



مدیریت ریسک ابرخشکسالی

هاشم درخشان^{۱*}، آمنه میان آبادی^۲، کامران داوری^۳

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی پسا دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تغییر اقلیم و در نتیجه افزایش احتمال شدت و فراوانی خشکسالی‌ها، بر نگرانی برای پیشگیری و مدیریت خسارات پدیده ابرخشکسالی افزوده است. امنیت تأمین آب و ایجاد تاب‌آوری لازم برای مدیریت ریسک این پدیده از ضروریات توسعه پایدار محسوب می‌گردد. شرایط ایران به دلیل تغییر اقلیم، توسعه ناپایدار و اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی نسبت به وقوع یک ابرخشکسالی بسیار شکننده است. با توجه به این شرایط، رویکرد جدیدی برای مدیریت ریسک ابرخشکسالی (خشکسالی چند دهه‌ای) به منظور افزایش تاب‌آوری توسعه در برابر این بلای طبیعی مورد توسعه قرار گرفته است. این رویکرد مبتنی بر برآورد آسیب‌پذیری توسعه در برابر ابرخشکسالی می‌باشد که در قالب سه شاخصه اصلی شامل: میزان وابستگی به منابع آب زیرزمینی، تمرکز جمعیت و ارزش‌های اجتماعی - اقتصادی بسط داده شده است. رویکرد پیشنهادی به عنوان مبنایی معقول برای برآورد ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی پیشنهاد شده است تا حجمی از آب زیرزمینی (ذخیره استراتژیک) به عنوان منبعی قابل اطمینان برای تأمین مصارف (مخصوصاً آب شرب) در صورت وقوع ابرخشکسالی برآورد گردیده، و مورد حفاظت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ابرخشکسالی، توسعه پایدار، مدیریت ریسک، ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی

۱- مقدمه

تغییر اقلیم و در نتیجه افزایش احتمال شدت و فراوانی خشکسالی‌ها، بر نگرانی برای پیشگیری و مدیریت خسارات پدیده ابرخشکسالی افزوده است (IPCC, 2013). از سال ۱۹۹۰ تاکنون بیش از ۲ میلیارد نفر تحت تاثیر واقعه خشکسالی قرار گرفته‌اند که بیش از ۱۱ میلیون نفر در اثر این بلای طبیعی جان باخته‌اند. از این رو در سالهای اخیر احتمال افزایش فراوانی و شدت خشکسالی در اثر تغییر اقلیم (وقوع ابرخشکسالی) به نگرانی جدیدی در سراسر دنیا تبدیل شده است (FAO, 2013). بنابراین بررسی خصوصیات ابرخشکسالی، پایش و پیش‌بینی آن می‌تواند در فرآیند مدیریت منابع آب و کاهش آسیب‌پذیری نسبت به این بلای طبیعی نقش مهمی را ایفا نماید.

افزایش جمعیت به همراه تغییر سطح استاندارد زندگی بشر، چالش‌های زیادی را برای دستیابی به آب با کیفیت در سرتاسر جهان به وجود آورده است (Gleick et al, 2010). ایران نیز از جمله کشورهایی است که در چند دهه اخیر، با مسئله رشد جمعیت و

¹. Hashem.derakhshan@mail.um.ac.ir



توسعه بی‌رویه روبه‌رو بوده است. مدت‌ها است که این توسعه افسار گسیخته زنگ خطر نابودی ذخایر آبی را در اکثر حوضه‌های آبریز کشور، به‌ویژه فلات مرکزی ایران به صدا درآورده است. افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه خشک شدن بسیاری از قنات‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌های کم‌رمق، نشان از فاجعه‌ای قریب‌الوقوع دارند که در صورت عدم مدیریت ریسک و تغییر جهت حرکت به سمت پایداری، تبعات زیست بومی ناگواری را برجای خواهد گذاشت (حسینی سعدی و همکاران، ۱۳۹۵). شرایط ایران با توجه به اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی، توسعه ناپایدار و عدم توجه به مدیریت ریسک بلایای طبیعی بسیار شکننده است. بنابراین لزوم توجه به تغییر اقلیم و مدیریت ریسک ابرخشکسالی‌ها در ایران بیش از پیش اهمیت یافته است.

