تعرق، E بارش، P تغییر در ذخیره آب با زمان است،

مشخص شده مقایسه شده است. (در بخش ۳ در این GRACE مشتق شده و با آنچه که از $\frac{ds}{dt}$ مدل mm شود mo^{-1}

mm مشتق است، به عنوان تفاوت ماهانه ($\frac{ds}{dt} GRACE mo^{-1}$) توجه داشته باشید که برآورد مورد بحث شده است. با اندازه گیری ارتفاع سنج ماهواره ای از ارتفاع دریاچه ها و از ناهنجاری های ذخیره کل آب که در بالا توضیح داده شده است. پس از GRACE مخازن (شرح داده شده در زیر) به منظور درک مشارکت های مربوطه هر کدام به کل تغییرات ذخیره آب از خروجی ها به صورت ناهنجاری های ماهانه با توجه به میانگین مورد مطالعه بر حسب $mm yr^{-1}$ حذف سیگنال سالانه (میلی متر تهیه شد.

۲-۴ داده های ارتفاع سنجی سطح آب

ودر آزمایشگاه مطالعات ژئوفیزیک واقیانوس دریافت شده است. *Hydroweb* داده های ارتفاع سنجی از راه دور از برای محاسبه تغییرات در ذخیره آب از سطوح آبهای سطحی استفاده شد. *LEGOS* جغرافیای فضایی (*Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Oceanographie Spatiales (LEGOS), 2011; Crétaux et al., 2011*) سری داده های کامل داده شده برای پنج عامل عمده و بزرگ آب های سطحی از جمله دریایچه ون و دریایچه ارومیه ، دریایچه تارتار، مخازن اسد و قادسیه برای مطالعه دوره ، در دسترس بودند. اینها از بزرگترین سطوح آبهای سطحی موجود در منطقه مورد مطالعه (هم تراز منطقه) هستند و تقریباً دو سوم از آبهای سطحی در منطقه مورد مطالعه را تشکیل می دهند. اما دیگر مخازن بزرگ مانند مخازن ساک ساک، آتاتورک، ماسوول، را شامل نمی شوند. داده های ارتفاع سطح آب برای این مخازن جهت استفاده در مطالعه ما در دسترس نبودند، زیرا سری زمانی آنها ناقص بود. داده های ارتفاع سنجی برای، ارتفاع آب ماهانه به تغییرات ماهانه در حجم آب با استفاده ارائه شد. ما این مقادیر را ترکیب کرده *LEGOS* از اندازه گیری سطح متوسط منطقه برای آبراه های مربوطه، توسط و برای محاسبه پراکندگی و ناهنجاری های ذخیره سازی آبهای سطحی (برحسب میلی متر) با توجه به میانگین دوره مطالعه کل منطقه را به چند ناحیه تقسیم کردیم. روند ذخیره سازی آبهای سطحی (میلی متر در یکسال) نیز پس از حذف سیگنال سالانه مشخص شد. ما از این داده ها استفاده کردیم تا نهایتاً سهم تغییرات آبهای سطحی را که در تغییرات ذخیره سازی کل مشاهده شده توسط *GRACE* را به دست آوریم.

۲-۵ ارزیابی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی

Rodell and Famiglietti [2002], Yeh et al. [2006], Rodell et al. [2007, 2009], Strassburg et al. [2007], Tiwari et al. [2009], Famiglietti et al. [2011b] و دیگران نشان داده اند که اجزای *GRACE* آبهای زیرزمینی کل ذخیره آب میتوانند از اطلاعات جدا شوند. این رویکرد، نشان داده شده در معادله (۲)، *GRACE* آبهای زیرزمینی را به عنوان باقیمانده تعادل ذخیره سازی آب، پس از تفریق تغییرات آب معادل از جمله آب برف، آبهای سطحی و ذخیره رطوبت خاک از کل ذخایر آب مشاهده شده توسط *GRACE* را تخمین می زند.

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

G ذخیره سازی زیرزمینی است، *S* کل ذخیره آب، *SWE* معادل آب برف، *SW* ذخیره سازی آبهای سطحی، *SM* رطوبت خاک، و اولویت ها با توجه به میانگین مولفه های خاص در طول دوره مطالعه، ناهنجاری ها را نشان می دهد.

۲-۶ خطای تجزیه و تحلیل

بر اساس اشتباهات دیگر اجزاء، خطای روند در GW با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود

$$\sigma_{agw} = \sqrt{(\sigma_{as})^2} + \sqrt{(\sigma_{asw})^2} + \sqrt{(\sigma_{asm})^2} + \sqrt{(\sigma_{asw})^2}$$

که در معادله بالا σ_{as} مربوط است به خطای روند دریافت کل آب ذخیره شده از ماهواره GRACE ، σ_{asw} مربوط است به خطای روند ارتفاع سطح آب حاصل از ارتفاع سنجی است. σ_{asm} و σ_{aswe} خطاهای روند برای محاسبه GLDAS (به ترتیب رطوبت خاک و معادل آب برف) روند و خطای روند برای هر قسمت از بودجه آب در سمت راست معادله (۲) پس از حذف سیگنال سالانه محاسبه می شود. σ_{as} و σ_{asw} با انتشار خطای ماهانه S' محاسبه می شوند (11.3mm) و σ_{asw} (6.4mm). به ترتیب، به روند تخمین زده شده با حداقل مربعات و به ترتیب 0.6 میلی متر yr^{-1} و 0.4 میلی متر yr^{-1} در طول یک سال است. خطاهای رطوبت خاک و روندهای معادل آب برف، انحراف استاندارد رگرسیون محاسبه شده از سه مدل زمینی مورد استفاده در شبیه سازی های GLDAS (VIC, Noah, and CLM2). با استفاده از روش های مبتنی بر مطالعه توسط Kato et al. (2007). نشان داده شده که انحراف استاندارد بین مدل ها به طور کلی به اندازه بزرگ یا بزرگتر از تفاوت بین هر یک از مدل (یا میانگین) و SM مشاهده شده است. روند خطاها بترتیب $1.9mm yr^{-1}$ و $0.5mm yr^{-1}$ در سال است.

خطای ماهانه در G' به صورت مشابه با معادله (۳) محاسبه شده و به عنوان یک منطقه سایه خاکستری در شکل ۴ ترسیم شده است. خطای ماهانه در S' 11.3 میلی متر است و شامل اندازه گیری و اشتباهات نشت خطای ماهانه در SW' 6.4 میلی متر است و میانگین خطاهای ماهانه پنج دریاچه است. اشتباهات ماهانه در SM' و SWE' انحراف معیار ماهانه SM' و SWE' محاسبه شده از سه مدل سطح زمین (VIC, Noah, and CLM2) است.

