

کمی کردن تنش ناشی از فعالیت‌های انسانی بر منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز کرخه

بتول اشرف^۱، امین علیزاده^{۲*}، محمد موسوی بایگی^۳، محمد بنایان^۴، مهدی جباری نوقابی^۵، حسین دهقانی سانج^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۷

چکیده

در دهه‌های اخیر، افزایش چشم‌گیر جمعیت و به تبع آن گسترش فعالیت‌های اقتصادی، صنعتی و تغییر کاربری اراضی، منجر به اثرات گسترده بر امنیت منابع آب شده و مشکلات زیست-محیطی فراوانی را در نقاط مختلف جهان به وجود آورده است. به منظور مدیریت منابع آب به شیوه‌ی پایدار، کمی کردن میزان تاثیر فعالیت‌های انسانی بر موجودیت منابع آب به جهت کنترل عرضه و تقاضا، افزایش امنیت غذایی ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه حاضر با این هدف و به منظور ارایه یک شاخص ساده و کاربردی بر اساس پارامترهای معادله بیلان آب آبخوان، انجام شد. این شاخص بر پایه حجم مقادیر ورودی (hin) و خروجی (hout) انسانی به/یا از آبخوان و برای چهار رژیم مصرف آب شامل رژیم با حاکمیت طبیعی، رژیم با حاکمیت انسان، رژیم با زیادی آب و رژیم با کمبود آب تعریف شده است. پس از مشخص شدن وضعیت آبخوان‌های حوضه بر اساس این روش و نیز محاسبه میزان اضافه برداشت آب در هریک از آبخوان‌ها، به منظور بررسی امکان جابجایی مناطقی که رژیم کمبود آب را تجربه کرده‌اند به منطقه با مصرف طبیعی آب، دو سناریوی سازگاری، تعریف و به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که ۵۰٪ از آبخوان‌های حوضه کرخه در دوره مورد مطالعه به شدت تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی بوده‌اند. بیش‌ترین مقدار برداشت انسانی (۴۷۱ میلی‌متر بر سال) حوضه و در واقع حداکثر اضافه برداشت نسبت به ورودی طبیعی، مربوط به آبخوان اسدآباد بوده است. بر اساس دو سناریوی سازگاری در نظر گرفته شده، با کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی فعالیت‌های انسانی، حرکت از منطقه کمبود آب به منطقه با مصرف طبیعی آب را می‌توان در بسیاری از آبخوان‌های این حوضه انتظار داشت.

واژه‌های کلیدی: آب برگشتی، آبخوان، اضافه برداشت آب، امنیت غذا، تنش انسان منشا

مقدمه

سازگاری با این پدیده شامل سیاست‌های تخصیص و بهره‌برداری بهینه از آب به منظور به حداقل رساندن زیان‌های اقتصادی، امری کاملاً ضروری است (Gohari et al., 2013; Madani., 2014; Steinchneider et al., 2015b). علاوه بر این رشد چشمگیر جمعیت جهان و به تبع آن افزایش نیاز آبی منجر به تحمیل تنش بیش‌تر بر میزان بهره‌برداری از آب در دسترس خواهد شد (Gain and iupponi., 2015; Mao and Cherkauer., 2009; Sophocleous., 2004). امروزه از تنش آب ناشی از رشد جمعیت و سایر فاکتورهای مرتبط با آن شامل توسعه اقتصادی و اجتماعی، تغییر کاربری اراضی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخریب محیط زیست در قالب تنش ناشی از فعالیت‌های انسانی یاد شده و به اختصار تحت عنوان "تنش انسان منشا"^۷ مطرح می‌شود. در حقیقت، این واژه به تنش آب تشدید شده به وسیله فعالیت‌های انسان^۸ (به دلیل استفاده ناپایدار از منابع آب موجود نسبت به منابع آب تجدیدپذیر) اشاره می‌کند (AghaKouchak et al., 2015). طبق گزارشات مختلف، در

تغییر اقلیم جهانی و فعالیت‌های انسانی منطقه‌ای اثرات قابل-توجهی بر محیط زیست و منابع آب دارند (Piao et al., 2010; Schew et al., 2014). از جمله این اثرات می‌توان به اثر بر چرخه هیدرولوژی و بودجه‌های آب و انرژی اشاره کرد (Wu et al., 2013; Hagemann et al., 2013). تغییر اقلیم به عنوان عامل اصلی تغییر در موجودیت آب مطرح است (Steinchneider et al., 2015a; Steinchneider and Brown., 2015c) و ارایه راهکارهای

- ۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۴- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۵- استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی و آمار، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۶- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
- (*) نویسنده مسؤول:
(Email: alizadeh@um.ac.ir)

7- Anthropogenic stress
8- Human activities

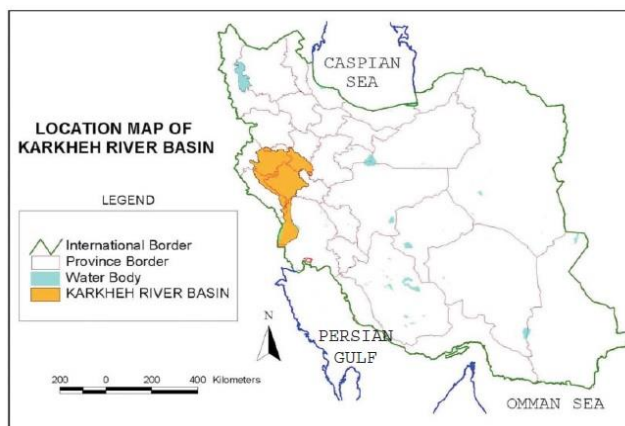
تغییرات در آب زیرزمینی می‌باشد. تاکنون در برخی مطالعات، چارچوب‌هایی (بر مبنای فعالیت‌های انسانی) در این زمینه ارائه شده است (Mays., 2013; Vogel et al., 2015). اما به طور معمول این چارچوب‌ها پیچیده بوده و نیازمند استفاده از پارامترهای متعدد هستند که این امر کاربرد عملی آن‌ها را محدود می‌کند. بنابراین لزوم استفاده از روش‌های جایگزین (به عنوان مثال چارچوبی ساده با تعداد پارامترهای کم و نیز قابل دسترس) که نه تنها برای شرایط موجود قابل استفاده بوده بلکه امکان بررسی سناریوهای مختلف تاثیر فعالیت‌های انسانی بر میزان موجودیت آب را نیز فراهم کند، احساس می‌شود. بنابراین مطالعه حاضر بدین منظور و با هدف دستیابی به درک بهتر تاثیر فعالیت‌های انسانی بر تنش آب تحمیل شده بر منابع آب زیرزمینی و محاسبه میزان اضافه برداشت آب در حوضه آبریز کرخه به عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های کشاورزی کشور انجام شده است. بدیهی است که نتایج این تحقیق قابلیت ارائه به مدیران و مسئولان حوزه منابع آب را دارا می‌باشد و می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر مدیریت جامع منابع آب شده و موجبات اجتناب از کاهش امنیت غذایی و حتی افزایش آن را فراهم کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز کرخه در غرب ایران است که بین عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه تا ۴۹ درجه شرقی قرار گرفته است. وسعت کل حوضه حدود ۵۰۷۰۰ کیلومتر مربع، طول آن حدود ۹۰۰ کیلومتر و نوع اقلیم حوضه به طور کلی خشک و نیمه‌خشک است. تغییرات ارتفاع در حوضه، قابل توجه بوده و از ۳۶۴۵ متر در شمال (کوهستان‌های گرین) تا ۳ متر در جنوب (دشت آزادگان) متغیر است. تغییرپذیری به نسبت زیاد متوسط سالانه بارش در بخش‌های شمالی و جنوبی حوضه از خصوصیات بارز این منطقه است (میانگین درازمدت سالانه بارش بخش‌های جنوبی حوضه، ۱۵۰ میلی‌متر بر سال و بخش‌های شمالی حوضه، حدود ۷۵۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است). این حوضه یکی از پربارترین مناطق کشاورزی کشور است، به طوری که ۱۰ درصد زمین‌های تحت آبیاری کشور در این حوضه قرار گرفته‌اند و بیش از ۹ درصد تولید گیاهان زراعی ایران در این منطقه انجام می‌شود (Keshavarz et al., 2012). موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کرخه در شکل ۱ نشان داده است.