آب زیرزمینی تنها منبعی است که در هر شرایط آب و هوایی می‌تواند برای تأمین آب مورد استفاده قرار گیرد (DWR, 2015). پژوهش‌های زیادی در سراسر جهان به نقش آب زیرزمینی در ایجاد سازگاری و برآورده نمودن مصارف در طول دوره خشکسالی پرداخته‌اند. بر اساس نتایج این تحقیقات ذخیره آب زیرزمینی باعث افزایش تاب‌آوری در برابر پدیده خشکسالی می‌شود (Wilhite, 2014).

اهمیت و نقش منابع آب زیرزمینی در مدیریت ریسک ابرخشکسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشهودتر بوده، زیرا یگانه منبع قابل اطمینان برای تأمین آب شرب محسوب می‌گردد (درخشان و همکاران، ۱۳۹۶). ذخیره بخشی از آب زیرزمینی که می‌تواند آب کافی برای استفاده در شرایط ابرخشکسالی فراهم نماید ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی گویند. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی ذخیره‌ای حیاتی است که سرنوشت (پایداری و بقا) یک جامعه در صورت وقوع یک ابرخشکسالی در گرو آن است. در واقع این ذخیره به حجمی از آب شیرین برای فعالیت‌های مختلف گفته می‌شود که باید محاسبه و در آبخوان ذخیره گردد تا بتوان برای تأمین مصارف ضروری در صورت وقوع ابرخشکسالی از آن بهره‌برداری نمود. ذخایر تجدیدنپذیر منابع آب زیرزمینی جزء این ذخیره محسوب شده که ضرورت برداشت از آن نیازمند تعریف ترازوی جدید از خسارات است (درخشان، ۱۳۹۶).

پژوهش‌هایی که به بحث نقش آب زیرزمینی در طول دوره خشکسالی پرداخته‌اند، نیاز به ایجاد این رویکرد پیشگیرانه در سازگاری با پدیده خشکسالی را مورد تأکید قرار داده‌اند (Wilhite, 2014). اگرچه برنامه‌های مدیریت خشکسالی زیادی از جمله انتقال آب، ساخت سد در مناطق مرطوب و ساخت آب شیرین کن برای مناطق ساحلی به منظور افزایش تاب‌آوری مورد توجه است، اما ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی تنها ذخیره‌ای است که می‌تواند آب کافی برای مدیریت ریسک ابرخشکسالی‌ها را فراهم نماید (درخشان، ۱۳۹۶). در واقع ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی می‌تواند باعث افزایش تاب‌آوری^۱ در برابر ابرخشکسالی شود. اما با وجود اهمیت این مسئله، هنوز سازوکار مشخصی برای مدیریت ریسک ابرخشکسالی تعریف نگردیده است.