۳- نتایج

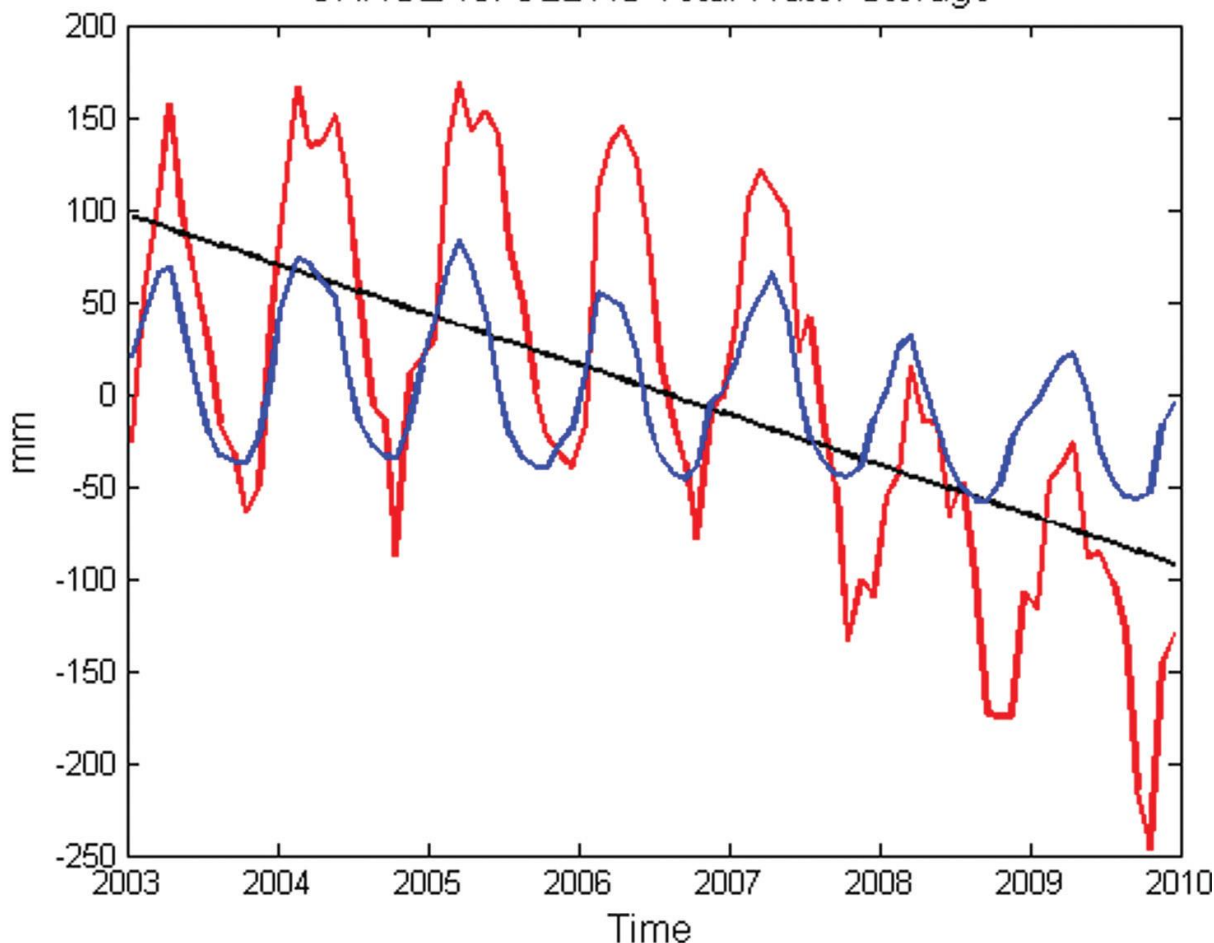
۱-۳ ذخیره آب جمع شده توسط GRACE-Observed و GLDASS

مشاهدات ماهانه GRACE از منطقه ذخیره آب با ناهنجاری های شبیه سازی شده GLDAS برای منطقه مورد مطالعه مقایسه شد. میانگین سه مدل سطح زمین (شکل ۲). این مقایسه سه موضوع کلیدی را برجسته می کند که بحث های بیشتری را ضروری می داند. اول، مطالعات متعدد نشان داده است که داده های GRACE در مقایسه با مشاهدات، تغییرات ذخیره سازی آب طبیعی را بسیار خوب نمایش می دهد. (Rodell and Famiglietti, 2001; Rodell et al., 2004a; Rodell et al., 2004b; Syed et al., 2008; Swenson and Wahr, 2006; Swenson et al., 2006; Yeh et al., 2006; Syed et al., 2009). دوم، با این حال، دامنه تغییرات فصلی در کل ذخیره آب از نظر ماهواره GRACE به طور کلی بیشتر از مدل های شبیه سازی شده است، نتیجه ای که در شکل ۲ دیده می شود. چند مطالعه قبلی

با استفاده از ماهواره GRACE بشرح ذیل می باشد. (Wahr et al., 2004; Swenson and Wahr, 2006; Swenson and Milly, 2006; Niu et al., 2006; Syed et al., 2008) اشاره به مدل های ناقص یا ضعیف آب معادل برف، آب های سطحی قابل استفاده و مخازن، عمق کامل خاک و ذخیره آبهای زیرزمینی به عنوان دلیل کلیدی، که چرا مدل ها نمیتوانند دامنه ذخیره سازی مشاهده شده GRACE را پخش کنند، همانطور که در اینجا آمده است. (Niu et al. 2006). دریافتیم که افزودن یک مولفه آب زیرزمینی به CLM منجر به شبیه سازی بهتر چرخه فصلی، کل ذخیره آب نسبت به GRACE شد. (Lo et al. 2010). در حالی که داده های GRACE برای کالیبره کردن و بهبود شبیه سازی مدل های ذخیره سازی کل آب پس از اضافه کردن یک مولفه آب زیرزمینی استفاده شده است. سوم، شبیه سازی مدل سطح زمین از کل ذخیره سازی آب با استفاده از ماهواره GRACE بطور قابل توجهی در مناطقی که استفاده و مدیریت آب توسط انسان صورت می گیرد متفاوت است. به عنوان مثال، ذخیره و استخراج سطح قابل توجهی از آبهای زیر زمینی در تعادل ذخیره سازی منطقه ای تسلط دارند. برای مثال بهتر (Tiwari et al. 2009). شبیه سازی کل آب ذخیره شده GLDAS از داده های GRACE به منظور جدا کردن مولفه مدیریت آب توسط انسان در تغییر آب ذخیره شده (در درجه اول از پمپاژ آبهای زیرزمینی) در هند می باشد.

