Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۲۴۲-۲۳۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 232-242

تأثیر شاخص‌های بارندگی روی مصرف منابع آب زیرزمینی و الگوی کشت (مطالعه موردی: دشت شبستر از حوزه دریاچه ارومیه)

جواد حسین‌زاد[۱]، آمنه سرباز[۲]، محمدعلی قربانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۷

چکیده

منابع آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تولیدی در فعالیت‌های کشاورزی محسوب می‌شود. برداشت بی‌رویه از منابع آب‌زیرزمینی و بروز شرایط نامساعد آب و هوایی و تداوم آن، چالش‌های مهمی را در مدیریت منابع آب به وجود آورده‌است. بر این اساس تجدیدنظر در مدیریت منابع آب امری ضروری است. دشت شبستر از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی محسوب می‌شود که با برداشت بی‌رویه آب و بحران منابع آبی مواجه شده است. با توجه به این‌که بارندگی مهم‌ترین عامل در تغذیه منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد، بنابراین در مطالعه حاضر سعی شده‌است که با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی پویا تاثیر شاخص‌های بارندگی روی حجم و مصرف آب‌زیرزمینی و الگوی کشت دشت شبستر در افق زمانی ۱۰ ساله از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵بررسی شود. نتایج نشان داد که شاخص بارش استاندارد ۴۸ ماهه (SPI48) با شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) و ارتفاع سفره آب زیرزمینی همبستگی بالایی داشته و تعیین ارتفاع پمپاژ آب براساس شاخص SPI48 موجب بهبود بیلان آبخوان می‌گردد. در وضعیت بهره‌برداری فعلی بیلان منفی آبخوان حدود ۱۰/۴۴میلیون مترمکعب در سال است که با برداشت بهینه بیلان منفی آبخوان به مقدار ۸/۰۶ میلیون مترمکعب و در شرایط نرمال تنزل می‌یابد. اگر برداشت بهینه آب متناسب با شرایط آب و هوایی انجام بگیرد در شرایط خشک‌سالی و نرمال بیلان منفی به ترتیب حدود ۹ و ۶ میلیون مترمکعب خواهدبود. در شرایط ترسالی بیلان مثبت شده و حدود ۱۰ میلیون مترمکعب به حجم آبخوان اضافه می‌شود. سطح زیرکشت محصولات گندم، جو و انگور در شرایط خشک‌سالی افزایش یافته و سطح زیرکشت محصولات پرآب مانند گوجه‌فرنگی و یونجه کاهش می‌یابد. کاهش استخراج و مصرف آب با بکارگیری تکنولوژی‌های آبیاری آب‌اندوز و اعمال قیمت‌های مناسب برای محصولات کم‌آب از راهکارهای اساسی ترمیم سفره آب‌های زیرزمینی در منطقه شبستر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استحصال آب زیرزمینی، شاخص بارش استاندارد، فعالیت‌های کشاورزی، منابع آب زیرزمینی، مدل برنامه‌ریزی پویا

مقدمه

تغییر شرایط آب و هوایی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی در جهان امروز است. از جمله تاثیرات مهم این پدیده غیریکنواختی توزیع بارش، گسترش خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها و در نهایت تاثیر منفی بر منابع آب در سطح جهان است. چرا که بالا رفتن درجه حرارت منجر به افزایش تقاضا برای آب کشاورزی به جهت تبخیر فراوان می‌گردد. از جمله پیامدهای این امر کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و کاهش منابع آب خواهد شد. براین اساس تغییر شرایط آب و هوایی برکمیت و کیفیت منابع آب تاثیرگذاشته و نیاز بخش‌های صنایع، کشاورزی و تامین آب شرب را تحت تاثیر خود قرار می دهد. بنابراین ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد (امیری یاراحمدی، ۱۳۸۸). بطوری‌که ابتدا خشک‌سالی هواشناسی اتفاق می‌افتد، خشک‌سالی هواشناسی می‌تواند به کمبود رطوبت خاک منجر شده و تولید کشاورزی را کاهش دهد و به این طریق منجر به خشک‌سالی کشاورزی گردد (علوی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰). با ادامه خشک‌سالی هواشناسی، خشک‌سالی هیدرولوژیکی[۴] که از مهم‌ترین انواع خشک‌سالی است اتفاق می‌افتد و باعث افت سطح آب‌ها بخصوص آب‌های زیرزمینی به پایین‌تر از میانگین بلندمدت می‌شود. خشک‌سالی هیدرولوژیکی و نبود آب برای کشاورزی، باعث کاهش سطح زیرکشت و تولید محصولات زراعی می‌گردد و زندگی جوامع مختلف را تحت تاثیر قرار می‌دهد (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). در واقع کاهش بارش و نوسانات شدید آن سبب عدم اطمینان جهت

۱- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(* - نویسنده مسئول: (Email: J.hosseinzad@tabrizu.ac.ir