۲- حجم ذخیره قابل بهره‌برداری آب زیرزمینی

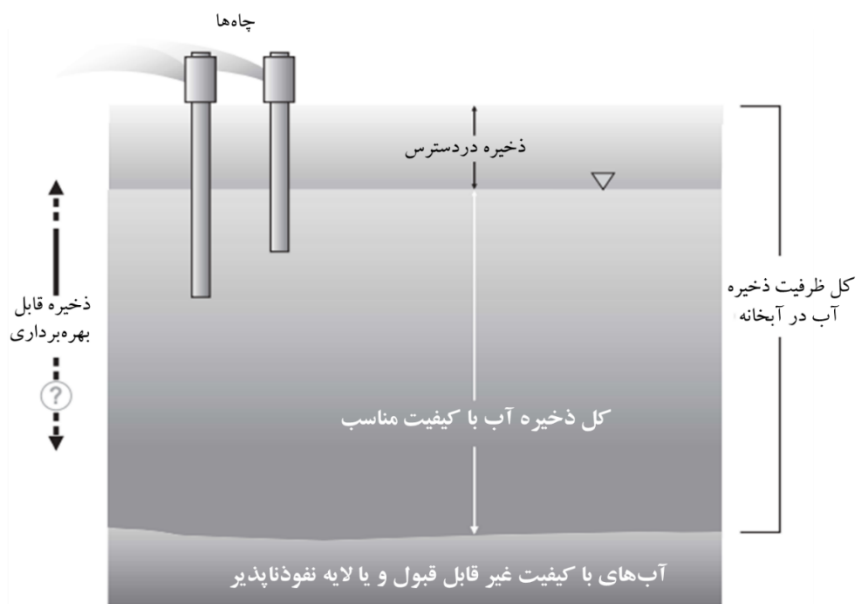
مفهوم آبدی مطمئن^۲ اولین بار در علوم مهندسی برای تأمین آب مورد توجه قرار گرفت و «حداکثر مقدار آبی است که در یک دوره استرس آبی، از دیگر منابع همچون آب زیرزمینی می‌توان تأمین نمود» تعریف گردید (Lee, 1915). سپس توجه به افت سطح آب زیرزمینی، تغییرات کیفیت آب و حتی تغییر حبابه‌ها نیز به این مفهوم اضافه شد. بنابراین مفهوم آبدی مطمئن «مقدار برداشت سالیانه آب از منابع آب زیرزمینی بدون پیامدی نامطلوب» تعریف گردید (Todd, 1959). توجه به بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی اولین بار در سال ۱۹۷۲ مورد تأکید قرار گرفت (Domeinco, 1972). در واقع برآوردی واقع‌بینانه از مقدار آبی که براساس بیلان ورودی و خروجی آب زیرزمینی می‌تواند پمپاژ شود و همچنین اجتناب از افت سطح آب آبخوان در یک دوره طولانی مدت، معیاری برای آبدی پایدار^۳ حوضه آبریز است. در حالی که مفهوم آبدی مطمئن بیشتر به تغییرات سطح آبخوان وابسته بوده و بر محدودیت‌های افت سطح آب زیرزمینی تأکید دارد (Kalf et al, 2004)، آبدی پایدار به وضعیت اجتماع وابسته بوده و دو مفهوم پیامدهای نامطلوب و اهداف مدیریت آب زیرزمینی را به هم آمیخته است (Rudestam, 2013). آبدی پایدار تنها ویژگی‌هایی بسیار کلی برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی مورد تأکید قرار داده است در حالی که جلوگیری از اضافه برداشت از منابع آب

1. Resilience

2. Safe Yield

3. Sustainable Yield

زیرزمینی در صورت وقوع یک ابر خشکسالی با شکست مواجه خواهد شد که در نتیجه آن بسیاری از این ویژگی‌ها ممکن است مورد اغماض قرار گیرد. بنابراین ضروری است تا میزان بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی تعیین تکلیف شود (درخشان، ۱۳۹۶). در شکل ۱ نمایشی از یک آبخوان در حال بهره‌برداری توسط چاه‌ها، ترسیم گردیده است. مطابق شکل ذخیره در دسترس تابعی از عمق چاه‌ها می‌باشد و از طرف دیگر کل ذخیره آبخوان محدود به آب‌ها با کیفیت غیرقابل قبول و یا لایه نفوذ ناپذیر است. این بدین معناست که اگر عمق چاه‌ها در طول زمان برای برداشت بیشتر زیاد شود روزی کل ذخیره آب با کیفیت مناسب تمام خواهد شد. در واقع این مفهوم که «چه مقدار از کل ذخیره آب زیرزمینی برای بهره‌برداری پایدار قابل استفاده است»، و یا به عبارت دیگر این سوال که «عمق کفشکنی مجاز چاه‌ها چه مقدار باید باشد؟» هنوز هم بدون جواب مانده است. مطمئناً پاسخ به این سوال نیازمند برآورد حجم آب قابل برداشت از ذخیره آبخوان بدون پیامدهای نامطلوب است. این مقاله در پاسخ به این سوال فقط از منظر مدیریت ریسک ابرخشکسالی توجه نموده، و سعی در تهیه پاسخی مناسب دارد.