Archive of SID

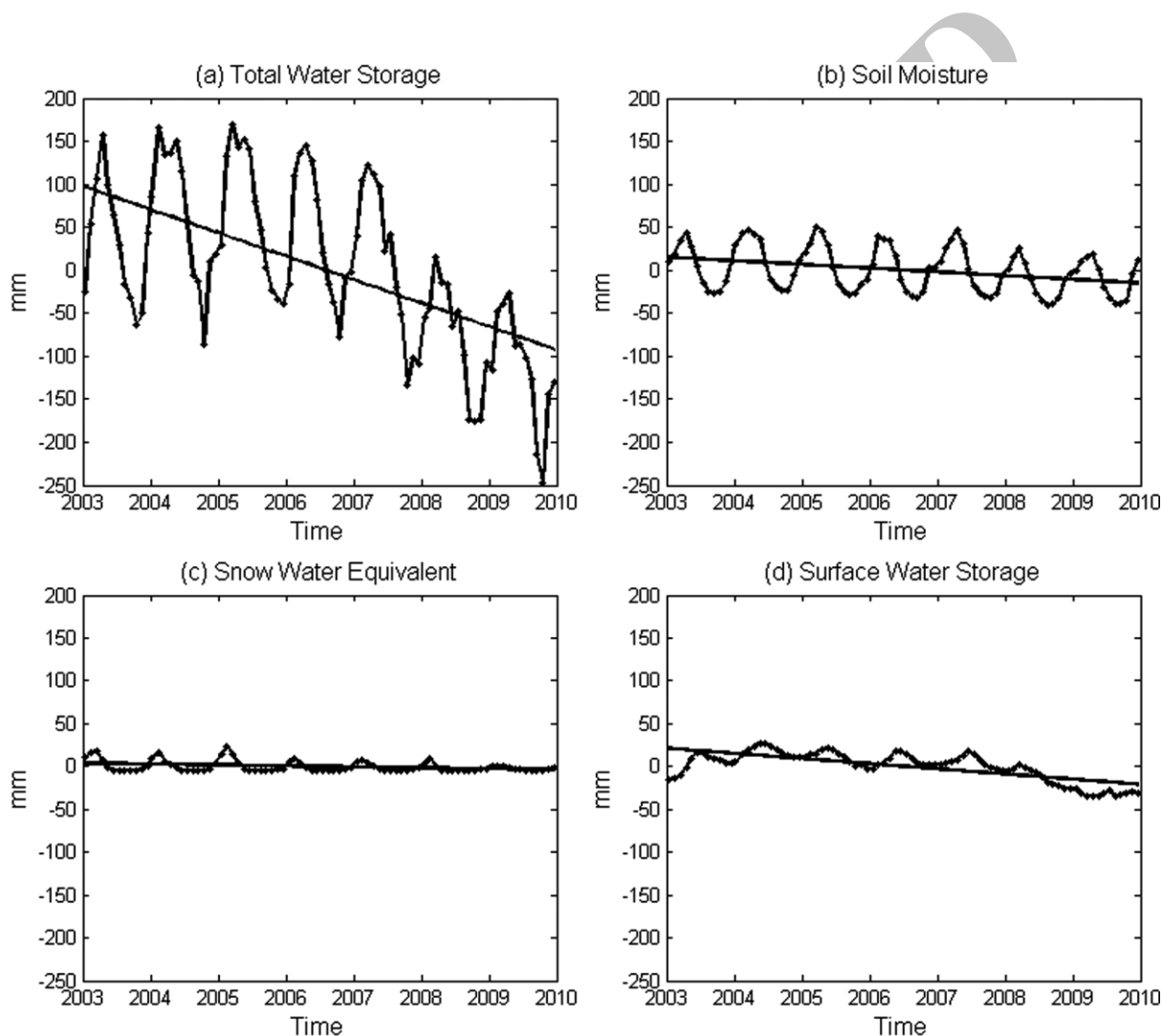
GRACE vs. GLDAS Total Water Storage



شکل ۲: کل ناهنجاری ذخیره سازی (مخلوط بارش، تبخیر تعرق، و سری زمانی جریان) تولید شده توسط GLDAS در مقایسه با کل GRACE. ناهنجاری ذخیره سازی آب برای منطقه TEWI در شکل ۱، از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹. خط آبی GLDAS کل ذخیره آب است، خط قرمز کل ذخیره GRACE است، و خط سیاه روند کل ذخیره سازی GRACE به میزان $-27.2 \pm 0.6 \text{mm yr}^{-1}$ در طول سال می باشد. خطای مرتبط با کل ذخیره آب GLDAS. میانگین انحراف استاندارد ماهانه از سه مدل سطح زمین است (VIC، Noah، و CLM2)، در حالی که خطای ماهانه ذخیره سازی ماهانه GRACE به ترتیب ۱۱.۳ میلی متر برای هر ماه است که مجموع خطای مقیاس و نشت می باشد.

تغییرات در (در درجه اول از پمپاژ آبهای زیرزمینی) در هند، را شکل ۲ به وضوح نشان می دهد که شبیه سازی های GLDAS قادر به پاسخ انسان به خشکسالی نیستند که از سال ۲۰۰۷ شروع می شوند. گرچه مدل ها می توانند تغییرات طبیعی را با توجه به کاهش بارش شبیه سازی کنند (همانطور که توسط شکل ۲ نشان می دهد که نقطه اوج نمودار به طور کلی کاهش می یابد)، چون آنها ذخیره و استخراج مخزن و تراز آب زیرزمینی زیرزمینی، آبیاری و دیگر کاربردهای انسانی از آب را اندازه گیری نمی کنند. آنها قادر به نمایاندن آب افزایش یافته همراه با برداشت که در طول دوره خشکسالی اتفاق می افتد نیستند (Famiglietti et al., 2011b). در نتیجه، مدل ها قادر به ذخیره آب دریافتی نمی باشند. روند مشاهده شده توسط GRACE. در حقیقت، تفاوت بین رگرسیون های ذخیره سازی آب توسط مشاهدات GRACE و شبیه سازی GLDAS اندازه گیری های غیرمستقیم تخلیه سطح و زیرزمینی آب ها در طول دوره خشکسالی است. در بقیه این بخش، ما

از مشاهدات کمکی و مجموعه داده های مدل شرح داده شده در بخش ۲ برای درک بهتر معادل آب برف، سطح آب، رطوبت خاک و اجزای زیر آب و رفتار در طول دوره زمانی مورد مطالعه، از جمله میزان تخلیه آبهای زیرزمینی توسط انسان بحث خواهیم کرد. با توجه به این واقعیت که حوضه رودخانه دجله و فرات دارای زیرساخت های گسترده ای از آب است، اثرات مدیریت آب می تواند به طور قابل توجهی بر روند ناهنجاری ذخیره سازی آب در منطقه *TEWI* تاثیر گذارد. (*Swenson and Wahr, 2009; Wang et al., 2011* e.g., *Famiglietti et al., 2011b; Rodell et al., 2007*).



شکل (a) ماهیت کل ناهنجاری های ذخیره آب و روند از **GRACE** برای منطقه مطالعه از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹. روند **GRACE TWS** $27.2 \pm 0.6 \text{mm} \text{yr}^{-1}$ می باشد. (b) تغییرات ذخیره رطوبت ماهانه و روند از **GLDAS**. روند رطوبت خاک است $-3.1 \pm 1.9 \text{mm} \text{yr}^{-1}$ ، (c) ارزیابی ماهانه بر اساس ارتفاع سنجی از تغییرات و روند ذخیره سازی

آب های سطحی. روند ذخیره سازی آب سطحی است $-5.9 \pm 0.4 \text{mm yr}^{-1}$ ، (d) تغییرات ذخیره معادل ماهیانه آب برف و روند از GLDAS. روند ذخیره سازی معادل آب برف است $-0.9 \pm 0.5 \text{mm yr}^{-1}$

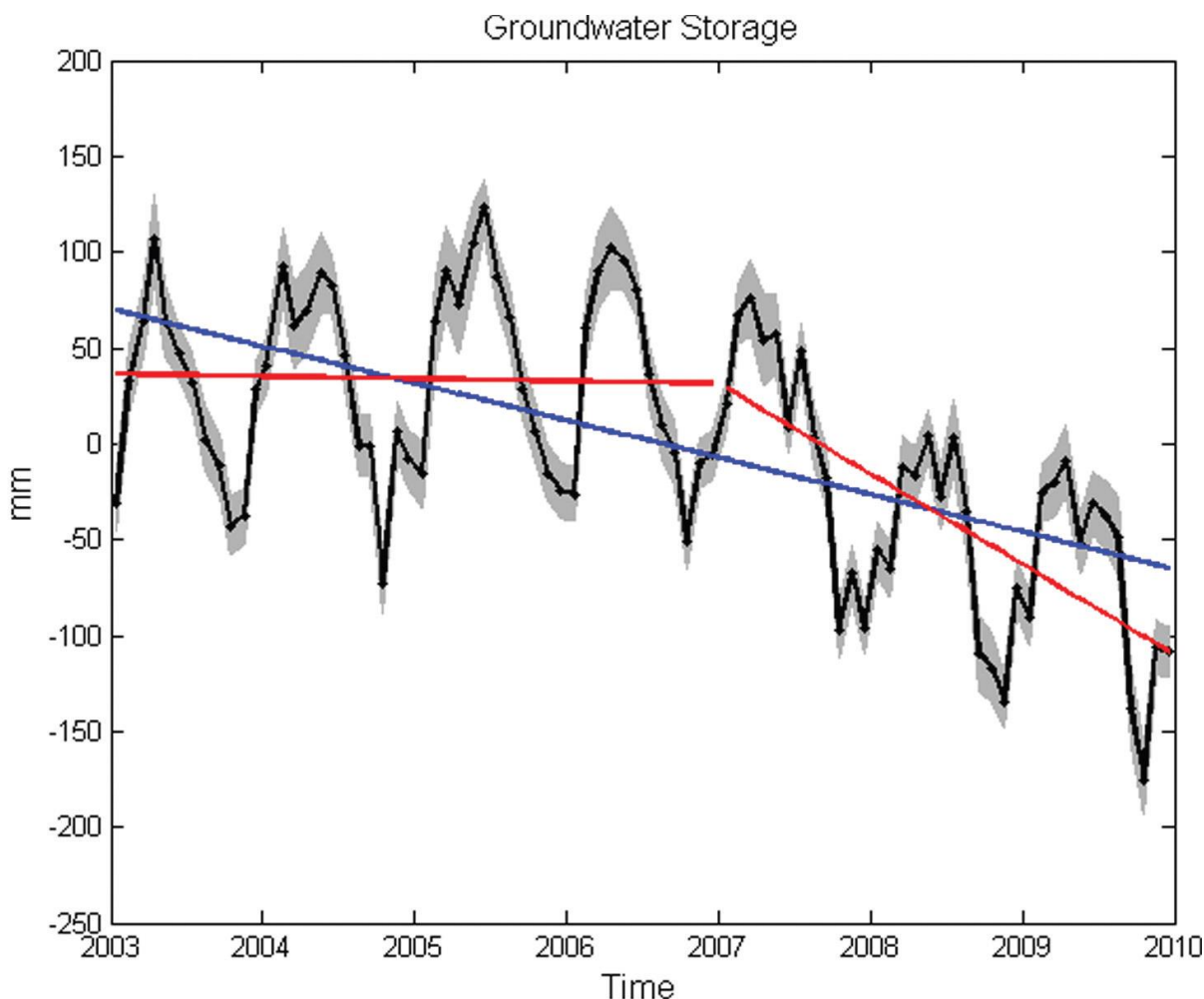
(Syed et al., 2008; Yeh et al., 2006) بنابراین، ما اعتقاد داریم که فرض بر این است که برآوردهای GRACE از تغییرات ذخیره آب زمین دقیق است.

