شبیه‌سازی و آشکارسازی نوسانات جریان آبراهه‌ای با شدت خشک‌سالی با بهره‌گیری از مدل WEAP

آرمین بنی‌بیات[۱]، حسین قربانی‌زاده خرازی[۲*]، حسین اسلامی[۳]، صائب خوش‌نواز[۴]، بهروز دهان‌زاده[۵]

۱) دانشجوی دکترای مهندسی مدیریت منابع آب، گروه عمران، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۲) استادیار گروه مهندسی عمران آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۳) استادیار گروه مهندسی عمران آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۴) استادیار گروه کشاورزی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۵) استادیار گروه مهندسی عمران آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

[*]نویسنده مسئول: h.ghorbanizadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳**

چکیده

در این مطالعه نیاز به انتقال آب در سطوح مختلف توسعه کشاورزی در قالب طرح انتقال آب از سولگان (ونک) به خان‌میرزا مورد بررسی قرار گرفت. در تمامی سناریوهای این گروه اجرای طرح انتقال آب از سولگان به دشت خان‌میرزا (طرح سد ونک) در نظر گرفته شده است. سناریوهای اجرا شده در مدل WEAP شامل اجرای طرح تغذیه مصنوعی و همچنین افزایش سطح زیرکشت و افزایش راندمان آبیاری برای به تعادل رسیدن بیلان دشت خان‌میرزا می‌باشد. نتایج سناریو اول نشان داد که برای به تعادل رسیدن بیلان آب زیرزمینی دشت باید سالیانه حداقل ۴۵ میلیون مترمکعب آب از سولگان به دشت خان‌میرزا انتقال داده شود. نتایج سناریوی دوم نشان داد که در صورت انتقال کامل آب سولگان به خان‌میرزا می‌توان میزان سطح زیرکشت اراضی را تا ۲۱۰۰۰ هکتار توسعه داد. نتایج سناریوی سوم نشان داد که در صورت انتقال کامل آب سولگان به خان‌میرزا و اجرای کامل طرح آبیاری تحت فشار می‌توان علاوه بر تعادل بخشی آبخوان خان‌میرزا، میزان سطح زیرکشت اراضی را تا ۲۶۰۰۰ هکتار توسعه داد. همچنین سناریوی چهارم نشان داد که در صورت انتقال کامل آب سولگان به خان‌میرزا (یعنی انتقال رقم ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال) و اجرای کامل طرح آبیاری تحت فشار و اجرای طرح تغذیه مصنوعی سالانه ۱۰ میلیون مترمکعب، می‌توان میزان سطح زیر کشت اراضی را تا ۳۰۰۰۰ هکتار توسعه داد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، جریان آبراهه‌ای، سطح زیرکشت، طرح تغذیه مصنوعی، انتقال آب، راندمان آبیاری.

مقدمه

از ابتدای تاریخ، خشک‌سالی بخشی از تغییرات آب و هوایی محیط ما بوده است. کمبود آب از یک‌طرف و استفاده بی‌رویه و غلط از منابع آب از طرف دیگر، تهدیدی جدی برای محیط زیست و منابع آب در کشوری مثل ایران که از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اینکه در حال حاضر مناطق شمالی کشور را هم تحت تأثیر قرار داده است. وضعیت بارندگی و محدودیت منابع آبی و شرایط اقلیمی کشور این واقعیت را نشان می‌دهد که باید برای پدیده خشک‌سالی برنامه داشت و به صورت جدی در زمان وقوع با آثار و پیامدهای آن مقابله نمود. علاوه بر این لزوم افزایش راندمان استفاده از آب در کشاورزی، اصلاح الگوی مصرف و مدیریت آبیاری و توجه به بهره‌برداری آب باید مدنظر قرار گیرد. خشکی و خشک‌سالی هر دو نتیجه اثرات متقابل بین محیط زیست طبیعی و اجتماع می‌باشد. پدیده خشک‌سالی بیانگر اثرات مختلف محیط زیست بر روی موجودات زنده بوده؛ حال آن‌که خشکی دارای مفهوم کلی است و برای عناصر محیط زیست به کار نمی‌رود. توجه به اعمال مدیریت صحیح و کاهش پیامدهای خشک‌سالی در توسعه مناطق، نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات پیش‌گیرانه در مقابله با پدیده خشک‌سالی است، که خود مستلزم به‌کارگیری دانش کافی در پیش‌بینی خشک‌سالی می‌باشد. شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی اغلب جهت ارائه یک تصویر جامع از بیلان آب در یک حوضه به منظور مدیریت بهینه آب تهیه شده‌اند که با توجه به کمبود اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در سال‌های گذشته محدودیت‌هایی جهت برآورد آمار و اطلاعات دقیق شاخص‌های خشک‌سالی برای محققین بوجود آورده است. در این زمینه تحقیقاتی انجام شده است. Rabani far و همکاران (۱۳۹۶) جهت شبیه‌سازی عرضه و تقاضا منابع آب زیرزمینی دشت تویسرکان از مدل WEAP بهره گرفتند. نتایج تحلیل سناریوهای افزایش راندمان کل آبیاری و تغییر الگوی کشت منطقه برای سال‌های مطالعاتی ۲۰۲۵-۲۰۱۱ نشان داد که اگر روند فعلی تقاضا ادامه پیدا کند در سال ۲۰۱۹ آبخوان با خشکی و همه سایت‌های تقاضا با بحران بسیار شدید بی‌آبی مواجه خواهند شد و با اجرای سناریوی تغییر الگوی کشت، خشک شدن آبخوان تا سال ۲۰۲۲ به تعویق خواهد افتاد. همچنین نتایج سناریوی مدیریت آب شهری نشان داد که ذخیره حجمی آبخوان از سال ۲۰۱۲ تا سال ۲۰۲۰ نسبت به سال پایه ۲۰۱۱، هر ساله افزایش پیدا کرده و این افزایش تا حداکثر ۱۰/۹۵ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۲۰ می‌رسد. Tabari و همکاران (۲۰۱۳) جهت تعیین خشک‌سالی هیدرولوژیکی در شمال غرب ایران در دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۹ از SDI برای دوره‌های همزمان ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در ۱۴ ایستگاه هیدرومتری استفاده کردند. نتایج تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر مبنای SDI نشان داد که تقریبا تمامی ایستگاه‌ها خشکسالی‌های حدی را در طول دوره مورد مطالعه تجربه کرده‌اند. Rahiz و New (۲۰۱۳) با هدف ارزیابی کارایی یک شاخص خشکسالی بر مبنای بارش در شبیه‌سازی خشک‌سالی هیدرولوژیکی، شاخص شدت خشک‌سالی (DSI) در مقیاس‌های زمانی مختلف را برای بارش و رواناب ماهانه به کار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که DSI بر پایه بارش، توانایی شبیه‌سازی رخدادهای خشک‌سالی هیدرولوژیکی مهم مانند