شکل ۱- نمایشی از کل ظرفیت، ذخیره قابل استفاده و در دسترس آب زیرزمینی

در متون علمی منظور از اصطلاح ابرخشکسالی، خشکسالی‌های کوتاه مدت نیست بلکه منظور خشکسالی‌هایی که دارای شدت زیاد و دوام بسیار طولانی است که دو دهه و یا بیشتر به طول می‌انجامد (Varnette, 2011). چنین وقایعی اگرچه جزء وقایع نادر محسوب می‌شوند ولی به دلیل مخاطره بسیار بزرگ این نوع پدیده‌ها نمی‌توان از مدیریت آن‌ها غفلت نمود. بنابراین توجه به مدیریت ریسک ابرخشکسالی‌ها ضروری می‌باشد. این مقاله در پاسخ به این ضرورت عوامل آسیب‌پذیری در برابر ابرخشکسالی را در سه گروه اصلی تقسیم‌بندی نموده است.

۳- برآورد آسیب‌پذیری نسبت به واقعه ابرخشکسالی

آسیب‌پذیری به عنوان یک مفهوم مفید برای تدوین سیاست‌های مدیریت منابع آب می‌تواند بنیان مناسبی را برای تصمیم‌گیران به منظور اولویت‌بندی فعالیت‌ها فراهم کند. همچنین توجه به منابع اصلی آسیب‌پذیری، فرصت‌هایی را برای مدیریت منابع آب فراهم می‌نماید (Babel et al, 2011). بسیاری از محققان ارزیابی آسیب‌پذیری را بصورت کمی در نظر گرفته، و آن را در غالب فرمول‌های ریاضی که منتج به مقادیر عددی می‌شوند بیان کرده‌اند (Kaynia et al, 2007). در ارزیابی آسیب‌پذیری در سطح یک منطقه وسیع بسیاری از محققان به دنبال ارائه شاخصی هستند که آسیب‌پذیری را بصورت عددی بیان کند (Thomas, 2008). و در برخی دیگر از موارد، ارزیابی آسیب‌پذیری بصورت ترکیبی از فاکتورها از طریق ارائه نقشه انجام گردیده است (Schmidtlein et al, 2008).

در این مقاله برای ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به پدیده خشکسالی فاکتور اصلی ضریب تمرکز جمعیت، میزان وابستگی به آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی و ارزش اقتصادی-اجتماعی توسعه مورد توجه قرار گرفته است.

ضریب تمرکز جمعیت

ضریب تمرکز جمعیت در هر محدوده مطالعاتی از نسبت جمعیت در آن محدوده مطالعاتی به کل جمعیت تعریف می‌گردد. بر اساس طبقه بندی سازمان ملل شهرهای با جمعیت کمتر از ۲۵ هزار نفر شهر کوچک (روستاشهر) و شهرهای با جمعیت بین ۲۵ تا ۲۵۰ هزار نفر شهر متوسط و شهرهای دارای جمعیت بیش از ۲۵۰ هزار نفر شهر بزرگ و شهرهایی با جمعیت بیش از یک میلیون نفر را کلانشهر گویند (UN, 2004). یکی از خصوصیات شهرنشینی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، تمرکز جمعیت شهری در یک یا چند شهر بزرگ است. در حالی که ممکن است تعداد زیادی شهر در یک کشور وجود داشته باشد، ولی عمده جمعیت در چند شهر زندگی کنند. تمرکز جمعیت در یک محدوده خاص یکی از عوامل اصلی برای افزایش آسیب‌پذیری در برابر وقایع حدی (ابر خشکسالی) است زیرا هرچه جمعیت ساکن در یک محدوده بیشتر باشد، امکان تأمین آب و غذای مناسب در چنین شرایطی با پیچیدگی‌های بیشتری رو به رو خواهد بود. در حالی که در مناطق کم جمعیت امکان مدیریت مصارف و یا حتی جا به جایی جمعیت در صورت نیاز امکان‌پذیرتر می‌باشد. بنابراین تمرکز جمعیت یکی از مهمترین عوامل در آسیب‌پذیری نسبت به پدیده خشکسالی است. در این مقاله ضریب تمرکز جمعیت (PCF)^۱ در هر محدوده مطالعاتی به عنوان یکی از فاکتورهای آسیب‌پذیری نسبت به پدیده ابرخشکسالی مورد توجه قرار گرفته است.