دهه اخیر، نزدیک به یک سوم جمعیت جهان به دلیل افزایش تقاضای آب، تحت تنش آب قرار دارند که این تنش اساساً به دلیل استفاده ناپایدار از منابع آبی به دلیل افزایش جمعیت جهان و به تبع آن افزایش فعالیت‌های انسانی ایجاد شده است و کم‌تر ناشی از تغییرپذیری اقلیم (به عنوان مثال افزایش دما و کاهش بارش) می‌باشد (Vorosmarty., 2000; Vorosmarty et al., 2010; Oki and) ملل متحد، در قرن گذشته تقاضای آبی جهان به بیش از دو برابر نرخ رشد جمعیت افزایش یافته است (UN water., 2014). استفاده بیش از حد از منابع آب موجود، امنیت غذایی، دسترسی به آب آشامیدنی سالم، بهداشت و سلامت عمومی جامعه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Taylor., 2009) و هر یک از این اثرات در مطالعات متعدد در اقصی نقاط جهان در دهه‌های اخیر گزارش شده است (Wada et al., 2011; Vorosmarty et al., 2010; Rodell et al., 2009; Oki and Kanane., 2006; McDonald., 2010; Glesson and Wada., 2013; Famiglietti et al., 2011). علاوه بر این تغییرات پیش‌بینی شده در اقلیم از جمله افزایش دما و کاهش بارش به‌خصوص در مناطق خشک جهان و نیز ادامه روند رشد جمعیت و به تبع آن ساخت سدها و سازه‌های بیش‌تر منجر به فشار بیش‌تر بر منابع آب در دسترس می‌شود که از جمله تبعات آن می‌توان به استخراج بیش از حد منابع آب زیرزمینی اشاره کرد (Mirchi et al., 2014; Immerzeel and Bieknes., 2012). این امر موجب بحران جدی آب، در دهه‌های آتی خواهد شد و توسط محققین مختلف در نقاط مختلف جهان مورد تاکید قرار گرفته است (Taft., 2015; Sperna (et al., 2012; Kiguchi et al., 2015; Kahil et al., 2015). ارزیابی اثرات فعالیت‌های انسانی بر چرخه هیدرولوژی در مقیاس منطقه‌ای به منظور بهبود مدیریت منابع آب امری ضروری است (Xu et al., 2004; Leblanc et al., 2012; Guo and Shen., 2015). در بسیاری از مناطق جهان، آب زیرزمینی منبع اصلی آب است که متأسفانه طبق گزارشات مختلف با نرخ بی سابقه‌ای در حال تخلیه است (Asoka et al., 2017; Rodell et al., 2009). به منظور ارزیابی اثرات انسانی، مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و نیز آگاهی از وضعیت آینده آبخوان‌ها، شبیه‌سازی با استفاده از مدل‌هایی هم‌چون Modflow امری معمول بوده و تاکنون در مطالعات متعددی از جمله کتیبه و حافظی (۱۳۸۳)، جنوبی و همکاران (۱۳۹۲) و پورحقی و همکاران (۱۳۹۳) به آن پرداخته شده است. اما روش‌های پیش‌بینی بر مبنای مدل‌ها مسلماً با عدم قطعیت‌های فراوان همراه خواهد بود و استفاده از روش‌های دیگر مانند به کارگیری چارچوب‌هایی که بر مبنای کمی کردن مستقیم پارامترهای بیلان آب زیرزمینی استوار هستند، روش قابل توصیه دیگر جهت ارزیابی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کرخه در ایران

معادله بیلان آبخوان استوار است، طبق رابطه ۱ تعریف شده و مورد استفاده قرار گرفت.

$$R_T + H_{in} - ds/dt = D_T + H_{out} = NetFlux \quad (1)$$

در این معادله، R_T ورودی طبیعی کلی به آبخوان از آبخوان‌های مجاور، از جریان‌های سطحی و یا از طریق بارش (تغذیه طبیعی)، H_{in} جریان‌های ورودی به آبخوان از طریق فعالیت‌های انسانی (مجموع آب برگشتی ناشی از آبیاری و پساب)، ds/dt تغییر حجم ذخیره، D_T خروجی طبیعی کلی از آبخوان به آبخوان‌های مجاور، به جریان‌های سطحی و یا با تبخیر - تعرق (تخلیه طبیعی) و H_{out} جریان‌های خروجی از آبخوان از طریق فعالیت‌های انسانی (مجموع برداشت‌های آب از چاه و قنات) می‌باشند.

پس از محاسبه معادله بیلان آبخوان، جهت مشخص شدن وضعیت موجودیت آب در آبخوان‌ها و محاسبه شدت تنش انسانی در آن‌ها، دو شاخص که بر اساس نرمال کردن مقادیر جریان‌های ورودی و خروجی به/از آبخوان از طریق فعالیت‌های انسانی (H_{in} , H_{out}) نسبت به شار خالص (NetFlux) به دست می‌آیند، مورد استفاده قرار گرفت:

$$h_{in} = H_{in} / NetFlux \quad (2)$$

$$h_{out} = H_{out} / NetFlux \quad (3)$$

در این روابط h_{in} و h_{out} به ترتیب فعالیت‌های انسانی ورودی و خروجی نرمال شده می‌باشند و مقدار هریک از آن‌ها می‌تواند بین صفر تا یک متغیر باشد.

داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق، شامل پارامترهای ورودی به و خروجی از ۲۸ آبخوان اصلی مربوط به حوضه آبریز کرخه از گزارشات مربوط به همکاری مشترک مرکز تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی و مرکز بین المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) استخراج شد (Pprhemmat et al., 2012). پارامترهای ورودی به آبخوان (پارامترهای تغذیه) عبارتند از جریان‌های ورودی از آبخوان‌های مجاور^۱، جریان‌های ورودی از آب‌های سطحی^۲، بارش^۳، جریان‌های برگشتی از آبیاری^۴ و پساب^۵ و پارامترهای خروجی از آبخوان (پارامترهای تخلیه) شامل جریان‌های خروجی به آبخوان‌های مجاور^۶، جریان‌های خروجی به آب‌های سطحی^۷، تبخیر- تعرق^۸ و میزان برداشت آب از چشمه‌ها^۹، چاه‌ها^{۱۰} و قنات‌ها^{۱۱} می‌باشند. لازم به ذکر است که این داده‌ها مربوط به دوره ۱۳۸۰-۱۳۸۶ (تنها دوره‌ای که این پارامترها به صورت تفکیکی و جامع برای همه آبخوان‌ها وجود داشتند) می‌باشند.

ارایه چارچوب کمی کردن تنش انسان منشا

به منظور کمی کردن تعاملات مستقیم سامانه انسانی/ هیدرولوژیکی آبخوان‌های حوضه کرخه، چارچوبی ساده که بر پایه

- 1- Inflows from adjacent aquifers
- 2- Inflows from surface waters
- 3- Precipitation
- 4- Irrigation return flows
- 5- Waste water
- 6- Outflows to adjacent aquifers
- 7- Outflows to surface waters
- 8- Evapotranspiration
- 9- Springs
- 10- Wells
- 11- Qanats

- 12- Total natural Recharge
- 13- Human inflows
- 14- Water storage variation
- 15- Total natural Discharge
- 16- Human outflows



شکل ۲- شکل شماتیک چارچوب تعیین تنش انسانی

سناریوهای سازگاری

بعد از مشخص شدن میزان تنش ناشی از فعالیت‌های انسان بر موجودیت منابع آب زیرزمینی حوضه کرخه، دو سناریو به منظور بررسی امکان کاهش اثرات انسان بر سامانه هیدرولوژیکی طبق سناریوهای ۱ و ۲ تعریف شد.

سناریوی ۱: کاهش ۱۰ تا ۵۰ درصد (نسبت به مقدار اولیه) برداشت‌های انسانی از آبخوان (H_{out})

سناریوی ۲: کاهش توانان ۱۰ تا ۵۰ درصد (نسبت به مقدار اولیه) برداشت‌های انسانی (H_{out}) و برگشت آب به آبخوان (H_{in})

نتایج و بحث

مقادیر متوسط سالانه (۱۳۸۶-۱۳۸۰) هر یک از پارامترهای بیان آب آبخوان‌های حوضه کرخه در جدول ۱ و رژیم سالانه آبخوان‌ها در شکل ۳، نشان داده شده است. چنانچه در جدول ۱ نشان داده شده است، بیش‌ترین مقدار خروجی آب ناشی از فعالیت‌های انسانی (H_{out}) مربوط به اسدآباد (تقریباً ۴۴۶ میلی‌متر بر سال) بوده است که حدود ۳/۸۸ بار بزرگ‌تر از جریان‌های برگشتی ورودی به این آبخوان (H_{in}) است. این مقدار، تقریباً ۹۶/۸۵ درصد از شار خالص آب (Net Flux) از این آبخوان را پوشش می‌دهد. همچنین کم‌ترین میزان برداشت انسانی (۱/۲۳ میلی‌متر بر سال) مربوط به آبخوان کاسماهور بوده است که این میزان تقریباً ۰/۲ مقدار ورودی آب ناشی از فعالیت‌های انسانی (H_{in}) به این آبخوان است. در واقع مقدار برداشت انسانی این آبخوان تنها حدود ۱/۹۵ درصد از شار خالص آبخوان را شامل می‌شود. با توجه به موارد گفته شده برای دو

در نهایت بر اساس مقادیر محاسبه شده توسط این دو شاخص نرمال شده، چهار رژیم مختلف مصرف آب شامل رژیم مصرف زیادی آب (S)، رژیم کمبود آب (D)، رژیم حاکم بر فعالیت‌های انسان (Hf) و رژیم حاکم بر طبیعت (Nf) در نظر گرفته شده و چارچوب تعیین تنش انسانی آبخوان‌ها به دست آمد (Vogel et al., 2015). به عنوان مثال مشخصه رژیم کمبود آب $0 \leq h_{in} < 0.5$ و $0.5 \leq h_{out} < 1$ می‌باشد. به همین ترتیب برای سایر رژیم‌ها قابل بیان است. چارچوب تعریف شده جهت بررسی شدت تنش انسانی بر اساس تعریف چهار رژیم در نظر گرفته شده و نیز مقادیر نرمال‌های فعالیت‌های انسانی در شکل ۲ ارائه شده است.

محاسبه میزان اضافه برداشت آب آبخوان‌ها

به منظور درک بهتر وضعیت عدم تعادل بین تقاضا و پتانسیل تامین آب در آبخوان‌ها، میزان اضافه برداشت^۵ آب آبخوان‌ها از رابطه ۴ بدست آمد.

$$Od = H_{out} / R_T \quad (4)$$

در این رابطه، Od اضافه برداشت آب از آبخوان بوده و H_{out} و R_T چنانچه در رابطه های ۲ و ۳ معرفی شدند، برداشت آب توسط انسان و ورودی کلی طبیعی به آبخوان می‌باشند.

- 1- Surcharged regime
- 2- Depleted regime
- 3- Human-flow dominated regime
- 4- Natural-flow dominated regime
- 5- Overdraft ratio

۳) در چارچوب تعیین شده برای تنش انسان منشأ (شکل ۲) کاملاً واضح و قابل انتظار است.