DSI بر پایه جریان را داراست و DSI بر پایه بارش، عموماً خشک‌سالی هیدرولوژیکی با سطح متوسط را بهتر از بسیار شدید ارائه می‌کند. Loukas و همکاران (۲۰۰۸) رابطه بین خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی را در حوضه‌هایی منتخب در یونان بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص SPI نسبت به شاخص‌های دیگر، رابطه بهتری با شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی دارد. Sayari و همکاران (۲۰۱۳) برای پایش خشک‌سالی در حوضه کشف رود (شمال شرقی ایران) از سه شاخص SPIP، NPI و ARI استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش اندک در متغیرهای بارش ماهانه، دمای حداکثر و حداقل ماهلنه و همچنین افزایش رخداد خشک‌سالی و مدت آن تحت هر دو سناریو بودند. Duan و Mei (۲۰۱۴) در تحقیقی، تغییرات خشک‌سالی از ۲۰۰۰-۱۹۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۶۱ را با استفاده از دو مدل CSIRO-MK و CCCma-GCM تحت سه سناریو انتشار در حوضه‌ای در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خشک‌سالی‌ها هیدرولوژیکی و کشاورزی، با دمای افزایشی حتی با دورنمای پایدارتر خشک‌سالی هواشناسی در آینده، می‌توانند تهدیدهای بزرگ‌تری برای مدیریت منابع آب محلی به حساب آیند. Liu و همکاران (۲۰۱۲) به منظور بازسازی رخدادهای خشک‌سالی تاریخی و برآورد خطر خشک سالی آینده برای حوضه مستعد خشک‌سالی رودخانه بلو[1] تحت اقلیم متغیر محتمل، از شاخص‌های خشک‌سالی SPI، PDSI[2] و SRI استفاده کردند. نتایج نشان داد که هر سه شاخص، خشک‌سالی‌های تاریخی را بدست آوردند و حاکی از آن است که به احتمال زیاد خشک‌سالی‌های شدیدتر با وسعت بیش‌تر برای ۹۰ سال بعدی به خصوص در اواخر قرن ۲۱ اتفاق می‌افتد. Loukas و همکاران (۲۰۰۸) جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر شدت خشک‌سالی در منطقه‌ای از یونان از شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه بهره گرفتند. نتایج نشان از افزایش قابل ملاحظه شدت خشک‌سالی سالانه در مقیاس‌های مختلف زمانی SPI و شرایط بحرانی‌تر تحت سناریو A2 داشت. Hamlat و همکاران (۲۰۱۲) جهت ارزیابی و آنالیز بیلان موجود و پیش‌بینی آیند و همچنین تحلیل سناریوهای ممکن در حوضه آبریز غربی الجزایر با کمک نرم‌افزار WEAP اقدام نمودند. نتایج نشان می‌دهد که تقاضای شهری برای سناریوهای در نظر گرفته شده تأمین می‌گردد ولی در بخش کشاورزی، مصارف آن تنها در صورت انتقال آب قابل تأمین خواهد بود. Harma و همکاران (۲۰۱۲) جریان آب سطحی حوضه Okanagan واقع در ایالت British Columbia، آمریکا را با استفاده از نرم‌افزار WEAP مدل نمودند. آن‌ها با در نظر گرفتن شرایط بیولوژیکی، اجتماعی، استفاده اراضی و نیاز شهری نشان دادند که سیستم‌های ذخیره سطحی موجود قادر به تامین نیاز شهری با توجه به در نظر گرفتن بارش نرمال تا سال ۲۰۵۰ نخواهد بود. همچنین در دو سناریوی (تغییرات آب و هوایی و پوشش اراضی) منابع موجود برای ارضای تقاضاهای بخش کشاورزی و شهری با کمبود مواجه خواهند بود. Hoff و همکاران (۲۰۱۱) حوضه رودخانه اردن که با کمبود شدید منابع آب روبرو است را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تغییرات

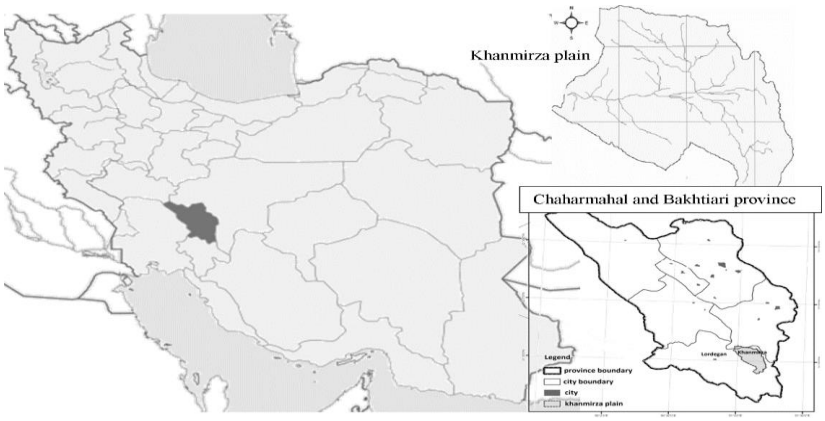
[1]. Blue
[2]. Palmer Drought Severity Index

آب و هوایی و اجتماعی- اقتصادی کلید محرک کمبود آب در حوضه است. با توجه به اینکه تلاش محققین کشور در سال‌های اخیر بیش‌تر به بررسی تاثیر پدیده‌های اقلیمی بر متغیرهای بارش و دما معطوف است، کم‌تر موضوع جریان آبراهه رودخانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اهمیت بررسی جریان آبراهه‌ای رودخانه به‌عنوان یکی از تاثیرگذارترین و جامع‌ترین متغیرهای هیدرولوژیکی و همچنین کمبود مطالعات این چنینی با محوریت شدت خشک‌سالی در بررسی‌های جریان‌های آبراهه‌ای ایران، این پژوهش به بررسی و آشکارسازی تغییرات و نوسانات جریان آبراهه‌ای در شرایط خشک‌سالی با استفاده از مدل WEAP پرداخته است. به طورکلی هدف این پژوهش شناسایی روند ناشی از تغییرات اقلیم، آشکارسازی نوسانات ناشی از پدیده‌های اقلیمی (تغییرپذیری اقلیمی) و تفسیر علت‌های بوجود آورنده هر کدام می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد تحقیق

حوضه آبریز دشت خان‌میرزا که در جنوب استان چهارمحال و بختیاری قرار گرفته است در محدوده مدارهای ۳۱ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت این دشت بر اساس مطالعات قبلی معادل ۱۳۶ کیلومترمربع بدست آمده است. زیرحوضه آبریز خان‌میرزا در محدوده رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. تکتونیک ناحیه کاملا از روند حرکت صفحه‌های ایران و عربی پیروی نموده و محور اکثر چین‌خوردگی‌ها دارای امتداد شمال غرب – جنوب شرق بوده و اکثر گسل‌های منطقه نیز دارای همین روند یعنی به موازات گسل رورانده اصلی زاگرس می‌باشند. در نقشه شکل (۱) موقعیت دشت خان‌میرزا در استان چهارمحال و بختیاری مشخص گردیده است.



شکل ۱: موقعیت دشت خان‌میرزا در استان چهارمحال و بختیاری

در دشت خان‌میرزا عموما تیرماه گرم‌ترین و دی‌ماه سردترین ماه سال است. در دشت مذکور حداقل مطلق دمای ثبت شده در طول ۳۰ سال گذشته به ۳۲ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و حداکثر مطلق دمای آن نیز برابر با ۴۷ درجه سانتی‌گراد بوده

است. متوسط مجموع بارش سالانه ایستگاه دشت خان‌میرزا ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد و متوسط پتانسیل تبخیر سالیانه حوضه دشت خان‌میرزا ۱۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۱: توزیع تخلیه ماهیانه چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌های دشت خان‌میرزا

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	درصد کل
تخلیه ماهانه چاه (٪)	۵	۳	۲	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۱۱	۱۴	۱۶	۱۶	۱۷	۱۵	۱۰۰
تخلیه ماهانه قنات (٪)	۶/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۳	۵/۳	۷/۲	۱۲	۱۴	۱۲/۵	۱۰	۸/۲	۸	۱۰۰
تخلیه ماهانه چشمه (٪)	۹/۶	۶/۷	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۷/۵	۸/۹	۹/۸	۹/۶	۹/۵	۹/۴	۸/۳	۱۰۰

آخرین آمار منابع آب دشت خان‌میرزا و مقایسه آن با آمار سال‌های قبل بیانگر این امر است که افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی به شدت افزایش یافته و از ۱۱۲ حلقه در سال ۱۳۵۶ با تخلیه سالیانه ۲۴ میلیون مترمکعب به ۷۱۹ حلقه با تخلیه سالیانه ۱۳۳ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۶ رسیده است. جنس سنگ کف دشت در قسمت شمال و شرق این گسل، غالبا آهک بوده و در تغذیه سفره آب زیرزمینی محل نقش موثری ایفا می‌نماید. زیرحوضه آبریز خان‌میرزا در محدوده رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. تکتونیک ناحیه کاملا از روند حرکت صفحه‌های ایران و عربی پیروی می‌کند. سطح زیرکشت آبی در دشت خان‌میرزا ۱۲۳۲۱ هکتار است. راندمان مصرف آب در این دشت بین ۳۰ تا ۵۰ درصد متغیر بوده و نیاز آبی خالص دشت با توجه به ترکیب الگوی کشت منطقه بر اساس روش پنمن مانتیس برابر ۷۵۰۰ مترمکعب بر هکتار است که با راندمان آبیاری حال حاضر (۴۱/۵ درصد) نیاز ناخالص سالانه اراضی ۱۸۰۰۰ مترمکعب در هکتار بدست می‌آید.