شاخص وابستگی به آبخوان

شاخص وابستگی توسعه به برداشت از منابع آب زیرزمینی (GDF)^۲ نسبت تأمین مصارف از منابع آب زیرزمینی به کل منابع تأمین آب (سطحی و زیرزمینی) در صورت ورود به دوره خشکسالی تعریف می‌گردد. مقدار صفر برای این شاخص وجود ندارد و به معنی نبود آبخوان در آن محدوده مطالعاتی می‌باشد و مقدار یک به معنای برنامه‌ریزی برای تأمین کل مصارف در صورت ورود به دوره خشکسالی از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. لازم به ذکر است که آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب شرب در دنیا محسوب می‌شود که بدون تردید نقش بی بدیل، در مدیریت دوره‌های مختلف ابرخشکسالی بر عهده دارد. بنابراین میزان وابستگی به تأمین آب از آب زیرزمینی در هر شرایط آب و هوایی خود نیز پارامتر در تعیین آسیب‌پذیری محسوب می‌شود که به عنوان فاکتوری برای برآورد آسیب‌پذیری نسبت به پدیده خشکسالی مورد توجه قرار می‌گیرد.

ارزش اجتماعی-اقتصادی توسعه

بزرگی و میزان ارزش واقعی توسعه که تحت تاثیر آسیب یک ابر خشکسالی قرار دارد نیز یکی دیگر از فاکتورهای مورد توجه این مقاله است. این فاکتور ارزش اجتماعی-اقتصادی توسعه (SVD)^۳ شامل دو بخش اصلی است که ارزش‌های اقتصادی (گردش مالی توسعه) و ارزش‌های اجتماعی (وجود آثار تاریخی، ارزش‌های مذهبی و فرهنگی) را در بر می‌گیرد. به عبارت دیگر این فاکتور، نشان از بزرگی و اهمیت توسعه دارد.

جدول ۱ فاکتورهای سه‌گانه مزبور را در چهارکلاس اصلی تقسیم بندی نموده است. فاکتور ضریب تمرکز جمعیت بر اساس نوع شهرها در هر محدوده مطالعاتی در چهار کلاس بین صفر تا ۱ ارزش‌گذاری گردید. همچنین فاکتور ارزش اجتماعی-اقتصادی و میزان وابستگی به آب زیرزمینی نیز در چهار کلاس اهمیتی بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم تقسیم بندی شده، و در بازه صفر تا یک مورد کمی‌سازی قرار گرفت است.

1. Population concentration Factor (PCF)

2. Groundwater Dependency Factor (GDF)

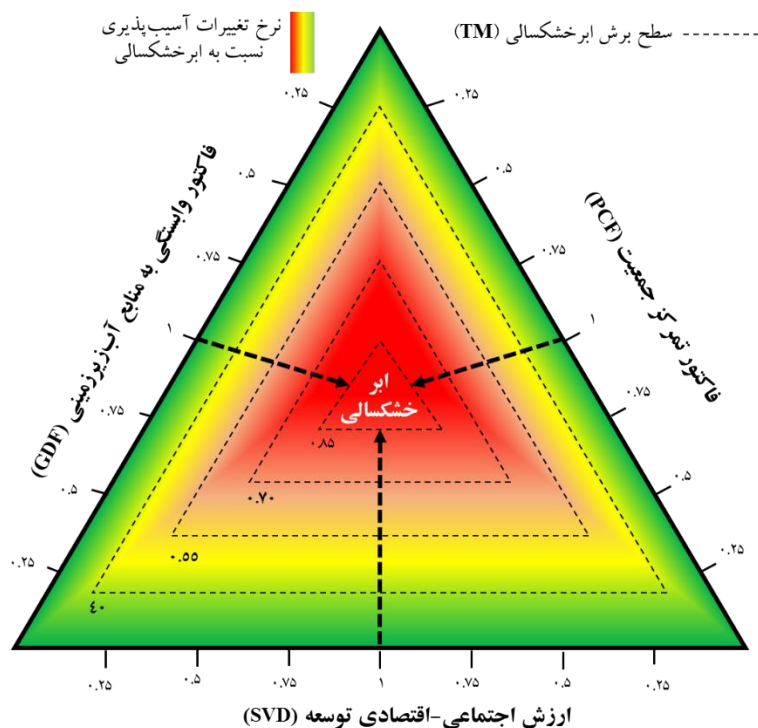
3. Socioeconomic Value of Development (SVD)