۲-۳ کل ذخیره آب

شکل a3 نشان می دهد که از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹، روند ذخیره سازی کل آب توسط GRACE برای منطقه مورد مطالعه حاصل شد $-27.2 \pm 0.6 \text{mm yr}^{-1}$. این معادل است با $-20.5 \pm 0.4 \text{km}^3$ از دست دادن حجم آب در هر سال، برای از دست دادن کل حجم تقریباً $-143.6 \pm 2.8 \text{km}^3$ در طول دوره مطالعه است. این میزان از دست رفتن آب یکی از بزرگترین تلفات مایع آب شیرین در قاره بحساب می آید. (Rodell et al., 2009) . ذخیره سازی آب در منطقه نشان می دهد که کاهش شدید داده GRACE، به ویژه پس از سال ۲۰۰۷، که همزمان با شروع خشکسالی منطقه ای و تغییرات پس از آن در استفاده و در دسترس بودن آب می باشد. $143.6 \pm 2.8 \text{km}^3$ از دست رفته در طول دوره مطالعه ۷ سال تقریباً برابر با کل دریای مرده است، که به طور متوسط حجم 147km^3 می باشد.

۳-۳ معادل آب برف و رطوبت خاک

شکل b3 خروجی GLDAS را برای رطوبت خاک نشان می دهد، و شکل c3 نشان می دهد که برای معادل آب برف، روند رطوبت خاک به ترتیب به $-3.1 \pm 1.9 \text{mm yr}^{-1}$ و روند معادل آب برف برابر $-0.9 \pm 0.5 \text{mm yr}^{-1}$ ، نشان دادن تلفات حجمی از $-2.3 \pm 1.4 \text{km}^3 \text{ yr}^{-1}$ و $-0.7 \pm 0.4 \text{km}^3 \text{ yr}^{-1}$ می باشد. به ترتیب. این روند منفی تا حد زیادی تحت تاثیر آب و هوا است و خشکسالی منطقه ای که در بالا ذکر شد منعکس می شود. که با هم تقریباً یک پنجم از تلفات آب مشاهده شده را تشکیل می دهند.



شکل ۴: تغییرات ذخیره ماهانه آب زیرزمینی (به عنوان ناهنجاری ها) و روند منطقه مورد مطالعه از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹. منطقه خاکستری سایه دار نشان دهنده خطا است، که ماهانه، خطای یک سیگما را از ترکیب **GRACE**، **TWS**، **GLDAS** مشتق شده **SM** و **SWE** و خطاهای ارتفاع سنج **SW** را نشان می دهد. تغییرات ذخیره آب زیرزمینی توسط خط سیاه نشان داده شده است. خط آبی، روند کلی دوره مطالعاتی است که مقدار $-17.3 \pm 2.1 \text{mm} \text{yr}^{-1}$ در سال می باشد. خطوط قرمز نشان دهنده روند تازه ای از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۶ است و ژانویه ۲۰۰۷ تا دسامبر ۲۰۰۹ است. که بیانگر مقادیر $4.9 \pm 3.1 \text{mm} \text{yr}^{-1}$ و $-34 \pm 4.5 \text{mm} \text{yr}^{-1}$ می باشد.

۴-۳ آبهای سطحی

ناهنجاری های ذخیره آب سطحی در شکل d3 نشان داده شده است. روند دوره مطالعه برابر $-5.9 \pm 0.4 \text{mm} \text{yr}^{-1}$ با افت معادل حجم $4.4 \pm 0.3 \text{km}^3 \text{yr}^{-1}$ - یا تقریباً ۲۰ درصد از کل حجم آب که در طی دوره ۸۴ ماه مورد مطالعه قرار گرفت. احتمال دارد که روند آب های سطحی ما تنها ۵٪ روند واقعی در محاسبات ما را تحت الشعاع قرار دهد، دریاچه های ارومیه، وان و تارتار و مخازن اسد و قادسیه و تغییرات در مناطق مربوطه به حساب نمی آیند. همانطور که در بالا ذکر شد، پنج

نهاد آب که داده های ارتفاع سنجی در دسترس بود به احتمال زیاد نشان دهنده حدود دو سوم از تغییرات ذخیره آبهای سطحی واقعی که در درون مرزهای منطقه مورد مطالعه (بر اساس منطقه نقشه برداری شده از تمام آب های سطحی) قرار دارند. با فرض اینکه منطقه مورد مطالعه دارای یک سطح و تراز ثابت می باشد ، برآورد ما از ذخیره آبهای سطحی ماهیانه بیش از حد انتظار است. با این وجود، با فرض ثابت ماندن سطح مورد مطالعه، میزان کاهش یا روند کاهشی، ناچیز است. بنابراین، در هر دو مورد اگر (مخازن فاقد آب و انقباض سطح حوضه مورد مطالعه)، روند تغییرات آب در سطح زمین را پایین آوریم. در نتیجه، تخمین های ما در بخش ذخیره سازی آبهای زیرزمینی ممکن است بیش از حد مورد توجه قرار گیرد. همانطور که در بالا توضیح داده شد، ما کاستی ها و عدم اطمینان های اضافی را که این امر به مطالعه کمک می کند را، تایید می کنیم؛ با این حال، ما پیشنهاد می کنیم که این کار نمونه ای از رویکرد "بهترین ممکن و در دسترس" را برای مناطقی که داده های موجود در آن غیر قابل دسترس هستند را ارائه می دهد.

۳-۵ آب های زیرزمینی

پس از معادله (۲)، ناهنجاری های ذخیره آب زیرزمینی به عنوان پس مانده پس از تفریق معادل آب برف، سطح آب و رطوبت خاک توسط ماهواره GRACE محاسبه شد. شکل ۴ نشان می دهد که ناهنجاری های ذخیره آب زیرزمینی ماهانه، تخمین زده می شود. روند آب های زیرزمینی بشرح ذیل می باشد ($1.6 \pm 13 \text{ km}^3 \text{ yr}^{-1}$ ، $-17.3 \pm 2.1 \text{ mm yr}^{-1}$ و $91.3 \pm 10.9 \text{ km}^3$ برای کل دوره مطالعه از بین رفتن ۶۳ درصد کل تغییرات ذخیره آب رقم قابل توجهی است که از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ به خود اختصاص می دهد. همانطور که در شکل ۴ دیده می شود، روند کاهش در آب های زیرزمینی با خشکسالی ۲۰۰۷ همخوانی دارد. روندها در بخش ذخیره سازی آب در جدول ۱ خلاصه شده و در کل ذخیره سازی آب مورد بحث، در این بخش خلاصه شده است.

۴-۴ بحث

۴-۱ روند هیدرولوژیکی در حوضه رود خانه دجله و فرات و ناحیه غربی ایران

با استفاده از داده های GRACE نشان می دهد که میزان کل حجم آب حدود ۱۴۴ کیلومتر مکعب در طی دوره مورد مطالعه ۷ ساله است. این مقدار از دست رفته به ویژه برای مناطق مانند منطقه TEWI، که در حال حاضر با کمبود آب شدید مواجه است، هشدار دهنده است. تجزیه و تحلیل ارائه شده در اینجا نشان می دهد که تخلیه آبهای زیرزمینی بزرگترین کمک به نتایج و مشاهدات منفی هستند. روند کاهشی، تقریباً ۶۰٪ از حجم کل آب از دست رفته را تشکیل می دهد، که اکثر آنها پس از شروع خشکسالی در سال ۲۰۰۷ اتفاق افتاد. همانطور که داده های در دسترس را برای تأیید این نتایج نداریم، ما اذعان داریم که عدم اطمینان در این تحلیل وجود دارد. ، که ما تلاش کردیم آن را ارزیابی کنیم. با این حال، ما معتقدیم که این ترکیب داده های سنجیده شده و مدل شده از راه دور بسیار ارزشمند است. جایگزین مناسب برای درک تغییرات هیدرولوژیکی در مناطقی که با کمبود داده مواجه است. اگر چه مشاهدات هیدرولوژیکی در محل تقریباً غیرممکن است، نتایج ارائه شده در این گزارش با گزارش های منتشر شده از منطقه سازگار است. فرونشست زمین ناشی از جذب آب های زیرزمینی در نزدیکی تهران، ایران به خوبی مستند شده است. (Alipour et al., 2008; Lashkaripouret al., 2005; Motagh et al., 2008). گزارش موسسه بروکینگز نشان داد که جابجایی صدها هزار نفر از شمال عراق به دلیل کمبود آب وجود دارد.