جدول ۲: مختصات و مساحت تیسن چاه‌های پیزومتری دشت خان‌میرزا

شماره پیزومتر	محل پیزومتر	مختصات UTM		ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت پیزومتر با روش تیسن (مترمربع)
		Y	X		
۱	سفیلان	۳۴۸۷۱۴۰	۵۰۷۸۲۹	۱۸۳۳/۸۴	۱۲/۶۲۴
۲	ده ترکان	۳۴۸۳۸۲۷	۵۱۰۹۰۴	۱۸۴۸/۱۳	۸/۴۹۸
۳	ده صحرا – مزرعه ملو	۳۴۸۶۸۲۲	۵۱۰۷۵۴	۱۸۳۶/۱۷	۱۰/۶۸۵
۴	نرسیده به ده صحرا	۳۴۸۸۶۶۳	۵۰۸۲۸۵	۱۸۳۳/۲۷	۷/۸۷۲
۵	فیض آباد	۳۴۹۰۲۸۷	۵۱۳۰۳۹	۱۸۴۳/۵۱	۱۱/۱۱۲
۶	جاده جوانمردی – ده ترکان	۳۴۸۲۱۷۳	۵۱۴۱۸۹	۱۸۶۹/۳۲	۶/۸۱۵
۷	ده علی – ده رشید	۳۴۸۸۰۸۹	۵۱۴۶۲۲	۱۸۴۱/۰۸	۵/۹۶۲
۸	سلح چین – بابا منصور	۳۴۸۳۳۲۸	۵۱۴۸۲۹	۱۸۷۲/۵۸	۷/۵۳۲
۹	خسروآباد	۳۴۷۹۷۸۰	۵۱۴۷۶۶	۱۹۱۲/۷۳	۸/۱۵۰
۱۰	سرتنگ دینار عالی	۳۴۸۸۸۱۰	۵۰۴۰۰۵	۱۸۳۴/۲	۷/۲۵۰
۱۱	آلونی	۳۴۹۰۱۸۱	۵۰۶۷۵۴	۱۸۳۸/۱۹	۶/۱۳۱
۱۲	جدیدکلامونی	۳۴۹۶۶۹۵	۵۰۵۴۶۶	۱۸۹۹/۵	۶/۹۴۵
۱۳	برجوئی	۳۴۹۲۰۰۸	۵۰۵۷۸۷	۱۸۵۳/۲۲	۱۲/۱۴۴
۱۴	مرادان	۳۴۹۲۷۳۲	۵۰۹۳۴۱	۱۸۴۵/۰۶	۱۵/۱۷۹

جهت بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در گستره دشت خان‌میرزا از آمار سطح آب استاتیک ۱۴ حلقه چاه مشاهده‌ای دشت خان‌میرزا که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری از مهر سال ۱۳۷۱ لغایت شهریور ۱۳۸۷، اندازه‌گیری و ارائه شده، مجموعا به تعداد ۱۶ سال آبی استفاده گردید. جدول (۳) برآیند تغییرات سطح آب زیرزمینی را طی ۱۶ سال نشان می‌دهد که جمع کل افت‌های ایجاد شده در دشت خان‌میرزا به ترتیب برابر ۱۴/۳۳ است.

جدول ۳: برآیند تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت خان‌میرزا

ردیف	سال آبی	تغییرات سطح آب زیرزمینی(متر)
۱	۷۲-۱۳۷۱	۲/۷۱
۲	۷۳-۱۳۷۲	-۳/۵۹
۳	۷۴-۱۳۷۳	۰/۱۹
۴	۷۵-۱۳۷۴	-۰/۸۴
۵	۷۶-۱۳۷۵	-۱/۶۶
۶	۷۷-۱۳۷۶	۱/۲۷
۷	۷۸-۱۳۷۷	-۲/۱۳
۸	۷۹-۱۳۷۸	-۳/۶۲
۹	۸۰-۱۳۷۹	-۶/۱۹
۱۰	۸۱-۱۳۸۰	۳/۶
۱۱	۸۲-۱۳۸۱	-۰/۷۲
۱۲	۸۳-۱۳۸۲	۱/۱۴
۱۳	۸۴-۱۳۸۳	-۰/۸۸
۱۴	۸۵-۱۳۸۴	۴/۸۱
۱۵	۸۶-۱۳۸۵	۲/۳۰
۱۶	۸۷-۱۳۸۶	-۱۰/۳۳
	مجموع تغییرات	-۱۴/۳۳

به دلیل کامل بودن اطلاعات تخلیه و تغذیه آبخوان دشت خان‌میرزا در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ بیلان آب زیرزمینی دشت خان‌میرزا بر اساس اطلاعات و آمار سال آبی ۸۷-۱۳۸۶تهیه شده است. با توجه به سنگ بستر منطقه و بیرون‌زدگی آن در حواشی دشت هیچ‌گونه تبادل آبی بین این حوضه و حوضه‌های مجاور وجود نداشته و تغذیه این بخش معادل صفر در نظر گرفته می‌شود. متوسط بارندگی سالانه در دشت خان‌میرزا، معادل ۵۰۰ میلی‌متر محاسبه شده است که با احتساب حدود ۳۴ درصد نفوذ در آبخوان آبرفتی خان‌میرزا حجمی برابر ۲۳/۱۲ میلیون مترمکعب سهم نفوذ از نزولات جوی است. حجم آب برگشتی کشاورزی در محدوده دشت خان‌میرزا ۲۶/۶ میلیون مترمکعب است. حجم آب برگشتی از آب چشمه به آبخوان معادل ۱/۲۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. با توجه به سنگ بستر منطقه و بیرون‌زدگی آن در حواشی دشت هیچ‌گونه تبادل آبی بین این حوضه و حوضه‌های مجاور وجود نداشته و تغذیه این بخش معادل صفر در نظر گرفته می‌شود. حجم کل تخلیه آبخوان آبرفتی دشت خان‌میرزا از طریق چاه‌ها (۶۴۳ حلقه) برابر ۱۳۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است. با توجه به اینکه در دشت خان‌میرزا در سال ۸۷-۱۳۸۶ عمق سطح ایستابی بالاتر از ۳ متر بوده است، بنابراین میزان تبخیر و تعرق آب زیرزمینی برای دشت خان‌میرزا

در معادله بیلان صفر در نظر گرفته می‌شود. زهکشی از طریق رودخانه صفر در نظر گرفته می‌شود. تغییرات حجم مخزن آب زیرزمینی دشت خان‌میرزا معادل ۷۸ میلیون مترمکعب در طی ۱۶ سال محاسبه شده است.