جدول ۱- برآورد فاکتورهای آسیب‌پذیری نسبت به ابرخشکسالی

ارزش اجتماعی-اقتصادی توسعه (SVD)		شاخص وابستگی به منابع آب زیرزمینی (GDI)		ضریب تمرکز جمعیت محدوده مطالعاتی (PCF)		
معیار ارزش کل	ارزش اجتماعی	ارزش اقتصادی	معیار	میزان برداشت	معیار	
SVD ≥ 0/75	بسیار بالا	بسیار زیاد	GDI ≥ 0/75	خیلی زیاد	PCF ≥ 0/75	کلان شهر
0/75 < SVD ≤ 0/5	بالا	زیاد	0/75 < GDI ≤ 0/5	زیاد	0/75 < PCF ≤ 0/5	شهر بزرگ
0/5 < SVD ≤ 0/25	متوسط	متوسط	0/5 < GDI ≤ 0/25	متوسط	0/5 < PCF ≤ 0/25	شهر متوسط
SVD > 0/25	کم	ضعیف	GDI > 0/25	کم	PCF > 0/25	روستاشهر

۴- تحلیل آسیب‌پذیری ابرخشکسالی

مثلث شکل ۲ بر اساس سه فاکتور مزبور به تخمین میزان آسیب‌پذیری توسعه نسبت به واقعه ابرخشکسالی پرداخته است. ضلع سمت پایین مثلث نشان دهنده نوع کلاس ارزش اجتماعی-اقتصادی توسعه (DSV)، ضلع سمت راست مثلث نشان‌دهنده ضریب تمرکز جمعیت (PCF) و ضلع چپ مثلث اشاره به میزان وابستگی توسعه به برداشت از منابع آب زیرزمینی در صورت ورود به دوره خشکسالی دارد. بیشترین میزان آسیب‌پذیری نسبت به واقعه ابرخشکسالی (عدد ۱) برای هر فاکتور در وسط ضلع مربوطه اختصاص داده شده است. بنابراین مرکز این مثلث نشان دهنده واقعه ابرخشکسالی است. تغییر آسیب‌پذیری توسعه نسبت به واقعه ابرخشکسالی از زیاد به کم با تغییر رنگ از قرمز به سبز نشان داده شده است. بنابراین بیشترین میزان آسیب‌پذیری در مرکز مثلث (واقعه ابرخشکسالی) و کمترین آن، در گوشه‌های مثلث رخ خواهد داد.



شکل ۲- برآورد سطح برش ابرخشکسالی بر اساس میزان آسیب‌پذیری توسعه نسبت به واقعه ابرخشکسالی

سطوح مختلف آسیب‌پذیری توسعه نسبت به وقوع ابرخشکسالی در شکل ۲ با تغییر رنگ مشخص گردیده است. رنگ سبز مربوط به کمترین آسیب‌پذیری و رنگ قرمز نشان‌دهنده بیشترین آسیب‌پذیری است. برای محدوده مطالعاتی که دارای ضریب تمرکز