آبخوان اسدآباد و کاسماهور (به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برداشت انسانی) قرار گرفتن این دو به ترتیب در گوشه نزدیک به ۱ منطقه دارای رژیم کمبود آب (شماره ۱ در شکل ۳) و گوشه نزدیک به صفر رژیم با حاکمیت شرایط طبیعی (شماره ۲۵ در شکل

جدول ۱- مقادیر سالانه پارامترهای بیلان آب آبخوان‌های حوضه آبریز کرخه

منطقه مورد مطالعه	شماره خالص	تغییر حجم ذخیره	جمع خروجی	خروجی انسان منشأ	خروجی کلی طبیعی	جمع ورودی خالص	ورودی انسان منشأ	ورودی کلی طبیعی	مساحت
میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	میلیمتر بر سال	کیلومتر مربع
اسدآباد	460/58	-73/65	460/58	446/06	14/52	386/93	114/94	271/99	482
کنگاور	186/54	0/93	186/54	166/73	19/81	187/48	54/21	133/27	535
سونقور	149/02	0	149/02	78/15	70/87	149/02	44/54	104/48	357
دیناور	234/93	48/03	234/93	124/89	110/04	282/97	100/44	182/53	229
صحنه	189/02	0	189/02	131/55	57/47	189/02	58/69	130/34	656
هرسین	239/44	-1/41	239/44	71/83	167/61	238/03	97/18	140/85	71
روانسر	104/72	0	104/72	69/24	35/48	104/72	15/86	88/86	1463
کرمانشاه	208/33	-15/24	208/33	175/30	33/03	193/09	40/35	152/74	984
کرند	112/36	0	112/36	17/98	94/38	112/36	23/60	88/76	89
اسلام آباد	93/95	17/79	93/95	53/20	40/75	111/74	30/43	81/32	562
نورآباد	104/31	0	104/31	71/55	32/76	104/31	10/34	93/97	116
قلعه شیان	122/61	8/70	122/61	86/96	35/65	131/30	47/83	83/48	115
هرسوم	57/35	0	57/35	8/96	48/39	57/35	9/32	48/03	279
آسمان آباد	104/00	-2	104/00	54/00	50/00	102/00	8/00	94/00	50
چرداول	241/30	0	241/30	74/64	166/67	241/30	63/04	178/26	138
دلفان	149/12	0	149/12	29/07	120/04	149/12	52/20	96/92	454
تالان	43/79	0	43/79	2/61	41/18	43/79	9/80	33/99	153
هولیلان	92/51	2/14	92/51	6/00	86/51	94/65	11/13	83/51	467
طرحان	61/11	0	61/11	11/11	50/00	61/11	7/87	53/24	216
دره شهر	200/00	0/41	200/00	33/74	166/26	200/41	50/21	150/21	243
چغالوندی	128/84	0	128/84	15/37	113/48	128/84	48/46	80/38	423
الشر	127/40	0	127/40	22/90	104/50	127/40	56/56	70/84	511
خرم آباد	149/81	-1/91	149/81	63/93	85/88	147/90	57/44	90/46	524
کوهدشت	72/34	0	72/34	49/58	22/77	72/34	30/35	41/9	593
کاسماهور	62/96	0	62/96	1/23	61/73	62/96	6/17	56/79	81
پلدختر	270/80	0	270/80	66/37	204/42	270/80	64/60	206/19	113
دشت عباس	249/70	-16/83	249/70	233/47	16/23	232/87	49/90	182/97	499
دوسالوق	163/78	0	163/78	154/12	9/66	163/78	25/75	138/03	497

اساس این شکل، اغلب آبخوان‌های حوضه کرخه با اضافه برداشت آب زیرزمینی در دوره مورد مطالعه رو به رو بوده‌اند. در واقع در این حوضه عدم تعادل بین مصرف و پتانسیل تامین آب (با توجه به نسبت بالای برداشت انسانی نسبت به آبدهی طبیعی) مشهود است. با عنایت

شکل ۳ همچنین نشان می‌دهد که نیمی از آبخوان‌های حوضه کرخه در منطقه با رژیم کمبود آب و مابقی در منطقه با حاکمیت شرایط طبیعی قرار گرفته‌اند. این واقعیت به گونه‌ای دیگر در شکل ۴ نشان داده شده است. به طوری که چنانچه مشاهده می‌شود، بر

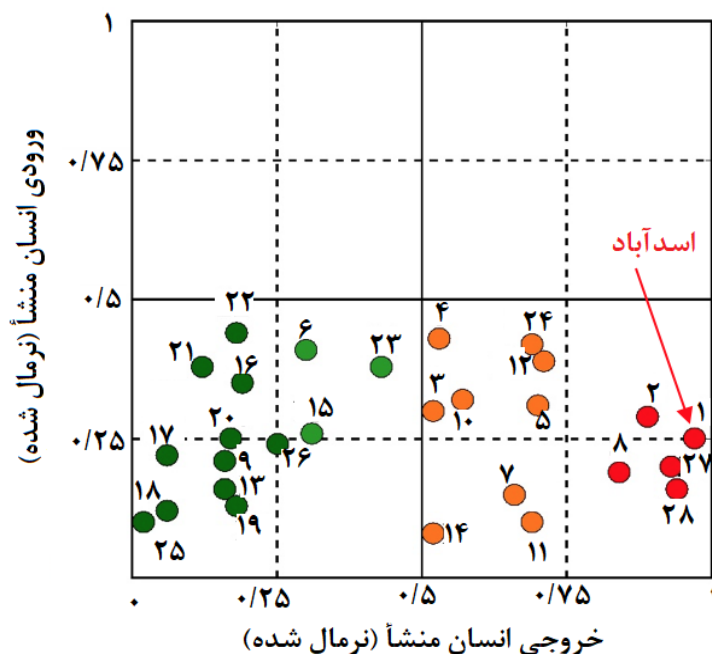
غیره برای آبیاری مزارع و در نتیجه زیادتیر بودن آب برگشتی آبیاری این آبخوان باشد.

به طور کلی با توجه به اینکه حوضه آبریز کرخه بخش زیادی از پنج استان کشور شامل همدان، کرمانشاه، لرستان، ایلام و خوزستان را دربر گرفته و منبع تامین آب برای بیش از ۴ میلیون نفر جمعیت است (Keshavarz et al., 2012) مسئله تنش آب در آن بسیار حیاتی بوده و در صورت چشم‌پوشی منجر به خسارات گسترده اقتصادی و اجتماعی خواهد شد. بنابراین به کارگیری سناریوهای سازگاری برای کاهش اثرات فعالیت‌های انسانی در این منطقه بحرانی، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در شکل ۵ نتیجه اجرای دو سناریوی سازگاری در نظر گرفته شده در این منطقه را برای دو نمونه از آبخوان‌های قرار گرفته در منطقه با رژیم کمبود آب (کرمانشاه و اسلام‌آباد) نشان داده شده است.