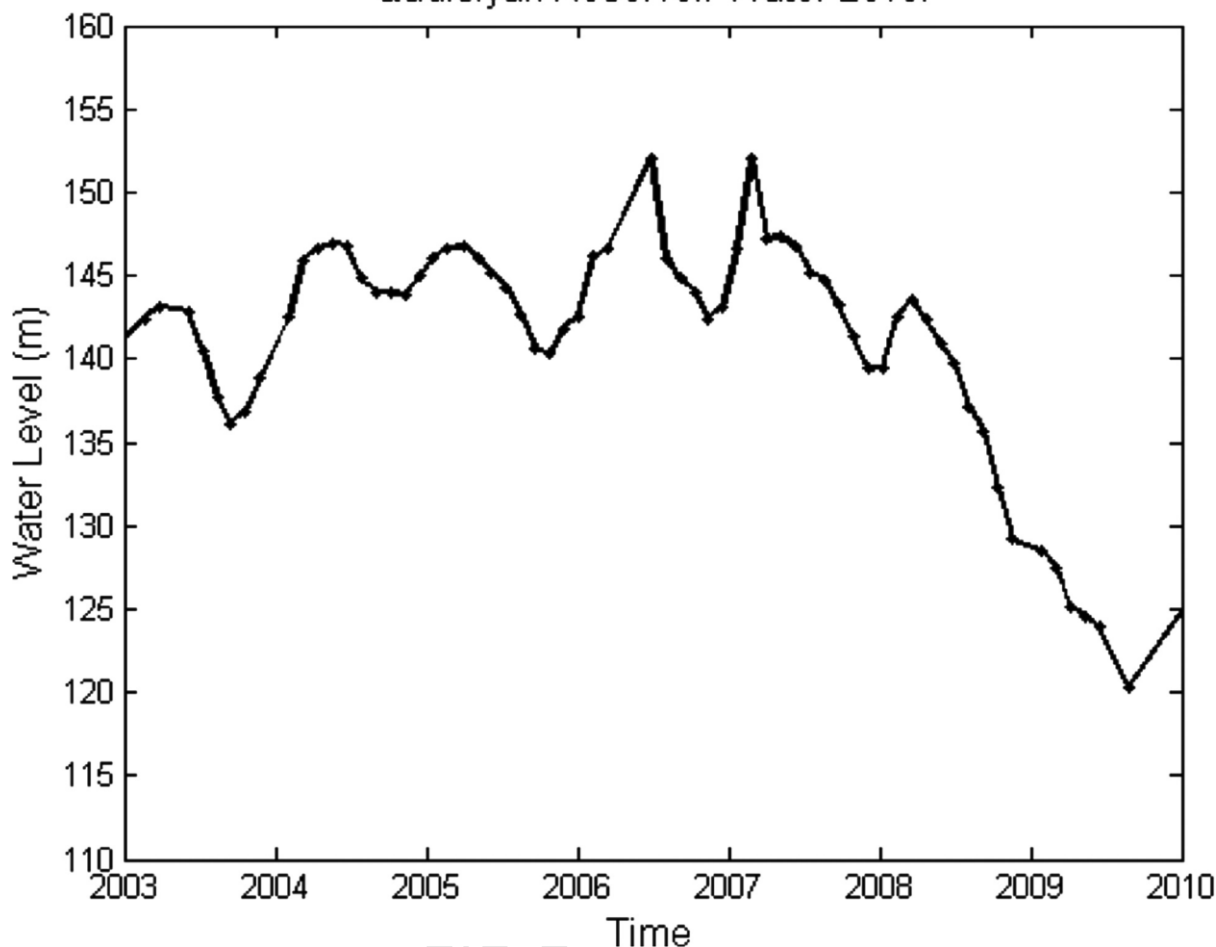
Michel et al., 2012. مطالعه ما این گزارش ها را با ارائه یک ارزیابی جامع و منطقه ای از تلفات آب در منطقه، در حالی که تغییرات ذخیره سازی کلیدی مانند آبهای زیرزمینی و آبهای سطحی را تعدیل می کند، تکمیل می کند.

جدول ۱- روند ذخیره سازی آب در منطقه TEWI از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۰۹

Water Storage Component	Trend (mm yr ¹)	Volume Lost (km ³ yr ¹)	Total Volume (km ³)
GRACE برآورد کل آب ذخیره سازی شده توسط	27.260.6	20.560.4	143.662.8
آبهای سطحی	5.960.4	4.460.3	31.162.1
رطوبت خاک	3.161.9	2.361.4	16.3610.0
معادل آب برف	0.960.5	0.760.4	4.962.5
آب های زیرزمینی (GRACE-SW-SM-SWE)	17.362.1	13.061.6	91.3610.9
مقدار آب های زیرزمینی از ۲۰۰۳-۲۰۰۶	4.963.1	3.762.3	14.769.3
مقادیر آب های زیرزمینی از سال ۲۰۰۷-۲۰۰۹	34.064.5	25.663.4	76.9610.1

Archive of SID

Qadisiyah Reservoir Water Level



شکل ۵ تغییرات ذخیره سازی برای مخزن قادسیه در عراق. از اطلاعات ارتفاع سنجی از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۰۹

رفتار مصرف آب در عراق در طول دوره مطالعه به دنبال الگوی معمول افزایش برداشت آب های زیرزمینی در پاسخ به خشکسالی و کاهش دسترسی به آبهای سطحی بوده است. (Famiglietti et al., 2011). بر اساس داده های ارتفاع سنجی، سطح مخزن اصلی عراق در رودخانه فرات، مخزن قادسیه در سال ۲۰۰۷ به شدت کاهش یافت (شکل ۵). Chulov (۲۰۰۹). تا پایان سال ۲۰۰۷، جریان رودخانه فرات از زمان عبور خود از عراق به حدود ۷۰ درصد جریان نرمال خود کاهش یافت Chulov (۲۰۰۹) اشاره کرد که دولت عراق از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ تقریباً ۱۰۰۰ چاه آب های زیرزمینی را از بین برده است، در حالیکه ۸۰ درصد از ذخایر آب زیرزمینی کشور را در پاسخ به کاهش منابع آب سطحی توزیع و بهره برداری می کند. این ۱۰۰۰ چاه جدید فقط به آنچه که توسط دولت عراق ساخته شده است، اشاره می شود. به احتمال زیاد افراد عادی نیز چاه های خصوصی دیگری را برای آبیاری کشاورزی و نیاز های شخصی خود ساخته اند. این افزایش سریع مصرف آب زیرزمینی، بدون افزایش دوباره بارندگی و یا جریان آب، یک عامل شتاب دهنده مهم از تلفات آب زیرزمینی است که در این مطالعه تخمین زده می شود.

۴-۲ پیامدهای مدیریت آبهای فرامرزی

پاسخ مدیریت آب به خشکسالی در بخش حوضه دجله-فرات در منطقه مطالعه و روند منفی کلی ذخیره آب در منطقه TEWI، مسئله مهمی است که باید با مدیریت علمی با آن برخورد کرد. متأسفانه، قانون بین المللی آب نمی تواند راهنمای مناسبی برای مدیریت فرامرزی در حوضه دجله و فرات باشد. برنامه های کاربردی برای جوامع مختلف متفاوت است. در نتیجه، ترکیه، سوریه و عراق، از هرگونه مجوز قانونی برای تخصیص آب یا شیوه های مدیریتی برای دو رودخانه اجتناب ورزیدند. در صورت عدم توافق نامه های مربوطه، مصرف کنندگان جریان پایین دست- سوریه و عراق - وابسته به تصمیمات مدیریت منابع آب بالاست دست - توسط ترکیه - که در نهایت جریان های پایین تر دجله و فرات را تعیین می کنند.