استفاده از مدل WEAP برای شبیه‌سازی منابع آب‌های زیرزمینی

مدل WEAP برای مدل‌سازی حوضه از یک ساختار شبکه گره – کمان استفاده می‌کند. در این تحقیق برای مدل‌سازی حوضه خان‌میرزا از گره‌های مختلف نظیر سایت‌های تقاضای شرب و کشاورزی، آبخوان، نیاز زیست محیطی، ایستگاه‌های آب‌سنجی وکمان‌های مختلف شامل شبکه انتقال آب از منابع عرضه آب به سایت‌های تقاضا، شبکه برگشت آب، بازه‌های مختلف رودخانه استفاده شده است. در فرضیات به کار گرفته شده در مدل، تبخیر در تمامی سناریوها ثابت می‌ماند و از تغییر آن با افزایش دما صرف نظر شده است و در مطالعات شبیه‌سازی حوضه از آمار آبدهی طبیعی رودخانه‌ها استفاده شده است. هدف از این تحقیق بررسی منابع آب‌های زیرزمینی دشت خان‌میرزا در شرایط خشکسالی بر نوسانات رودهای منتهی به حوضه خان‌میرزا با استفاده از نرم‌افزار WEAP می‌باشد. به منظور تحقق این هدف ابتدا سال ۲۰۰۷ (۸۷-۱۳۸۶) به عنوان سال پایه انتخاب گردید. سپس سناریوهایی در بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۳۷-۲۰۰۷) توسط مدل WEAP مورد ارزیابی قرار گرفت. در این دوره ۳۰ ساله داده‌های مورد نیاز مدل به طور قطعی بر اساس آمار دوره ۱۳۸۸ – ۱۳۵۹ تعیین شد. داده‌های مورد نیاز آب‌های زیرزمینی در یک دوره ۱۵ ساله (از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸) فراهم بود. لذا کالیبراسیون مدل در این دوره انجام شد. با توجه به در نظر گرفتن شرایط خشک‌سالی در این تحقیق، برای تعیین داده‌های دوره شبیه‌سازی به صورت تعیینی میانگین داده‌های دوره‌های خشک‌سالی به‌عنوان داده برای سال‌های آینده (دوره شبیه‌سازی) در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است قبل از تشکیل فایل ورودی مدل، داده‌های ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی موجود (بارش حوضه)، مورد تست همگنی و با روش رگرسیون بازسازی و تکمیل گردید. در جدول ۴ نام داده‌های ورودی به مدل آورده شده است.

جدول ۴: داده‌های اولیه مورد نیاز مدل WEAP

ردیف	شرح داده‌ها	واحد
۱	دبی ماهانه رودخانه	مترمکعب
۲	برداشت ماهانه از چاه، چشمه و قنات	مترمکعب
۳	بارش ماهیانه	میلی‌متر
۴	ظرفیت ذخیره آبخوان	میلیون مترمکعب
۵	Maximum withdrawal	میلیون مترمکعب

پس از برآورد و تعیین پارامترهای مورد نیاز، لازم است مدل واسنجی شود. در این تحقیق این کار برای دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۷۴ (معادل ۲۰۰۹-۱۹۹۵) که آمار و اطلاعات دشت در این بازه زمانی در دسترس می‌باشد، صورت گرفت. واسنجی

مدلWEAP از طریق تغییر پارامترهایی از قبیل هدایت هیدرولیکی آبخوان، آبدهی ویژه آبخوان، فاصله افقی و ضریب نفوذ باران به دشت انجام می‌شود. مبنای واسنجی برای آب‌های زیرزمینی حجم مشاهده شده آبخوان برای هر ماه در طول دوران شبیه‌سازی و مقایسه آن با مقدار مشاهده‌ای می‌باشد که این حجم با داشتن سطح آب در آبخوان در هر ماه از طریق پیزومترها به دست می‌آید. در این مطالعه سناریوها با توجه به طرح‌های در دست مطالعه و اجرا که عبارت از طرح تغذیه مصنوعی دشت خان‌میرزا و طرح انتقال آب از سولگان به دشت خان‌میرزا (موسوم به طرح سد ونک) می‌باشد. در جدول ۵ مشخصات و شرایط کلی سناریوها ارائه شده است.

جدول ۵: مشخصات و شرایط کلی سناریوها

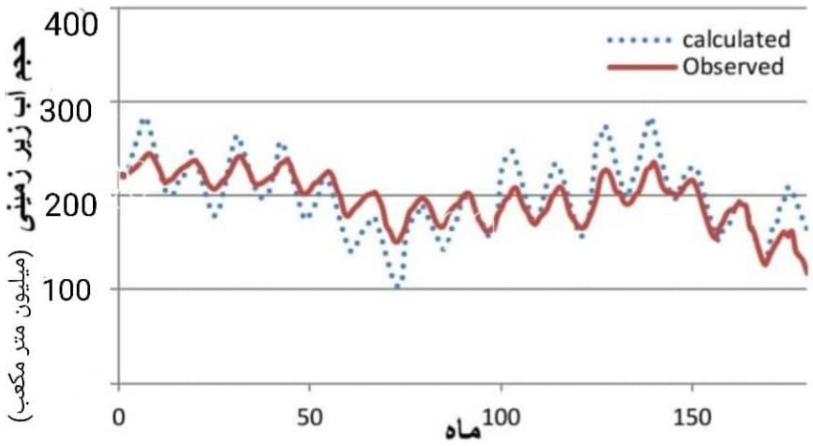
نام سناریو	شرح
S-1	اجرای طرح انتقال آب از سولگان با حجم‌های انتقالی مختلف سالیانه ۴۰ ، ۴۵ و ۵۰ میلیون مترمکعب.
S-2	اجرای طرح انتقال با حجم‌های ۱۰۰، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال و تعیین میزان حداکثر افزایش سطح زیرکشت در هر انتقال به گونه‌ای که دشت دچار کم‌آبی نگردد.
S-3	اجرای طرح انتقال با حجم‌های مختلف و اجرای طرح آبیاری تحت فشار و تعیین میزان حداکثر افزایش سطح زیرکشت در هر انتقال به گونه‌ای که دشت دچار کم‌آبی نگردد.
S-4	اجرای طرح تغذیه مصنوعی ۱۰ میلیون مترمکعب در سال، اجرای کامل طرح انتقال آب از سولگان (۲۰۰MCM) و اجرای کامل طرح سیستم‌های آبیاری تحت فشار

نتایج و بحث

در بهترین حالت واسنجی مدل (واسنجی با پایین‌ترین درصد خطای واسنجی) پارامترهای کالیبراسیون به دست آمده برای دشت به شرح جدول (۶) می‌باشد و حجم ذخیره ماهانه آبخوان در دو حالت محاسبه شده از طریق مدل و مشاهده شده، در بهترین حالت کالیبراسیون در نمودار شکل (۲) نشان داده شده است. شایان ذکر است ضریب آبدهی ویژه دشت در حالتی که برابر ۴ درصد در نظر گرفته شد خطای مدل به حداقل رسید. لذا این رقم به عنوان ضریب آبدهی ویژه استفاده شد. همچنین نتایج نشان داد بصورت متوسط سالیانه ۴۵/۵ میلیون مترمکعب از نزولات جوی صرف تغذیه آبخوان می‌شود که در مقایسه با مقدار برداشت سالیانه ۹۳/۵ درصد کم‌تر می‌باشد.