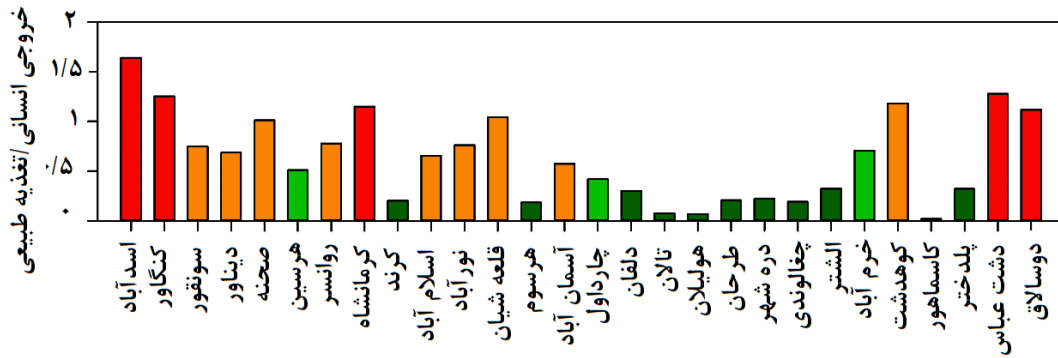
چنانچه در شکل ۵ نشان داده شده است، به کارگیری سناریوهای سازگاری برای کاهش اثرات انسانی در برخی از آبخوان‌ها بسیار مفید خواهد بود در حالی که در برخی دیگر خروج از منطقه کمبود آب به منطقه طبیعی بسیار بعید بوده است. به عنوان مثال اسلام‌آباد تنها با ۲۰ درصد کاهش اثرات فعالیت‌های انسانی بر اساس هر دو سناریو از منطقه با رژیم کاهشی آب به منطقه با رژیم طبیعی منتقل خواهد شد.

به این که رنگ‌های ستون‌ها در شکل ۴ هماهنگ با رنگ نقاط در شکل ۳ در نظر گرفته شده‌اند، توجه به این نکته ضروری است که اضافه برداشت آب حتی در آبخوان‌هایی که در منطقه با رژیم مصرف آب طبیعی قرار داشته‌اند نیز قابل رویت است و حتی در برخی موارد مقدار آن از آبخوان‌هایی که در منطقه با کمبود آب قرار داشته‌اند، نیز بیشتر است. به عنوان مثال می‌توان به میزان بیش‌تر اضافه برداشت آبخوان خرم‌آباد (شماره ۲۳- قرار گرفته در منطقه با رژیم مصرف آب طبیعی در شکل ۳) نسبت به میزان این شاخص در آسمان‌آباد (شماره ۱۴- قرار گرفته در منطقه با رژیم کمبود آب در شکل ۳) اشاره کرد. البته در مقایسه این دو آبخوان، نکته قابل ذکر، ورودی بیش‌تر آب به آبخوان خرم‌آباد از طریق فعالیت‌های انسانی (H_{in}) نسبت به آبخوان آسمان‌آباد است. به عبارت دیگر در آبخوان خرم‌آباد در مقابل $63/93$ میلی‌متر بر سال برداشت انسانی (H_{out})، $57/44$ میلی‌متر بر سال آب در اثر فعالیت‌های انسان (پساب و آب برگشتی آبیاری) به آبخوان وارد شده است (H_{in}) در حالی که در آبخوان آسمان‌آباد این مقدار ۸ میلی‌متر بر سال (H_{in}) در مقابل 54 میلی‌متر (H_{out})، بر سال بوده است (جدول ۱) و این موضوع باعث قرار گرفتن دو آبخوان مذکور به ترتیب در منطقه با رژیم مصرف آب طبیعی و رژیم کمبود آب شده است.

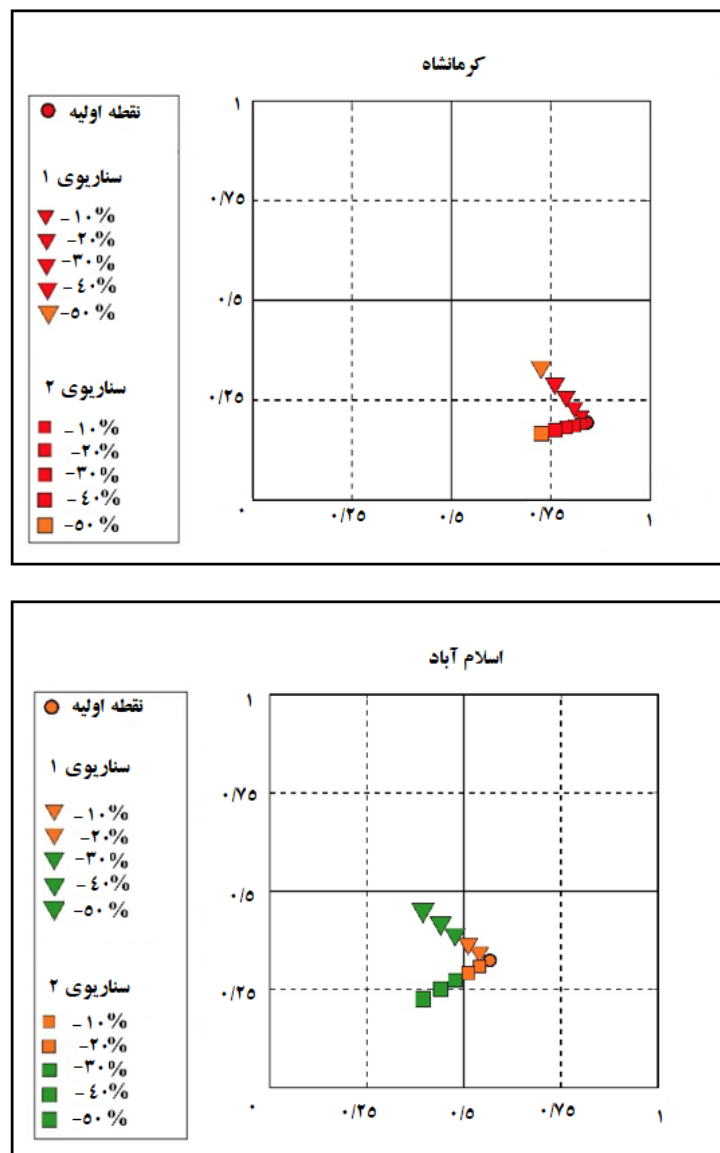
به نظر می‌رسد وسعت زیاد منطقه خرم‌آباد (524 کیلومترمربع) در مقابل آسمان‌آباد (50 کیلومترمربع) (جدول ۱) و وجود اراضی کشاورزی گسترده‌تر در آن، موجب برداشت بیش‌تر آب از چاه‌ها و



شکل ۳- رژیم سالانه مصرف آب آبخوان‌های حوضه آبریز کرخه



شکل ۴- میزان اضافه برداشت آب زیرزمینی از آبخوان‌های حوضه کرخه



شکل ۵- جابجایی رژیم سالانه مصرف آب زیرزمینی آبخوان‌های حوضه آبریز کرخه بر اساس دو سناریوی سازگاری برای دو منطقه دارای رژیم کمبود آب