Salman, 2004; UN Environmental Program (UNEP), 2008; Wolf and Newton, 2007b). بدون یک استراتژی موثر بین المللی در مدیریت منابع آب، هر کشوری آزاد است که یک جانبه عمل کند. از لحاظ اقتصادی، هر کدام وابسته به دجله و فرات است، آب برای آبیاری کشاورزی، جزء اصلی اقتصاد ملی است. در حقیقت، هدف اصلی پروژه GAP گستردگی، تامین منابع آب برای گسترش کشاورزی در جنوب شرقی ترکیه بود. Directorate of StateHydrolic Works (DSI), 2009; Harris, 2009; Ozdogan et al., 2006). و سوریه، عراق و ایران از منابع آب محدود خود برای حمایت از اهداف بخش کشاورزی استفاده می کنند. (FAO, 2009). عراق به عنوان مصرف کننده نهایی رودخانه دجله و فرات، تنها جریانانی را که پس از تخصیص و تحویل توسط ترکیه و سوریه باقی می ماند، را دریافت می کند. (Zawahri, 2006). پیامدهای این کمبود مدیریت مرزی در این مطالعه روشن است. مصرف کننده نهایی با مقدار کمی از آب سطحی باقی مانده است. باید ذخایر غیر قابل احیاء آبهای زیرزمینی را استفاده کند. پس از خشکسالی در سال ۲۰۰۷، تولیدات کشاورزی برای هر سه کشور کاهش یافت. ترکیه به میزان حداقل تحت تأثیر قرار گرفت، و بیشترین میزان تولید محصول، کمی کاهش یافته یا ثابت باقی ماند. با این حال، در پایین دست در سوریه و عراق، کاهش چشمگیر و قابل توجهی در تمامی محصولات کشاورزی، به ویژه جو مشاهده گردید. (USDA, 2011). کاهش تولیدات کشاورزی به طور قابل ملاحظه ای بر ثبات اقتصادی در منطقه تأثیر می گذارد و به دلیل محدودیت های زیاد بابت در دسترس بودن آب و تهدیدات ناشی از تغییرات آب و هوایی، از جمله خشکسالی های طولانی مدت.

۴-۳ ابزارهای جدید برای مدیریت مشارکتی آب

تجزیه و تحلیل ما نقش ماموریت GRACE را برجسته می کند. و دیگر پیشرفت های اخیر و نزدیک در آینده در سنجش از دور سنج هیدرولوژیکی، و تصمیم گیری محیط زیستی بین المللی. می تواند به عنوان ابزار مهم جدید برای منطقه بازی کند. مطالعه توصیف شده در اینجا یک فرصت ارزشمند و منحصر به فرد برای درک روند هیدرولوژیکی در یک داده غیر قابل دسترس ارائه می دهد. منطقه ای مانند منطقه خاورمیانه در اینجا مطالعه شده است. با استفاده از داده GRACE، ما گزارش دادیم که حدود ۱۴۴ کیلومترمکعب از آب در منطقه TEWI از ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ از دست رفته است. با استفاده از مجموعه داده های تکمیلی از مدل های هیدرولوژیکی جهانی و از ارتفاع سنجی ماهواره ای در یک چارچوب توازن توده ای، ما دریافتیم که عوامل شتاب دهنده این روند ترکیبی از خشکسالی و افزایش مربوط به استفاده از آبهای زیرزمینی است. تقریباً ۹۱ کیلومتر مکعب از کل مقدار آب از دست داده در طول دوره مطالعه از آب های زیرزمینی است. تجزیه و تحلیل ما این

تحقیق را در زمینه های اقتصادی و سیاسی منطقه ای قرار داده است. از لحاظ اقتصادی، این بحران منجر به از دست دادن عملکرد کشاورزی، بیکاری، سختی های عاطفی و مهاجرت های جمعی شده است. از لحاظ سیاسی، پاسخ به خشکسالی نشان دهنده یک فرصت از دست رفته برای مدیریت تعاونی آبهای بین مرزی است. امیدوارم، بینش ارزشمندی برای یک منطقه با شفافیت کمیته، در تصمیمات مدیریت آب و چندین منبع داده، در دسترس عموم داشته باشیم. گرچه هیچ گونه جایگزینی برای داده های مشاهداتی مبتنی بر زمین وجود ندارد، GRACE و دیگر سنسورهای آب یک ابزار منحصر به فرد برای مدیریت آب در سرتاسر جهان خواهند بود. با یک تصویر جامع از تغییرات آب در دسترس، ارائه می دهد در حالی که با مشکلات مشترک، حفظ و حفاظت از این منابع مشترک رو برو است. ملت ها ممکن است انگیزه های جدیدی برای مشارکت در مسائل مربوط به مدیریت آب در مرزهای سیاسی ایجاد کنند. علاوه بر این، دیدگاه سینوپتیک از فضا در نهایت می تواند انکار داده ها و سیاست های ناتوانی مدیریت را منسوخ سازد، زیرا شیوه های مدیریت آب به طور فزاینده ای از فضا به نمایش در می آید. (Swenson and Wahr, 2009; Tiwari et al., 2009; Rodell et al., 2009; Famiglietti et al., 2011b). و به طور همزمان، آنها بهتر در مدل های منطقه ای و جهانی هیدرولوژیکی نمایان می شوند. پیشرفت های جدید در مدل هیدرولوژیکی سنجش از دور و مدل های هیدرولوژیکی همراه با افزایش دسترسی به داده های مشاهدات نشان می دهد که این فرصت برای ساخت دقیق ترین و جامع ترین تصویر موجود در دسترس بودن آب شیرین برای یک منطقه خاص یا در سراسر جهان، در حال حاضر در دست ماست. چنین مطالعات علمی آگاهانه برای مدیریت آبهای مناطق مرزی موثر و ضروری است.

مراجع

- Agboma, C., S. Yirdaw, and K. Snelgrove (2009), Intercomparison of the total storage deficit index (TDSI) over two Canadian Prairie catchments, *J. Hydrol*, 374(3/4), 351–359, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.06.034.
- Alipour, S., M. Motgah, M. A. Sharifi, and T. R. Walter (2008), InSAR time series investigation of land subsidence due to groundwater overexploitation in Tehran, Iran, *Second Workshop on Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas*, 2008, USEReST, pp. 1–5, 11–14.
- Amery, H. A., and A. T. Wolf (2000), *Water in the Middle East: A Geography of Peace*, University of Texas Press, Austin, Tex.
- Andersen, O., S. Seneviratne, J. Hinderer, and P. Viterbo (2005), GRACE-derived terrestrial water storage depletion associated with the 2003 European heat wave, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L18405, doi:10.1029/2005GL023574.
- Bayazit, M., and I. Avci (1997), Water resources of Turkey: Potential, planning, development and management, *Int. J. Water Resour. D.*, 13(4), 443–452.
- Chambers, D. P. (2006), Evaluation of new GRACE time-variable gravity data over the ocean, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17603, doi:10.1029/2006GL027296.
- Chen, F., K. Mitchell, J. Schaake, Y. Xue, H. Pan, V. Koren, Y. Duan, M. Ek, and A. Betts (1996), Modeling of land-surface evaporation by four schemes and comparison with FIFE observations, *J. Geophys. Res.*, 101(D3), 7251–7268, doi:10.1029/95JD02165.
- Chen, J., C. Wilson, B. Tapley, L. Longuevergne, Z. Lang, and B. Scanlon (2010), Recent La Plata basin drought conditions observed by satellite gravimetry, *J. Geophys. Res.*, 115, D22108, doi:10.1029/2010JD014689.
- Chenoweth, J., P. Hadjinicolaou, A. Bruggeman, J. Lelieveld, Z. Levin, M. A. Lange, E. Xoplaki, and M. Hadjikakou (2011), Impact of climate change on the water resources of the eastern Mediterranean and Middle East region: Modeled 21st century changes and implications, *Water Resour. Res.*, 47, W06506, doi:10.1029/2010WR010269.