جدول ۶: مشخصات بهترین حالت واسنجی مدلWEAP برای آبخوان دشت خان‌میرزا

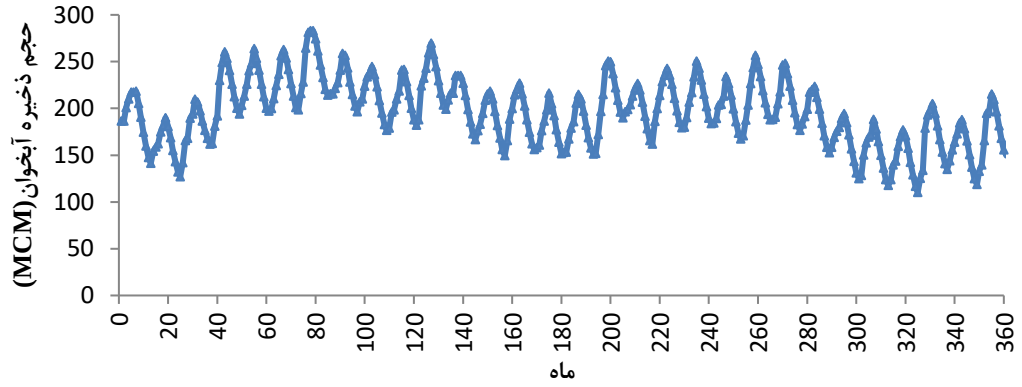
ردیف	شرح پارامتر	مقدار
۱	ظرفیت نهائی ذخیره آبخوان (میلیون مترمکعب)	۲۸۳
۲	حجم آب در آبخوان در سال ۱۳۷۴ (میلیون مترمکعب)	۲۳۰/۵
۳	درصدی از بارندگی که صرف تغذیه آبخوان می‌شود	٪۳۴
۴	متوسط بهره‌برداری سالانه از آبخوان در دوره واسنجی (میلیون مترمکعب)	۹۷
۵	ضریب آبدهی ویژه دشت (٪)	۴
۶	متوسط قدر مطلق خطای مدل در دوره واسنجی (٪)	۱/۳



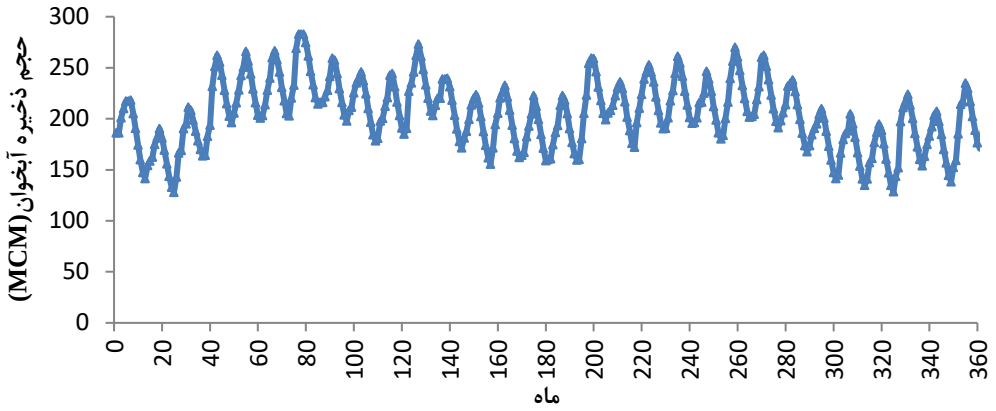
شکل ۲: ذخیره آبخوان خان‌میرزا در دو حالت شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در بهترین حالت واسنجی بصورت ماهانه

سناریوی S-1

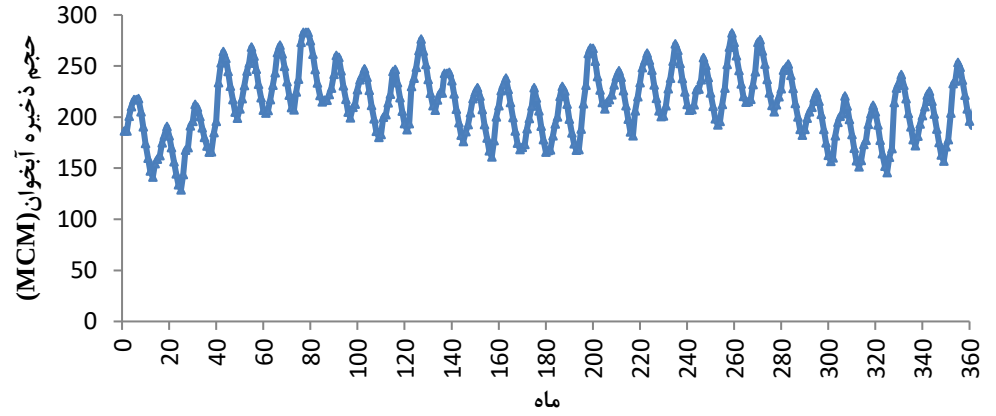
در این سناریو فرض بر اجرای طرح انتقال آب از سولگان با حجم‌های انتقالی مختلف با ارقام متوسط سالیانه ۴۰ ، ۴۵ و ۵۰ میلیون مترمکعب در دشت خان‌میرزا و تاثیر آن بر وضعیت بیلان آب زیرزمینی دشت می‌باشد. نمودار شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نمایانگر وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت خان‌میرزا تحت اجرای سناریوی S-1 می‌باشند. با انتقال متوسط سالیانه ۴۰ میلیون مترمکعب بیلان دشت همچنان منفی خواهد بود و حجم ذخیره آبخوان در پایان دوره شبیه‌سازی نسبت به ابتدای دوره ۴ درصد کاهش خواهد داشت و درصد تامین آب اراضی کشاورزی بطور متوسط برابر ۷۶ درصد بدست می‌آید. با انتقال سالانه ۴۵ و ۵۰ میلیون مترمکعب بیلان آب زیرزمینی دشت مثبت خواهد بود و حجم ذخیره آبخوان در پایان دوره شبیه‌سازی به ترتیب ۶ و ۱۷ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش خواهد داشت. به همین ترتیب درصد تامین آب اراضی کشاورزی به ترتیب برابر ۸۰ و ۸۵ درصد بدست می‌آید. بنابراین برای به تعادل رسیدن بیلان آب زیرزمینی دشت باید سالانه حداقل ۴۵ میلیون مترمکعب آب از سولگان به دشت خان‌میرزا انتقال داده شود.



شکل ۳: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری (S-1 با انتقال سالانه MCM ۴۰) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



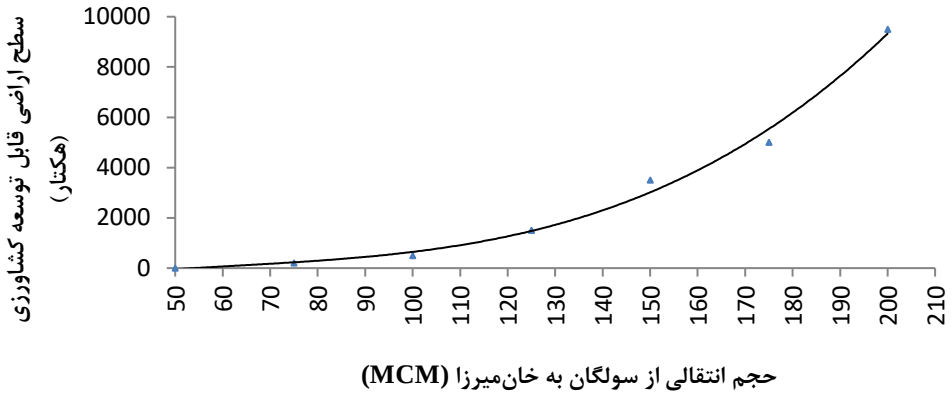
شکل ۴: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری (S-1 با انتقال سالانه MCM ۴۵) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



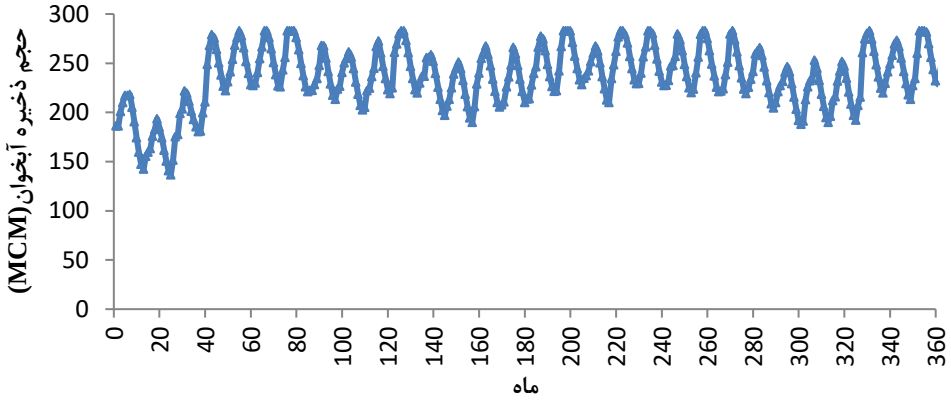
شکل ۵: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری (S-1 با انتقال سالانه MCM ۵۰) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷

سناریوی S-2

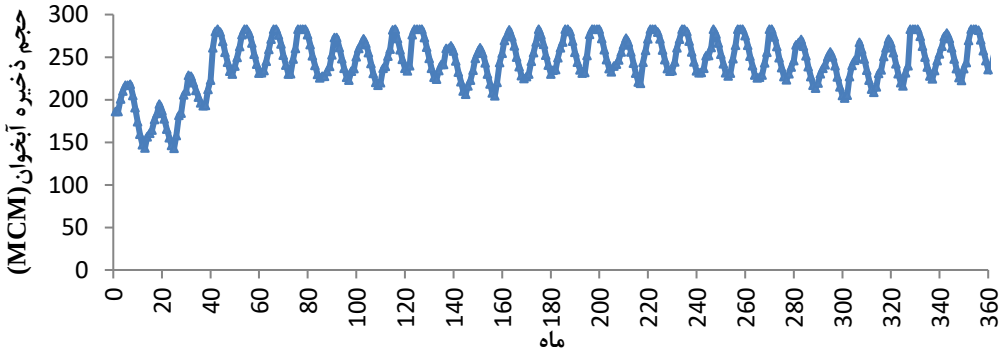
در این سناریو انتقال آب از سولگان با ارقام مختلف سالانه در نظر گرفته شده است و میزان حداکثر افزایش سطح زیرکشت در هر انتقال به گونه‌ای که دشت دچار کم‌آبی نگردد مورد بررسی قرار گرفته است. در تمامی این موارد درصد تامین آب کلیه اراضی کشاورزی اعم از موجود و توسعه، در سطح ۸۵ درصد (یعنی پذیرش ۱۵ درصد کم‌آبیاری) حفظ گردیده است. با توجه به اینکه خروجی‌های بدست آمده بسیار مفصل و زیاد بود، لذا سعی شد نتایج حاصله در یک نمودار مفید جمع‌بندی شود. لذا نمودار شکل ۶ تهیه شد. براساس این نمودار می‌توان دریافت که در صورت انتقال کامل آب سولگان به خان‌میرزا (یعنی انتقال رقم ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال) می‌توان علاوه بر حفظ پایدار کشاورزی در وضع موجود و تعادل بخشی آبخوان خان‌میرزا، میزان سطح زیر کشت اراضی را تا ۲۱۰۰۰ هکتار توسعه داد. در چهار حالت انتقال با حجم‌های ۱۰۰، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال میزان حجم ذخیره آبخوان در طول دوره شبیه‌سازی در نمودار شکل‌های ۷ تا ۱۰ قابل مشاهده است.



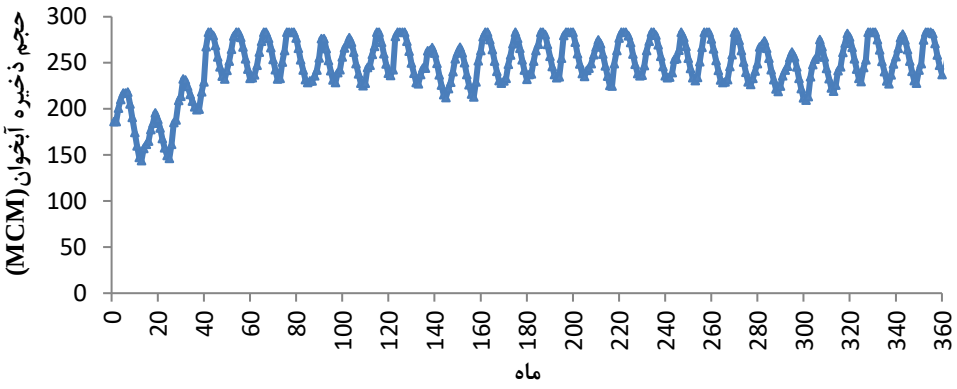
شکل ۶: مساحت اراضی قابل توسعه در مقادیر مختلف آب انتقالی از رودخانه سولگان به خان‌میرزا



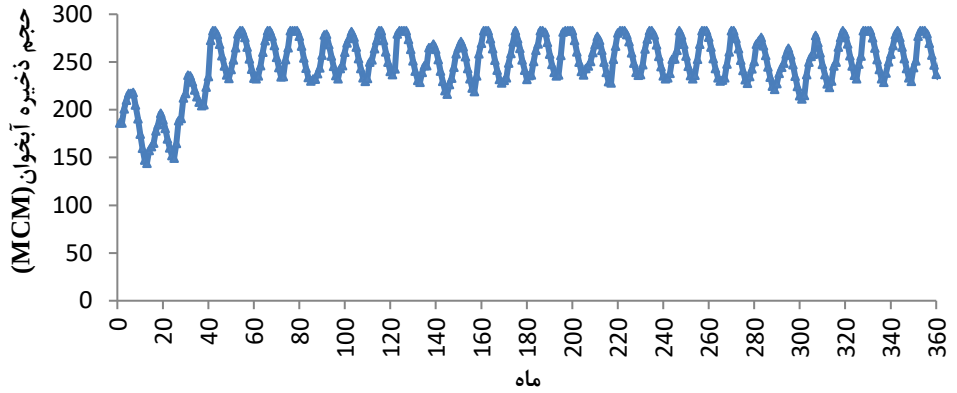
شکل ۷: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری
(S-2 با انتقال سالانه MCM ۱۰۰و افزایش سطح زیر کشت به ۱۳۰۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



شکل ۸: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری (S-2 با انتقال سالانه MCM ۱۵۰و افزایش سطح زیر کشت به ۱۶۰۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



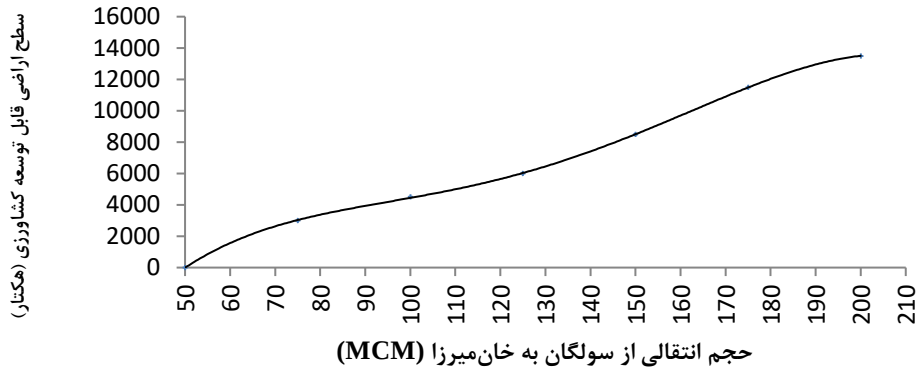
شکل ۹: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری
(S-2 با انتقال سالانه MCM ۱۷۵و افزایش سطح زیر کشت به ۱۷۵۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



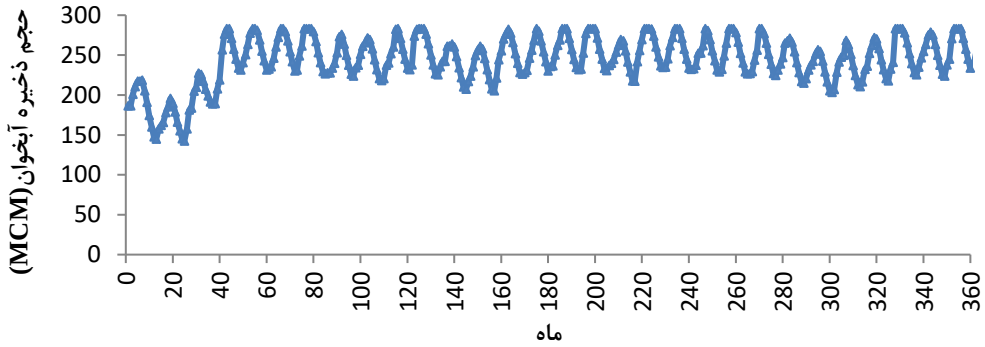
شکل ۱۰: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری
(S-2 با انتقال سالانه MCM ۲۰۰ و افزایش سطح زیر کشت به ۲۲۰۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷

سناریوی S-3

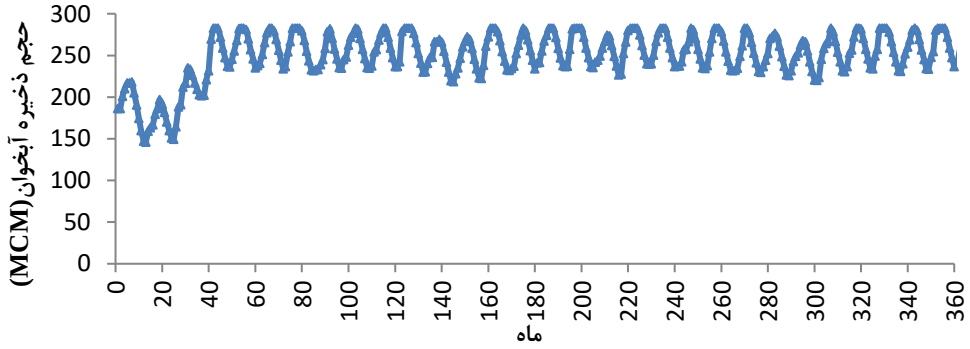
در این سناریو مدل با ظرفیت‌های مختلف انتقال آب به دشت خان‌میرزا و سطوح مختلف توسعه کشاورزی در منطقه (که برآورد شده است کل پتانسیل اراضی مستعد کشاورزی منطقه بالغ بر ۶۰۰۰۰ هکتار باشد) اجرا گردید. در تمامی این موارد فرض شده کلیه اراضی کشاورزی (اعم از وضع موجود و توسعه) تحت پوشش آبیاری تحت فشار باشد و درصد تامین آب کلیه اراضی کشاورزی اعم از موجود و توسعه، در سطح ۸۵ درصد (یعنی پذیرش ۱۵ درصد کم‌آبیاری) حفظ گردیده است. همانند سناریوی S-2 نتایج حاصله در یک نمودار مفید جمع‌بندی شد. لذا نمودار شکل ۱۱ تهیه شد. براساس این نمودار می‌توان دریافت که در صورت انتقال کامل آب سولگان به خان‌میرزا (یعنی انتقال رقم ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال) و اجرای کامل طرح آبیاری تحت فشار می‌توان علاوه بر تعادل بخشی آبخوان خان‌میرزا، میزان سطح زیر کشت اراضی را تا ۲۶۰۰۰ هکتار توسعه داد. در چهار حالت انتقال با حجم‌های ۱۰۰، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال میزان حجم ذخیره آبخوان در طول دوره شبیه‌سازی در نمودار شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ قابل مشاهده است.



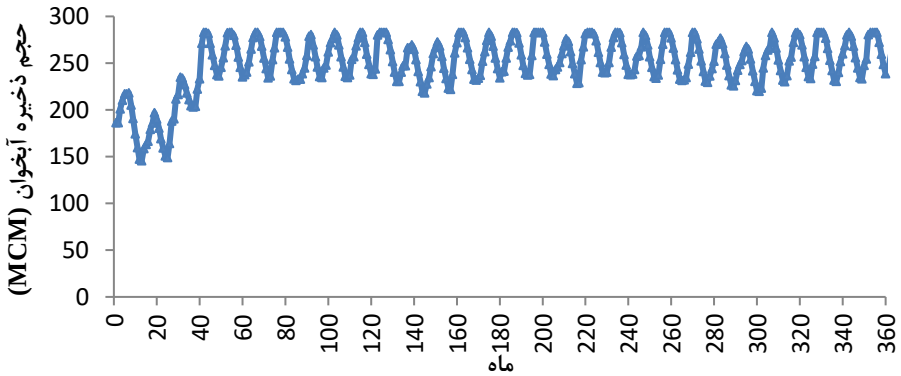
شکل ۱۱: مساحت اراضی قابل توسعه در مقادیر مختلف آب انتقالی از رودخانه سولگان به خان‌میرزا همراه با اجرای طرح آبیاری فشار



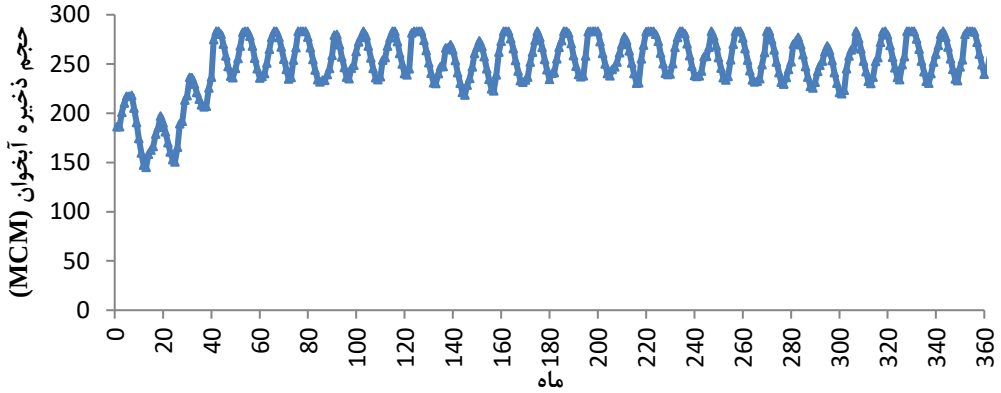
شکل ۱۲: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری
(S-3 با انتقال سالانه mcm ۱۰۰ و افزایش سطح زیر کشت به ۱۷۰۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



شکل ۱۳: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری
(S-3 با انتقال سالانه MCM ۱۵۰و افزایش سطح زیر کشت به ۲۱۰۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



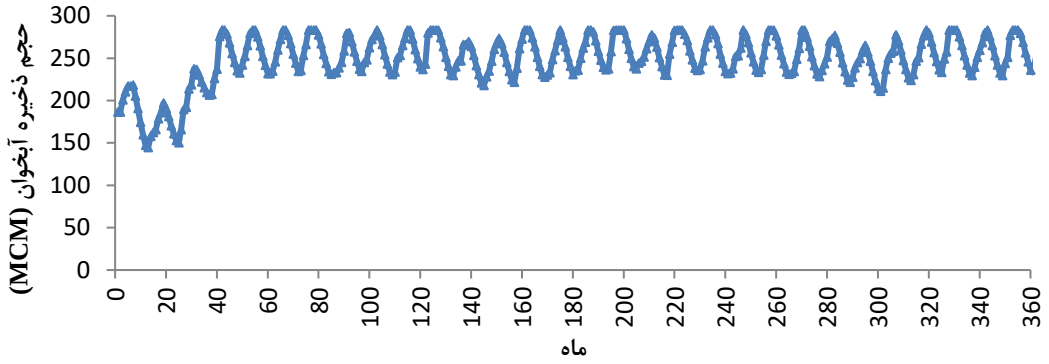
شکل ۱۴: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری (S-3 با انتقال سالانه MCM ۱۷۵و افزایش سطح زیر کشت به ۲۳۰۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷



شکل ۱۵: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری (S-3 با انتقال سالانه MCM ۲۰۰ و افزایش سطح زیر کشت به ۲۶۰۰۰ هکتار) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷

سناریوی S-4

در این سناریو که آخرین سناریو است، فرض شده است که کلیه اقدامات مدیریت عرضه و تقاضای آب برای توسعه پایدار به انجام برسد. این اقدامات شامل تغذیه متوسط ۱۰ میلیون مترمکعب در سال آب به دشت خان‌میرزا، اجرای کامل طرح انتقال آب از سولگان به خان‌میرزا (اجرای طرح ونک) و اجرای کامل سیستم‌های آبیاری تحت فشار برای رساندن راندمان دشت به ۶۵ درصد است. در صورت انتقال کامل آب سولگان به خان‌میرزا (یعنی انتقال رقم ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال) و اجرای کامل طرح آبیاری تحت فشار و اجرای طرح تغذیه مصنوعی سالیانه ۱۰ میلیون مترمکعب می‌توان میزان سطح زیرکشت اراضی را تا ۳۰۰۰۰ هکتار توسعه داد. نتایج حاصل از اجرای سناریو در نمودار شکل ۱۶ قابل مشاهده است.