جمعیت بالا (کلانشهر)، ارزش اقتصادی-اجتماعی بسیار زیاد و میزان وابستگی توسعه به برداشت از منابع آب زیرزمینی است. آسیب‌پذیری در صورت ورود به دوره ابرخشکسالی بسیار زیاد است. بنابراین این توسعه در وضعیت قرمز قرار داشته و باید برای ایجاد تاب‌آوری لازم، حجم کمبود آب در واقعه ابرخشکسالی مورد تخمین قرار گرفته، و مبنای محاسبات بعدی قرار گیرد. لذا بدیهی است که هرچه مقدار فاکتورها کاسته شود به همان نسبت هم درصد کمتری از ابرخشکسالی می‌تواند به عنوان سطح برش ابرخشکسالی (TM)^۱ که با مثلث‌های خط چین مشخص شده است انتخاب می‌گردد. بدیهی است که خسارات وارد بر توسعه‌های کوچک که فاکتورهای آنها نزدیک به صفر است در اثر ابرخشکسالی پایین بوده و آسیب‌پذیری آن نسبت به واقعه ابرخشکسالی قابل‌پذیرش است (درخشان، ۱۳۹۶).

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

اکثریت بلایای طبیعی بصورت یکباره اتفاق افتاده و مدیریت ریسک فقط مربوط به قبل از وقوع واقعه است در حالیکه بخش قابل توجهی از مدیریت ریسک ابرخشکسالی مربوط به حین وقوع ابرخشکسالی می‌باشد. بنابراین مدیریت وقایع حدی مربوط به ابرخشکسالی بسیار پیچیده‌تر از دیگر بلایای طبیعی می‌باشد. ضروری است تا در تدوین برنامه مدیریت ریسک ابرخشکسالی چگونگی مدیریت ریسک قبل و در حین وقوع ابرخشکسالی مورد بررسی قرار گیرد. در صورت وقوع ابرخشکسالی، آب زیرزمینی یگانه منبع قابل اطمینان برای تأمین آب شرب محسوب می‌شود که در متون علمی با لقب «ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی» از آن یاد شده است. در واقع ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی راهکاری بنیادین در مدیریت ریسک ابرخشکسالی است (درخشان و همکاران، ۱۳۹۶). ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی می‌تواند نقش موثری در کاهش آسیب‌پذیری نسبت به وقوع ابرخشکسالی داشته باشد. حجم ذخیره استراتژیک برای هر آبخوان باید متناسب با میزان آسیب‌پذیری نسبت به این واقعه تخمین زده، و چگونگی استفاده از این ذخیره مشخص شود. در واقع حجم ذخیره استراتژیک معادل کمبود منابع آب تجدیدپذیر (نسبت به حالت نرمال) در دوره‌ی ابرخشکسالی، فرض می‌گردد. اما ممکن است که در شرایط واقعی، به دلیل عدم وجود این حجم از ذخیره در آبخوان، امکان آن وجود نداشته باشد. در چنین شرایطی، سازگاری با ابرخشکسالی از طریق کنترل مصرف می‌تواند نقشی مهم در مدیریت ریسک ابرخشکسالی ایفا نماید.

برآورد ابرخشکسالی می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری و ایجاد آمادگی لازم در برابر این بلای طبیعی منجر گردد. لازم به ذکر است تحلیل واقعه ابرخشکسالی و برآورد میزان کاهش آب تجدیدپذیر نسبت به شرایط نرمال در چنین دوره‌ای از طریق تحلیل‌های چند متغییره (توابع مفصل) و یا با استفاده از چارچوب HDIaRW امکان‌پذیر گردیده است (درخشان، ۱۳۹۶). این مقاله رویکردی جدید را برای مدیریت ریسک ابرخشکسالی‌ها پیشنهاد نموده است که توسعه و پیاده‌سازی این رویکرد با توجه به اثرات تغییر اقلیم در تغییر الگوی باران ضرورت بیشتری یافته است. همچنین کشور ایران به دلیل اضافه برداشت، و توسعه ناپایدار در صورت وقوع ابرخشکسالی در شرایط شکننده‌ای قرار خواهد گرفت. بنابراین ضرورت توجه به مدیریت ریسک بلایای طبیعی (مخصوصاً ابرخشکسالی) در این شرایط دوچندان خواهد بود.