- Chulov, M. (2009), Iraq: Water, water nowhere, *World Policy J.*, 26(4), 33–40, doi:10.1162/wopj.2010.26.4.33.
- Cretaux J.-F., W. Jelinski, S. Calmant, A. Kouraev, V. Vuglinski, M. BergeNguyen, M.-C. Gennero, F. Nino, R. Abarca Del Rio, A. Cazenave, and P. Maisongrande (2011), SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data, *Adv. Space Res.*, 47, 1497–1507, doi:10.1016/j.asr.2011.01.004.
- Dai, Y., et al. (2003), The common land model, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 84, 1013–1023, doi:10.1175/BAMS-84-8-1013.
- Derber, J. C., D. F. Parrish, and S. J. Lord (1991), The new global operational analysis system at the doi:10.1175/1520-538-547, 6, National Meteorological Center, Weather Forecasting, 0434(1991)006<0538: TNGOAS>2.0.CO;2.
- Directorate of State Hydrolic Works (DSI) (2000), Directorate of State Hydrolic Works.
- Directorate of State Hydrolic Works (DSI) (2009), Turkey Water Report, 2009, Directorate of State Hydrolic Works, Ankara, Turkey.
- Famiglietti, J. S., L. Murdoch, V. Lakshmi, and J. Arrigo (2011a), Establishing a framework for community modeling in hydrologic science, Report from the 3rd Workshop on a Community Hydrologic Modeling Platform (CHyMP): A Strategic and Implementation Plan, Tech. Rep. 10, Irvine, Calif., March 15–17, doi:10.4211/techrpts.20110317.tr10.
- Famiglietti, J. S., M. Lo, S. L. Ho, J. Bethune, K. J. Anderson, T. H. Syed, S. C. Swanson, C. R. deLineage, and M. Rodell (2011b), Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley, *Geophys. Res. Lett.*, 38, LO3403, doi:10.1029/2010GL046442.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2009), Irrigation in the Middle East Region in Figures: AQUASTAT Survey, 2008, edited by K. Freken, FAO, pp. 23–122, 185–214, 339–374, Rome, Italy.
- German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BRG) and United Nations Educational, Social, and Cultural Organization (UNESCO) (2010), Groundwater Resources of the World Basin Template, World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme (WHYMAP), GIS data obtained from BRG WHYMAP team in July 2010.
- Graham, S. T., J. S. Famiglietti, and D. R. Maidment (1999), Five-minute, 1/2 , and 1 data sets of continental watersheds and river networks for use in regional and global hydrologic and climate system modeling studies, *Water Resour. Res.*, 35(2), 583–587.
- Harris, L. M. (2009), States at the limit: Tracing contemporary state-society relations in the borderlands of southeastern Turkey, *Eur. J. Turk. Stud.*, 10, pp. 2–17.
- Integrated Regional Information Networks (2010), Syria: Drought pushing millions into poverty, 9 September 2010. [Available at <http://www.irin news.org/Report/90442/SYRIA-Drought-pushing-millions-into-poverty>.]
- Jones, C., M. Sultan, E. Yan, A. Milewski, M. Hussein, A. Al-Dousari, S. Al-Kaisy, and R. Becker (2008), Hydrologic impacts of engineering projects on the Tigris-Euphrates system and its marshlands, *J. Hydrol.*, 353(1/2), 59–75, doi:10.1016/j.jhydrol.2008.01.029.
- Kato, H., M. Rodell, F. Beyrich, H. Cleugh, E. van Gorsel, H. Liu, and T. P. Meyers (2007), Sensitivity of land surface simulations to model physics, parameters, and forcings, at four CEOP sites, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 85, 187–204.
- Kavvas, M. L., Z. Q. Chen, M. L. Anderson, N. Ohara, J. Yoon, and F. Xiang (2011), A study of water balances over Tigris Euphrates watershed, *Phys. Chem. Earth*, 36(5/6), 197–203, doi:10.1016/j.pce.2010.02.005.
- Koren, V., J. Schaake, K. Mitchell, Q. Y. Duan, F. Chen, and J. M. Baker (1999), A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. *J. Geophys. Res.*, 104, 19569–19585, doi:10.1029/1999JD900232.
- Koster, R. D., M. J. Suarez, P. Liu, U. Jambor, M. Kistler, A. Berg, R. Reichle, M. Rodell, and J. Famiglietti (2004), Realistic initialization of land surface states: Impacts on subseasonal forecast skill, *J. Hydrometeorol.*, 5(6), 1049–1063, doi:10.1175/JHM-387.1.
- Laboratoire d'Etudes en Geophysique et Oceanographie Spatiales (LEGOS), Hydroweb (2011), Surface water monitoring by altimetry data. [Available at <http://www.legos.obs-mip.fr/en/soa/hydrologie/hydroweb/>; accessed 8 January 2011.].
- Lashkaripour, G. R., A. Asghari-Moghaddam, and M. Allaf-Najib (2005), The effects of water table decline on the groundwater quality in Marand Plain, Northwest Iran, *Iranian Int. J. Sci.*, 6(1), 47–60.

- Leblanc, M., P. Tregoning, G. Ramillien, S. Tweed, and A. Fakes (2009), Basin-scale, integrated observations of the early 21st century multiyear drought in southeast Australia, *Water Resour. Res.*, 45, W04408, doi:10.1029/2008WR007333.
- Lehner, B., and P. Döll (2004), Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands, *J. Hydrol.*, 296(1–4), 1–22, doi:10.1016/j.jhydrol.2004.03.028.
- Lettenmaier, D. P., and J. S. Famiglietti (2006), Hydrology: Water on high, *Nature*, 444, 562–563, doi:10.1038/444562a.
- Liang, X., D. P. Lettenmaier, E. F. Wood, and S. J. Burges (1994), A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for GSMs, *J. Geophys. Res.*, 99(D7), 14,415–14,428, doi:10.1029/94JD00483.
- Liang, X., D. P. Lettenmaier, and E. F. Wood (1996), One-dimensional statistical dynamic representation of subgrid spatial variability of precipitation in the two-layer variable infiltration capacity model, *J. Geophys. Res.*, 101(D16), 21,403–21,422, doi:10.1029/96JD01448.
- Lo, M., J. S. Famiglietti, P. J.-F. Yeh, and T. H. Syed (2010), Improving parameter estimation and water table depth simulation in a land surface model using GRACE water storage and estimated base flow data, *Water Resour. Res.*, 46, W05517, doi:10.1029/2009WR007855.
- Michel, D., A. Pandya, S. I. Hasnain, R. Sticklor, and S. Panuganti (2012), *Water Challenges and Cooperative Response in the Middle East and North Africa*, Brookings Institution, Washington, D.C. [Available at <http://www.brookings.edu/research/papers/2012/11/water-security-middle-east-iwf>.]
- Motagh, M., T. R. Walter, M. A. Sharifi, E. Fielding, A. Schenk, J. Anderssohn, and J. Zschau (2008), Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L16403, doi:10.1029/2008GL033814.
- Niu, G.-Y., and Z.-L. Yang (2006), Assessing a land surface model's improvements with GRACE estimates, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07401, doi:10.1029/2005GL025555.
- Ozdogan, M., C. E. Woodcock, G. D. Salvucci, and H. Demir (2006), Changes in summer irrigated crop area and water use in southeastern Turkey from 1993 to 2002: Implications for current and future water resources, *Water Resour. Manage.*, 20, 467–488.
- Pfaendtner, J., S. Bloom, D. Lamich, M. Seablom, M. Sienkiewicz, J. Stobie, and A. da Silva (1995), Documentation of the Goddard Earth Observing System (GEOS) Data Assimilation System—Version 1, National Aeronautics and Space Administration Tech. Memo, Number 104606, Volume 4, 44 pp., Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.
- Ramillien, G., A. Cazenave, and O. Brunau (2004), Global time variations of hydrological signals from GRACE satellite gravimetry, *Geophys. J. Int.*, 158(3), 813–826, doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02328.x.
- Ramillien, G., J. S. Famiglietti, and J. Wahr (2008), Detection of continental hydrology and glaciology signals from GRACE: A review, *Surv. Geophys.*, 29(4/5), 361–374, doi:10.1007/s10712-008-9048-9.
- Reager, J. T., and J. S. Famiglietti (2009), Global terrestrial water storage capacity and flood potential using GRACE, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L23402, doi:10.1029/2009GL040826.
- Rodell, M., and J. S. Famiglietti (1999), Detectability of variations in continental water storage from satellite observations of the time dependent gravity field, *Water Resour. Res.*, 35(9), 2705–2723, doi:10.1029/1999WR900141.
- Rodell, M., and J. S. Famiglietti (2001), An analysis of terrestrial water storage variations in Illinois with implications for the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), *Water Resour. Res.*, 37(5), 1327–1339, doi:10.1029/2000WR900306.
- Rodell, M., and J. S. Famiglietti (2002), The potential for satellite-based monitoring of groundwater storage changes using GRACE: The High Plains aquifer, Central US, *J. Hydrol.*, 263(1–4), 245–256, doi:10.1016/S0022-1694(02)00060-4.
- Rodell, M., et al. (2004a), The Global Land Data Assimilation System, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 85, 381–394, doi:10.1175/BAMS-85-3-381.
- Rodell, M., J. S. Famiglietti, J. Chen, S. I. Seneviratne, P. Viterbo, S. Holl, and C. R. Wilson (2004b), Basin scale estimates of evapotranspiration using GRACE and other observations, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L20504, doi:10.1029/2004GL020873.
- Rodell, M., J. Chen, H. Kato, J. S. Famiglietti, J. Nigro, and C. R. Wilson (2007), Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River basin (USA) using GRACE, *Hydrogeol. J.*, 15(1), 159–166, doi:10.1007/s10040-006-0103-7.