این در حالی است که آبخوان کرمانشاه حتی با وجود ۵۰ درصد کاهش میزان جریان‌های ورودی و خروجی ناشی از فعالیت‌های انسانی (که امری بسیار فرضی و دور از ذهن است) نیز از منطقه با رژیم کاهشی آب خارج نخواهد شد. توجه به این نکته ضروری است که به عنوان مثال کاهش ۲۰ یا ۴۰ درصدی میزان برداشت انسانی^۱ یا Hout، موضوعی بسیار چالش برانگیز بوده و با توجه به موانع عمده اجتماعی، اقتصادی و حتی سیاسی، در عمل به راحتی قابل انجام نیست. اما در نظر گرفتن این اعداد جهت نشان دادن اوج بحران و در واقع میزان فشار وارد شده از سوی فعالیت‌های انسان بر طبیعت، بسیار مفید خواهد بود. مثال‌های ذکر شده در شکل ۵، نشان می‌دهند که چارچوب ارائه شده در این مطالعه چگونه می‌تواند جهت بررسی تاثیر تغییرات در فعالیت‌های انسانی که وضعیت کلی آبخوان را تعیین می‌کنند، مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

افزایش روز افزون جمعیت همراه با سایر عوامل وابسته به آن شامل رشد اقتصادی - اجتماعی و تغییر کاربری اراضی منجر به افزایش تقاضای آب شده و کمبود شدید آب در بسیاری از مناطق جهان را به دنبال خواهد داشت (Wada and Baierknes., 2014; Arnell., 2004; Steinhneider et al., 2015b). در ایران نیز رشد چشم‌گیر جمعیت در چند دهه اخیر و به تبع آن مصرف بی‌رویه و کنترل نشده منابع آب سطحی و زیرزمینی، الگوی کشت نامناسب و عدم آبیاری صحیح، حفر چاه‌های متعدد و استفاده بی‌برنامه و کنترل نشده آن‌ها منجر به عدم تعادل بین تقاضا و پتانسیل تامین آب شده و بحران شدید آب در بسیاری از دشت‌های کشور شده است (Madows et al., 2007; Keshavarz et al., 2012; Madani., 2014). امروزه استفاده بیشتر از منابع آب زیرزمینی به‌منظور جبران منابع آب سطحی کاهش یافته، امری معمول در اکثر نقاط جهان است (Alley et al., 1999). کمبود منابع آب سطحی و فشار بیش از حد بر ذخایر ثابت آب زیرزمینی در بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین لایه مصرف آب، با نادیده گرفتن الگوهای صحیح کشت و روش‌های مدرن آبیاری از یک سو و عدم پایش و مدیریت صحیح منابع به-خصوص در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، شرایط بحرانی موجود را حادتر خواهد کرد. بنابراین ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی^۲ در مقیاس منطقه‌ای امری کاملاً ضروری بوده و نیازمند توجه ویژه در حوزه مدیریت منابع آب است. مطالعه حاضر در این راستا و با هدف ارائه چارچوبی ساده به منظور تعیین نقش انسان بر

موجودیت منابع آب زیرزمینی و پایش وضعیت دقیق آبخوان‌ها بر اساس محاسبه میزان اضافه برداشت آب آن‌ها، انجام شده است. یافته‌های این تحقیق، همسو با نتایج سایر محققین در اقصی نقاط جهان (Wada and Baierknes., 2014; Vorosmarty., 2010; MacDonaldm., 2010, Famiglietti et al., 2011) نشان‌دهنده تهدید جدی پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه بزرگ کرخه بوده است. به عبارت دیگر مقادیر مصرفی منابع آب تجدیدپذیر طبیعی در مقابل مقادیر تامین شده، در بخش زیادی از آبخوان‌ها در دوره مورد مطالعه (۱۳۸۶-۱۳۸۰) بسیار تجاوز داشته است که این امر منجر به تخلیه مداوم آب زیرزمینی و در واقع روند رو به کاهش سطح آب در بسیاری از آبخوان‌های این حوضه شده است. از اثرات سو، اضافه برداشت آب آبخوان‌ها و کاهش سطح تراز آن‌ها می‌توان به افزایش هزینه‌های استحصال آب، افزایش مصرف انرژی، کاهش کیفیت آب و ظهور پدیده فرونشست زمین^۳ اشاره کرد (Leblanc et al., 2012; Mirchi et al., 2014). هریک از این عوامل می‌تواند پیامدهای ثانویه منفی بر پیکره جامعه وارد کند. به عنوان مثال با افزایش هزینه‌های استحصال آب، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی کاهش یافته و در مقابل، قیمت‌ها افزایش خواهد یافت. افزایش قیمت باعث بی‌ثباتی اقتصادی در جامعه شده و زمینه‌ساز بحران‌های اجتماعی خواهد شد. در زمینه خسارت‌های اجتماعی می‌توان به پدیده مهاجرت اجباری کشاورزان در سال‌های اخیر که به دلیل عدم دسترسی به منابع آبی لازم جهت آبیاری اراضی کشاورزی (ناشی از استفاده بیش از حد انسان از منابع آب سطحی و زیرزمینی) رخ داده است، اشاره کرد (Madani and Marino., 2009). همچنین تخلیه و اضافه برداشت آب زیرزمینی از طریق افزایش فشار بر منابع رو به کاهش، می‌تواند منجر به تغییرات اساسی در شیوه‌های مدیریت منابع آب در سال‌های آتی شود (Meadows et al., 2007). علی‌رغم وجود تعابیر مختلف از پایداری منابع آب زیرزمینی در مباحث مربوط به مدیریت منابع آب، اساساً موضوع "پایداری منابع آب زیرزمینی" به نگهداری، توسعه و استفاده صحیح از منابع آب بدون محدودیت زمانی، به شیوه‌ای کارآمد و بدون پیامدهای مخرب اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی اشاره دارد (Alley et al., 1999). از این رو مدیریت منابع آب زیرزمینی پایدار، نیازمند راه‌حل‌های جامع با هدف برقراری تعادل بین عرضه (آبدهی طبیعی یا مصنوعی)^۴ و تقاضای (برداشت و مصرف انسانی)^۵ آب می‌باشد (Madani., 2014). راه‌حل‌های مدیریت پایدار منابع آب آتی باید به منظور به حداکثر رساندن سلامت محیط زیست آبخوان بدون اثرات منفی بر سلامت