شکل ۱۶: تغییرات ذخیره آبخوان دشت خان‌میرزا در دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری (S-4) از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۴۱۷

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها حاکی از این است که بیش‌ترین تاثیر بروز خشک‌سالی‌های اخیر در رطوبت‌سطحی خاک، آب‌های زیرزمینی و رواناب‌های سطحی حوضه ظاهر شده است. بررسی‌هایی که در مورد چنین متغیرهای وابسته به تغییرت اقلیمی صورت گرفته، نشان می‌دهد که افزایش میزان تهی‌شدن آب‌های زیرزمینی ناشی از وقوع خشک‌سالی‌های اخیر، در قسمت‌های مختلف حوضه به شدت ظاهر گردیده است. میزان کمبود آب در خاک سطوح مختلف حوضه به تبعیت از تهی‌شدن آب‌های زیرزمینی و افت سطح آن‌ها، قابل ملاحظه است. این کمبود در سال‌های کم‌آبی بسیار شدت گرفته و گاه طول سال را نیز در برمی‌گیرد. در بخش‌های غربی حوضه، شدت کمبود کم‌تر بوده است. بررسی رطوبت خاک با استفاده از داده‌های دراز مدت هواشناسی حاکی از این است که در بخش‌های شمالی حوضه از سال ۱۹۷۸ از میزان رطوبت در خاک کاسته شده است. اگر مقدار Ws (رطوبت خاک) از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۷۵ یا مقادیر سال‌های اخیر مقایسه شود، روند کاهش مقدار رطوبت به تبعیت از خشک‌سالی‌های اخیر مشخص خواهد شد. وضعیت در بخش غربی حوضه تاحدی متفاوت‌تر از بخش‌های شمالی است. در این محدوده، رطوبت خاک در ماه ژانویه در ده سال اخیر برخلاف سال گذشته، افزایش یافته است. میزان جریانات سطحی حوضه نیز با توجه به مقادیر حاصل از برآورد با شاخص جریان سطحی، حاکی از این است که در طول سال میزان جریان سطحی با توجه به مقادیر تبخیر و بارش در سطح حوضه، بسیار ناچیز است و روند جریان سطحی، یک روند کاهشی در ۲۰ سال اخیر بوده است. بررسی‌های میدانی حاکی از این است که شکل‌گیری بعضی از اشکال ژئومورفولوژیکی، مانند فرسایش سطحی در سطوح دامنه‌ها، ایجاد و رشد خندق‌ها و وقوع لغزش‌ها، در ارتباط مستقیم با تغییر در ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه بوده است. در محدوده مورد مطالعه، وقوع لغزش در دامنه‌های مشرف به بستر رودخانه در سال‌های اخیر، به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است، که یکی از دلایل عمده آن برچیده شدن پوشش گیاهی از سطوح دامنه‌ها است. وقوع لغزش‌ها موجب انباشت مواد دامنه‌ای درکناره بستر جریان دره‌ها و در نهایت با ورود به جریانات سطحی در مواقع پرآب، موجب افزایش بار رسوبی جریانات سطحی شده است. بیش‌تر

زمین‌های تحت کشت درحوضه مورد مطالعه، یا در سطوح شیب‌دار مشرف به دره‌ها و یا در سطوح دشت‌های سیلابی و یا در جوار دیواره‌های پرشیب دره‌ها قرار گرفته‌اند.

منابع

Duan, K. and Mei, Y. (2014). Comparison of Meteorological, Hydrological and Agricultural Drought Responses to Climate Change and Uncertainty Assessment. Water Resources Management, 28 (14), pp: 5039-5054.

Hamlat, A., Errih, M. and Guidoum, A. (2012). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. Arabian Journal of Geosciences, 6 (7), pp: 1–12.

Harma, K. J., Johnson, M. S. and Cohen, S. J. (2012). Future water supply and demand in the Okanagan Basin, British Columbia: A scenario-based analysis of multiple, interacting stressors. Water Resources Management, 26 (3), pp: 667–689.

Hoff, H., Bonzi, C., Joyce, B. and Tielbörger, K. (2011). A water resources planning tool for the Jordan River Basin. Water, 3 (3), pp: 718–736.

Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C. N., Yong, B., Shafer, M. A., Riley, R. and Hocker, J. E. (2012). Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin, Oklahoma. Water Resources Management, 26 (10), pp: 2761–2779.

Loukas, A., Vasiliades, L. and Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity. Advances in Geosciences, 17 (17), pp: 23–29.

Rabani far, M., Tizro, T. and Kamali, M. (2016). Simulation of groundwater resources supply and demand by applying WEAP model in tuyserkan plain. iranian journal of irrigation and drainage, 10 (2), pp:187–198

Rahiz, M. and New, M. (2013). Does a rainfall-based drought index simulate hydrological droughts International Journal of Climatology, 34 (9), pp: 2853–2871.

Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A. and Farid, A. (2013). Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrood basin). Meteorological Applications, 20 (1), pp: 115–127.

Tabari, H., Nikbakht, J. and Talaee, P.H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). Water Resources Management, 27 (1), pp: 137–151.

Vasiliades, L. and Loukas, A. (2006). Hydrological drought evaluation with the use of meteorological drought indices. Paper presented at the Geophysical Research Abstracts.

Simulation and Detecting Streamflow Fluctuations using Weap Model

Armin Bani Bayat[1], Hossein Ghorbanizadeh Kharazi[2*], Hossein Eslami[3], Saeb Khoshnavaz[4], Behrooz Dahanzadeh[5]

1) PhD Student, Department of Civil Engineering Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
2) Assistant Professor, Department of Civil Engineering Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
3) Assistant Professor, Department of Civil Engineering Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
4) Assistant Professor, Department of Civil Engineering Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
5) Department of Civil Engineering Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

***Correspondence author**: .ghorbanizadeh@gmail.com

Received Data: 2021. 06. 11 **Accepted Data: 2021. 08.04**

Abstract

In This study the need for water transferring in different levels of agricultural development was investigated in the form of a water transfer plan from Sulgan (Vanak) to Khanmirza. In all the scenarios of this group in weap model, implementation of the water transfer plan from Sulgan to Khanmirza Plain (Vanak Dam Project) is considered. Scenarios include implementing an artificial recharge plan as well as increasing the area under cultivation and irrigation efficiency to balance the Khanimarza plain. The results of the first scenario showed that to balance the groundwater, at least 45 million cubic meters of water must be transferred from Sulgan to Khanmirza Plain annually. The results of the second scenario indicated that if Sulgan water is fully transferred to Khanmirza, the area under cultivation can be increased up to 21000 hectares. The results of the third scenario showed that if Sulgan water is fully transferred to Khanmirza and the a pressurized irrigation plan is fully implemented, in addition to the balance of Khanmirza Aquifer, the area of the lands under cultivation can be developed up to 26000 hectares. Furthermore, the fourth scenario indicated that if Sulgan water is fully transferred to Khanmirza (i.e. transferring 200 million cubic meters of water per year) and pressurized irrigation is completely implemented as well as artificial nutrition plan of 10 million cubic meters per year, the area under cultivation can be developed up to 30000 hectares.

Keywords: Drought, Streamflow, Area under Cultivation, Artificial Recharge Plan, Water Transfer irrigation efficiency