- Rodell, M., I. Velicogna, and J. S. Famiglietti (2009), Satellite-based estimates of groundwater depletion in India, *Nature*, 460, 999–1002, doi:10.1038/nature08238.
- Salman, M. (2004), *The Euphrates and Tigris: South Boundary Utilization and Views*, IPTRID, Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy.
- Siebert, S., P. Döll, S. Feick, J. Hoogeveen, and K. Frenken (2007), *Global Map of Irrigation Areas version 4.0.1*, Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt am Main, Germany/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Siebert, S., and P. Döll (2008), *The Global Crop Water Model (GCWM): Documentation and first results for irrigated crops*, *Hydrol. Pap. 7*, pp. 160–203, Inst. of Phys. Geogr., Univ. of Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany.
- Solomon, S. (2010), *Water: The Epic Struggle for Wealth, Power, and Civilization*, Harper, New York.
- Strassberg, G., B. R. Scanlon, and M. Rodell (2007), Comparison of seasonal terrestrial water storage variations from GRACE with groundwater-level measurements from the High Plains Aquifer (USA), *Geophys. Res. Lett.*, 34, L14402, doi:10.1029/2007GL030139.
- Sullivan, P. J. (2010), Syria's liquid worries, in *Circle of Blue Water News*. [Available at <http://www.circleofblue.org>; accessed 16 February 2010.]
- Swenson, S., and J. Wahr (2002), Methods for inferring regional surface mass anomalies from GRACE measurements of time-variable gravity, *J. Geophys. Res.*, 107(B9), 2193, doi:10.1029/2001JB000576.
- Swenson, S., and P. C. D. Milly (2006), Systematic climate-model errors in seasonal water storage on continents revealed by satellite gravimetry, *Water Resour. Res.*, 42(3), W03201, doi:10.1029/2005WR004628.
- Swenson, S. C., and J. Wahr (2006), Post-processing removal of correlated errors in GRACE data, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L08402, doi:10.1029/2005GL025285.
- Swenson, S. C., and J. Wahr (2009), Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa, from space, *J. Hydrol.*, 370(1–4), 163–176, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.03.008.
- Swenson, S. C., P. Yeh, J. Wahr, and J. Famiglietti (2006), A comparison of terrestrial water storage variations from GRACE with in situ measurements from Illinois, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L16401, doi:10.1029/2006GL026962.
- Syed, T. H., J. S. Famiglietti, M. Rodell, J. Chen, and C. R. Wilson (2008), Analysis of terrestrial water storage changes from GRACE and GLDAS, *Water Resour. Res.*, 44, W02433, doi:10.1029/2006WR005779.
- Syed, T. H., J. S. Famiglietti, and D. Chambers (2009), GRACE-based estimates of terrestrial freshwater discharge from basin to continental scales, *J. Hydrometeorol.*, 10(1), 22–40, doi:10.1175/2008JHM993.
- Tapley, B., S. Bettadpur, J. C. Reis, P. F. Thompson, and M. M. Watkins (2004), GRACE measurements of mass variability in the earth system, *Science*, 305(5683), 503–505, doi:10.1126/science.1099192.
- Tiwari, V. M., J. Wahr, and S. Swenson (2009), Dwindling groundwater resources in northern India, from satellite gravity observations, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L18401, doi:10.1029/2009GL039401.
- United Nations (1997), *Convention on the Law of the Non-Navigational Uses of International Watercourses*, United Nations, New York. [Available at http://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src%4UNTSONLINE&tabid%42&mtdsg_no%4XXVII-12&chapter%427&lang%4en#Participants.]
- UN Environmental Program (UNEP) (2008), *Vital Water Graphics—An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters*, 2nd ed., UNEP, Nairobi, Kenya.
- U.S. Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service (2008), *Middle East and Central Asia: Continued drought in 2009/2010 threatens greater food grain shortages*. [Available at http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2008/09/mideast_cenasia_drought/; accessed 16 September 2008.].
- U.S. Department of Agriculture (USDA), Foreign Agriculture Service (2011), *Official USDA Estimates of Production, Supply and Distribution of Crops in Turkey, Syria and Iraq*. [Available at <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>; accessed 8 January 2011.].
- Velicogna, I., and J. Wahr (2006), Acceleration of Greenland ice mass loss in spring 2004, *Nature*, 443, 329–331, doi:10.1038/nature05168.

- Wada, Y., L. P. H. van Beek, C. M. van Kempen, J. W. T. M. Reckman, S. Vasak, and M. F. P. Bierkens (2010), Global depletion of groundwater resources, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L20402, doi:10.1029/2010GL044571.
- Wahr, J., S. Swenson, V. Zlotnicki, and I. Velicogna (2004), Time-variable gravity from GRACE: First results, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L11501, doi:10.1029/2004GL019779.
- Wang, X., C. de Linage, J. Famiglietti, and C. Zender (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 Resour. Res.*, 47, W12502, doi:10.1029/2011WR010534.
- Weiss, E. B. (2009), *The Evolution of International Water Law*, Hague Academy of International Law, Mortuus Nijhoff, Boston, Mass.
- Wolf, A. (1998), Conflict and cooperation along international waterways, *Water Policy*, 1(2), 251–265, doi:10.1016/S1366-7017(98)00019-1.
- Wolf, A. T., and J. T. Newton (2007a), Case study transboundary dispute resolution: The Tigris-Euphrates Basin, *Transboundary Freshwater Dispute Database (TFDD)*, Oregon State University. [Available at <http://www.transboundarywaters.orst.edu/>].
- Wolf, A. T., and J. T. Newton (2007b), Case study transboundary dispute resolution: Multilateral Working Group on Water Resources (Middle East), *Transboundary Freshwater Dispute Database (TFDD)*, Oregon State University. [Available at <http://www.transboundarywaters.orst.edu/>].
- Wood, E. F., et al. (2011), Hyperresolution global land surface modeling: Meeting a grand challenge for monitoring Earth's terrestrial water, *Water Resour. Res.*, 47, W05301, doi:10.1029/2010WR010090.
- Xie, P., and P. A. Arkin (1997) Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 78(11), 2539–2558, doi:10.1175/1520-0477(1997)078<2539:GPAYMA>2.0.CO;2.
- Yeh, P. J. F., S. C. Swenson, J. S. Famiglietti, and M. Rodell (2006), Remote sensing of groundwater storage changes in Illinois using the Gravity Recovery and Climate Experiment, *Water Resour. Res.*, 42, W12203, doi:10.1029/2006WR005374.
- Yirdaw, S. Z., K. R. Snelgrove, and C. O. Agboma (2008), GRACE satellite observations of terrestrial moisture changes for drought characterization in the Canadian Prairie, *J. Hydrol.*, 356(1/2), 84–92, doi:10.1016/j.jhydrol.2008.04.004.
- Zaitchik, B. F., M. Rodell, and R. H. Reichle (2008), Assimilation of GRACE terrestrial water storage data into a land surface model: Results for the Mississippi River Basin, *J. Hydrometeorol.*, 9, 535–548, doi:10.1175/2007JHM951.1.
- Zaitchik, B. F., M. Rodell, and F. Olivera (2010), Evaluation of the Global Land Data Assimilation System using global river discharge data and a source to sink routing scheme, *Water Resour. Res.*, 46, W06507, doi:10.1029/2009WR007811.
- Zawahri, N. A. (2006), Stabilizing Iraq's water supply: What the Euphrates and Tigris rivers can learn from the Indus, *Third World Q.*, 27(6), 1041–1058, doi:10.1080/01436590600850467