3- Land Subsidence

4-Natural or Artificial Recharge

5-Human water withdrawal/use

1- Human water withdrawals

2- Groundwater sustainability

- socio-economic and climatic changes. *Hydrology Science Journal*. 52: 247-275.
- Alley, W.M., Reilly, T.E., Franke, O.L. 1999. Sustainability of ground-water resources. U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey; U.S. G.P.O.; U.S. Geological Survey, Branch of Information Services [distributor, Denver, CO; [Washington, D.C.]; Denver, CO.
- Arnell, N.W. 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*. 14: 31-52.
- Asoka, A., Gleeson, T., Wada, Y., Mishra, V. 2017. Relative contribution of monsoon precipitation and pumping to changes in groundwater storage in India. *Nature Geoscience* 3: 16-30.
- DeNicola, E., Aburizaiza, O.S., Siddique, A., Khwaja, H., Carpenter, D.O. 2015. Climate Change and Water Scarcity: The Case of Saudi Arabia. *Annual Global Health*. 81: 342-353.
- Famiglietti, J.S., Lo, M., Ho, S.L., Bethune, J., Anderson, K.J., Syed, T.H., Swenson, S.C., de Linage, C.R., Rodell, M. 2011. Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley: central valley groundwater depletion. *Geophysical Research Letter*. 38: 21-29.
- Gain, A.K., Giupponi, C. 2015. A dynamic assessment of water scarcity risk in the Lower Brahmaputra River Basin: An integrated approach. *Ecological Indicator*. 48: 120-131.
- Gleeson, T., Wada, Y. 2013. Assessing regional groundwater stress for nations using multiple data sources with the groundwater footprint. *Environmental Research Letter*. 8: 44010-44020.
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M.F.P., van Beek, L.P.H. 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature* 488: 197-200.
- Gohari, A., Bozorgi, A., Madani, K., Elledge, J., Berndtsson, R. 2014. Adaptation of surface water supply to climate change in central Iran. *Journal of Water Climate Change* 5: 391-400.
- Guo, Y., Shen, Y. 2015. Quantifying water and energy budgets and the impacts of climatic and human factors in the Haihe River Basin, China: 2. Trends and implications to water resources. *Journal of Hydrology*. 527: 251-261.
- Hagemann, S., Chen, C., Clark, D.B., Folwell, S., Gosling, S.N., Haddeland, I., Hanasaki, N., Heinke, J., Karunan, A., Glesson et al., 2012). مدیریت کارآمد بر پایه درک صحیح از تنش آب انسانی در هر منطقه و تعیین میزان موجودیت منابع آب استوار بوده و ارایه سیاست‌های کاربردی مناسب جهت برابری عرضه و تقاضا (همچون جیره‌بندی و قیمت‌گذاری آب و یا بازیافت، انتقال و نیز شیرین کردن آب) و نیز ارایه راهکارهای سازگاری مفید جهت به حداقل رساندن خسارت تنش انسانی امری لازم بوده و می‌تواند نقشی مهم در بهبود و یا رهایی از شرایط بحرانی فعلی ایفا کند (Gohari et al., 2014; Lund and Palmer., 1996). علاوه بر این برنامه‌ریزی دقیق جهت پایش مداوم و اطلاع رسانی و آگاهی عمومی از وضعیت تخلیه آب‌های زیرزمینی در مناطق آسیب‌پذیر، کمک شایانی در کنترل این شرایط خواهد کرد (De Nicola et al., 2015) که البته این کار بسیار پیچیده بوده و به راحتی قابل انجام نیست چراکه داده‌های در دسترس آب زیرزمینی به-خصوص داده‌های برداشت و مصرف آب در بسیاری از نقاط جهان به ویژه کشورهای در حال توسعه از جمله ایران محدود می‌باشند (چنانچه در مطالعه حاضر نیز دیده شد). در نهایت، طراحی و اجرای برنامه‌های نظارتی مؤثر از سوی نهادهای حکومتی و دولتی جهت جلوگیری از کاهش بیش‌تر سطح تراز سفره‌های آب زیرزمینی و اطمینان از پایداری آبخوان‌ها، امری کاملاً ضروری بوده (Kahil et al., 2015; Madani and Marino., 2009) و خلاء موجود در این زمینه در حال حاضر به شدت محسوس است.
- منابع**
- پورحقی، ا.، آخوندعلی، ع.، رادمنش، ف. و میرزایی، ی. ۱۳۹۳. مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی با مدل MODFLOW. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۷: ۲: ۷۱-۸۲.
- جنوبی، ر.، رضایی، ح. و بهمنش، ج. ۱۳۹۲. مدیریت سطح آب زیرزمینی از طریق تلفیق آب سطحی و زیر سطحی با استفاده از مدل MODFLOW. مدیریت آب و آبیاری. ۴: ۳: ۴۹-۶۸.
- کتیبه، ه. و حافظی، س. ۱۳۸۳. به‌کارگیری مدل MODFLOW در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم. آب و فاضلاب. ۱۵: ۲: ۴۵-۵۸.
- AghaKouchak, A., Feldman, D., Hoerling, M., Huxman, T., Lund, J. 2015. Water and climate: Recognize anthropogenic drought. *Nature* 524, 409-411.
- Alcamo, J., Flörke, M., Märker, M., 2007. Future long-term changes in global water resources driven by