۶- منابع

۱. حسنی سعدی، مریم، گلکار، الهام، (۱۳۹۵)، شناسایی و ارزیابی معیارهای الگوی کشت از منظر بهروری آب، اندیشکده تدبیرآب ایران، چاپ اول
۲. درخشان، هاشم، (۱۳۹۶)، بسط مفهوم «ذخیره استراتژیک» در مدیریت منابع آب و تدوین یک چارچوب برای کاهش مخاطرات خشکسالی‌های شدید و طولانی براساس این مفهوم، پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. درخشان، هاشم، عمرانیان، حمید، (۱۳۹۶)، ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی: بنیادی‌ترین راهکار مدیریت ریسک خشکسالی، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری، شبکه سیاست‌گذاری عمومی شمس.

¹. Target of Mega drought (TM)



4. Babel, Mukand S, Pandey, Vishu P, Rivas, Aldrin A, Wahid, Shahriar Md.(2011) ,Indicator-based approach for assessing the vulnerability of freshwater resources in the Bagmati river basin, Nepal, Environmental Management,48(5):1044-1059.
5. California Department of Water Resources DWR ,(2015), California's Most Significant Droughts: Comparing Historical and Recent Conditions.
6. Domenico, Patrick A, (1972), 'Concepts and models in groundwater hydrology'. McGraw-Hill Evans WR and Cook P G (2002) What is a sustainable yield for Australia's groundwater systems? Darwin Conference: Balancing the groundwater budget, May 12-17, Darwin 2002
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2013), No date. "Drought facts" rome, Italy. Available at fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf
8. Gleick , Peter H, Heberger,Matthew, (2010), Water conflict chronology, The World's Water, 2008–2009: The Biennial Report on Freshwater Resources. Washington, DC: National Academy of Sciences pp. 151–196
9. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2013) , Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp , doi:10.1017/CBO9781107415324.
10. Kalf, Franse R.P, Woolley, Donald R, (2004) ,Definition and applicability of the sustainable yield concept for management of Australia's groundwater systems, Paper presented at the 9th Murray-Darling groundwater workshop. Bendigo 17-19 Feb
11. Kaynia, A.M , Papathoma-Kohle, M, Neuhauser, B, Ratzinger,K, Wenzel, H, Medina-Cetina, Z, (2007), Probabilistic assessment of vulnerability to landslide: Application to the village of Lichtenstein, Baden-Wurttemberg, Germany.Engineering Geology, 2008: p. S0013-7952(08) 00092-6.
12. Lee Charales H, (1915) ,The determination of safe yield of underground reservoirs of the closed basin type, Trans. Amer. Soc.Civil Engrs, 78:148-151
13. Rudestam, Kirsten, Langridge, Ruth, (2013), "Sustainable Yield in Theory and Practic :Bridging Scientific and Mainstream Vernacular", Groundwater, doi: 10.1111/gwat.12160
14. Schmidtlein ,Mc, Deutsch ,RC, Piegorsch ,WW, Cutter, SL, (2008). A sensitivity analysis of the social vulnerability index, Risk Analysis 28(4):1099-114.
15. Thomas, RJ ,(2008) ,Opportunities to reduce the vulnerability of dryland farmers in Central and West Asia and North Africa to climate change, Agriculture, Ecosystems and Environment 126:36–45.
16. Todd ,D.K ,(1959), 'Groundwater Hydrology' John Wiley & Son, Inc., New York, 1959
17. United Nation ,(2004), World Urbanization Prospects: The 2003 revision, Department of Economic and Social Affairs. New York: United Nations.
18. Varmette, Bob, (4 August 2011), Megadroughts, Fort Stockton Pioneer, Retrieved 15 August 2011.
19. Wilhite, D, (2014) "Drought: Past and Future." Presented at Drought in the Life, Cultures, and Landscapes of the Great Plains, University of Nebraska-Lincoln on April 2, 2014.