- Rome's project on the predicament of mankind. Universe Books, New York.
- Mirchi,A., Madani,K., Roos,M., Watkins,D.W. 2014. Climate Change Impacts on California's Water Resources, in: Schwabe,K., Albiac,J., Connor,J.D., Hassan,R.M., Meza González,L. (Eds.), Drought in Arid and Semi-Arid Regions. Springer Netherlands, Dordrecht. 301-319.
- Oki,T., Kanae,S. 2006. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science* 313: 1068-1072.
- Piao,S., Ciais,P., Huang,Y., Shen,Z., Peng,S., Li,J., Zhou,L., Liu,H., Ma,Y., Ding,Y., Friedlingstein,P., Liu,C., Tan,K., Yu,Y., Zhang,T., Fang,J. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature* 467: 43-51.
- Porhemmat,J., Siadat,H and Oweis,T. (Eds). 2012. Water Resources of the Karkheh River Basin: Hydrology, Runoff, and Water Balance. CPWF Karkheh River Basin Research Report 11. ICARDA, Aleppo, Syria., 150.
- Rodell,M., Velicogna,I., Famiglietti,J.S. 2009. Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature* 460:999-1002.
- Schewe,J., Heinke,J., Gerten,D., Haddeland,I., Arnell,N.W., Clark,D.B., Dankers,R., Eisner,S., Fekete,B.M., Colón-González,F.J., Gosling,S.N., Kim,H., Liu,X., Masaki,Y., Portmann,F.T., Satoh,Y., Stacke,T., Tang,Q., Wada,Y., Wisser,D., Albrecht,T., Frieler,K., Piontek,F., Warszawski,L., Kabat,P. 2014. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceeding National Academy*. 111: 3245-3250.
- Sophocleous,M. 2004. Global and Regional Water Availability and Demand: Prospects for the Future. *National Resources Research*. 13: 61-75.
- Sperna Weiland,F.C., van Beek,L.P.H., Kwadijk,J.C.J., Bierkens,M.F.P. 2012. Global patterns of change in discharge regimes for 2100. *Hydrology Earth System Science*. 16: 1047-1062.
- Steinschneider,S., McCrary,R., Mearns,L.O., Brown,C. 2015a. The effects of climate model similarity on probabilistic climate projections and the implications for local, risk-based adaptation planning:international correlation and risk. *Geophysical Research Letter*. 42: 5014-5044.
- Steinschneider,S., McCrary,R., Wi,S., Mulligan,K., Mearns,L.O., Brown,C. 2015b. Expanded Decision-Scaling Framework to Select Robust Long-Term
- Ludwig,F., Voss,F., Wiltshire,A.J. 2013. Climate change impact on available water resources obtained using multiple global climate and hydrology models. *Earth System Dynamic*. 4: 129-144.
- Immerzeel,W.W., Bierkens,M.F.P. 2012. Asia's water balance. *Nature Geoscience*. 5: 841-842.
- Kahil,M.T., Dinar,A., Albiac,J. 2015. Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. *Journal of Hydrology*. 522: 95-109.
- Keshavarz,A., Dehghanisanij,H., Asadi,H., Oweis,T and Abdelwahab,A.M. 2012. Policies, Institutions and Economies of Water Resources and Management in the Karkheh River Basin of Iran. CPWF Karkheh River Basin Research Report 10. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Kiguchi,M., Shen,Y., Kanae,S., Oki,T. 2015. Re-evaluation of future water stress due to socio-economic and climate factors under a warming climate. *Hydrology Science Journal*. 60: 14-29.
- Leblanc,M., Tweed,S., Van Dijk,A., Timbal,B. 2012. A review of historic and future hydrological changes in the Murray-Darling Basin. *Global Planet Change*. 80.81: 226-246.
- Lund,J.R., Palmer,R.N. 1996. Water Resource System Modeling for Conflict Resolution. *Update* 108: 70-82.
- MacDonald,G.M. 2010. Water, climate change, and sustainability in the southwest. *Processing National Academy* 107: 21256-21262.
- Madani,K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Environmental Study Science*. 4: 315-328.
- Madani,K., Mariño,M.A. 2009. System Dynamics Analysis for Managing Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Water Resources Management*. 23: 2163-2187.
- Mao,D., Cherkauer,K.A. 2009. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. *Journal of Hydrology*. 374: 71-82.
- Mays,L.W. 2013. Groundwater Resources Sustainability: Past, Present, and Future. *Water Resources Management*. 27: 4409-4424.
- Meadows,D.H., Meadows,D.L., Randers,J., Behrens,W. 2007. The Limits to growth; a report for the Club of

- Davies, P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 468: 334-334.
- Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., Lammers, R. 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*. 289: 284-288.
- Wada, Y., Bierkens, M.F.P. 2014. Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections. *Environmental Research Letter* 9: 104-116.
- Wada, Y., van Beek, L.P.H., Viviroli, D., Dürr, H.H., Weingartner, R., Bierkens, M.F.P. 2011. Global monthly water stress: 2. Water demand and severity of water stress: global monthly water stress 2. *Water resources Research*. 47: 12-21.
- Wu, P., Christidis, N., Stott, P. 2013. Anthropogenic impact on Earth's hydrological cycle. *Nature Climate Change* 3: 807-810.
- Xu, Z.X., Chen, Y.N., Li, J.Y. 2004. Impact of Climate Change on Water Resources in the Tarim River Basin. *Water Resources Management*. 18: 439-458.
- Water-System Plans under Hydroclimatic Uncertainties. *J. Water resources Management*. 141: 401-502.
- Steinschneider, S., Wi, S., Brown, C. 2015c. The integrated effects of climate and hydrologic uncertainty on future flood risk assessments: flood risk under hydrologic and climate uncertainty. *Hydrology Process*. 29: 2823-2839.
- Taft, H.L. 2015. *Water Scarcity*, in: *Food, Energy and Water*. Elsevier. 395-429.
- Taylor, R., 2009. *Rethinking Water Scarcity: The Role of Storage*. *Geophysical Union* 90: 237-245.
- UN Water. 2014. *Securing sustainable water for all. A Post-2015 Global Goal for Water: Synthesis of key findings and recommendations from UN-Water. Final approved by SPM meeting 27 January 2014.*
- Vogel, R.M., Lall, U.X., Cai, Rajagopalan, B., Weiskel, P.K., Hooper, R.P and Matalas, N.C. 2015. *Hydrology: The interdisciplinary science of water: hydrology: the interdisciplinary science of water*. *Water resources Research* 51.6: 4409-4430.
- Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liermann, C.R.,

Quantifying Stress of Human Activities on Availability of Groundwater Resources of Karkheh River Basin

B. Ashraf¹, A. Alizadeh^{2*}, M. Mousavi-Baygi³, M. Bannayan⁴, M. JabbariNoghabi⁵, H. Dehghanisanij⁶

Received: May.10, 2017

Accepted: Jun.17, 2017

Abstract

In recent decades, dramatic global population growth along with other related factors such as economic and industrial development, land use/cover change has contributed to an overall effects on water security and environmental problems around the world. To sustainable water management, quantifying the impacts of human activities on local hydrological cycle and water yield is essential in order to control balance between water demand and supply and increasing water security. This paper aims to offer a better characterization of human activities on groundwater stress and sustainability. Herein, we presented an approach for evaluation of water budget to facilitate understanding of the entire flow system of the aquifer in order to inform sustainable water resources management. We used a simple approach for quantifying direct human-hydrologic interactions by analyzing the aquifers' water budget including human withdrawals (H_{out}) and return flows (H_{in}) according to water-balance equation and then normalized them relative to the net flux (Net Flux). Based on the normalized values of human inflow and outflow, the water-use regimes can be classified as surcharged (S), depleted (D), natural-flow dominated (Nf), and human-flow dominated (Hf). In addition we determine groundwater overdraft as a ratio between human withdrawals (H_{out}) and Recharge (R_T) in order to evaluate the flow condition relative to the human water use. Finally we considered two adaptation scenarios to investigate probability of shift of aquifers that are located to depleted regime area to natural-flow dominated area. The results show that half of the studied aquifers in the Karkheh River Basin are of natural-flow dominated type while the rest are depleted. The Asadabad aquifer shows the highest amount (471 mm/yr) of human withdrawals (H_{out}) in this basin; actually highest overdraft relative to natural recharge to aquifer. Based on investigation of adaption scenarios, we explored that considering adaptation scenarios and decreasing human activities between 10 to 30 percent can be very useful for some aquifers in this basin.

Keywords: Aquifer, Return flow, Anthropogenic stress, water overdraft, Food security

1- Ph.D student of Agrometeorology, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

5- Assistant Professor, Department of Statistic, Faculty of Mathematics and Statistics Science, Ferdowsi University of Mashhad

6- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Alborz, Iran

(*_Corresponding Author Email: alizadeh@um.ac.ir)