۴- به کمبود جریان آب سطحی و زیرزمینی نسبت به شرایط نرمال اطلاق می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

دریافت حداقل بارش موردنیاز جهت مصارف کشاورزی، تامین جریان‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شود. بر این اساس پدیده‌های هواشناسی مانند بارش از عوامل موثر در نوسانات سطح آب‌زیرزمینی می‌باشد (Todd., 1980). در نتیجه با استفاده از اطلاعات خشک‌سالی هواشناسی می‌توان تا حدود زیادی وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک را پیش‌بینی کرد و نسبت به بهبود شرایط و مدیریت واقعه‌ی پیش‌رو برنامه‌ریزی جامع و کاملی داشت. چرا که عمده خسارات خشک‌سالی از هر جنبه آن در نهایت در بخش کشاورزی نمود پیدا می‌نماید.

با توجه به محدودیت منابع آبی بین توان تامین آب و شدت تقاضا در جهان خلایی وجود دارد که بحران آفرین است. این وضعیت برای ایران نیز که در کمربند خشک آب و هوایی جهان قرار دارد، هشدار دهنده‌تر است (حسین‌زاد و همکاران، ۱۳۹۰). کشور ایران از نظر بارندگی یک سوم متوسط جهانی و تبخیر سه برابر متوسط جهانی در رتبه ۸۴ دنیا قرار دارد (نجفی علمدارلو و همکاران، ۱۳۹۲). از طرف دیگر پراکندگی نامتناسب زمانی و مکانی ریزش‌های جوی و عدم تطابق آن با نیازهای کشاورزی و زمان‌های پرمصرف آبی مشکل را حادتر می‌کند (حسین‌زاد و همکاران، ۱۳۹۰). این شرایط موجب تشدید کمبود آب به‌ویژه منابع آب سطحی می‌شود. درنتیجه با کاهش منابع آب سطحی، مازاد تقاضا برای آب از طریق پمپاژ آب‌های زیرزمینی جبران می‌شود. بنابراین منابع آب زیرزمینی علاوه بر افزایش عرضه آب، نقش تثبیت‌کننده عرضه آن را نیز ایفا می‌کند. (سلطانی و زیبایی، ۱۳۹۰). از این رو منابع آب زیرزمینی به عنوان منبعی مهم و مطمئن برای تامین آب مصرفی در کلیه بخش‌های اقتصادی بخصوص بخش کشاورزی اهمیت خاصی پیدا می‌کند (باریکانی و همکاران، ۱۳۹۱).

کشاورزی ایران به میزان زیادی وابسته به استحصال آب زیرزمینی می‌باشد، اما برداشت بیش از حد مجاز، این منابع را با خطر جدی تخریب مواجه کرده است، بطوری‌که سالانه ۴/۸ میلیارد مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در سطح کشور وجود دارد (وزارت نیرو، ۱۳۸۷). از سوی دیگر زیاد شدن تعداد چاه‌های کشور میزان تخلیه آب از منابع زیرزمینی را فزون‌تر نموده است. بررسی تغییر حجم آبخوان‌ها از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که بطور متوسط در هر سال حدود ۲۰۶۵ میلیون مترمکعب در آبخوان‌ها کاهش حجم وجود داشته است، هم‌چنین تغییرات سطح آب زیرزمینی در همین سال‌ها نشان‌دهنده حدود ۴۰ سانتی‌متر افت در هر سال می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

از واقعیت‌های مهم در بیش‌تر دشت‌های کشور با توجه به شرایط آب و هوایی این است که اگر بهره‌برداران مقدار استخراج خود را از آب‌های زیرزمینی کاهش ندهند، امکان دارد که کل فعالیت‌های کشاورزی مناطق به خطر افتد. درنتیجه بایستی همکاری‌ها در جهت کاهش در استخراج تقویت شده و مقدار استخراج هر بهره‌بردار به مقدار پایه آن[1] کاهش یابد تا پایداری منبع حفظ شود. در غیر این‌صورت برداشت بیش از حد منابع آبی و عدم مدیریت صحیح آن‌ها از یک طرف موجب بروز ضررهای هنگفتی در بخش‌های مختلف بخصوص بخش کشاورزی شده و از سوی دیگر با کاهش سطح ایستابی آب، هزینه‌های استحصال نیز افزایش خواهند یافت (نجفی علمدارلو و همکاران، ۱۳۹۲). چون بیش‌ترین میزان مصرف آب در بخش کشاورزی صورت می‌گیرد، بنابراین مدیریت صحیح آب در بخش کشاورزی ایران ضرورت بیش‌تری پیدا می‌کند. دشت شبستر در استان آذربایجان‌شرقی از جمله مناطقی است که با مشکلات کاهش بارش و برداشت بی‌رویه آب از منابع زیرزمینی مواجه است. حدود ۹۰ درصد از منابع آب زیرزمینی دشت شبستر به مصارف آب کشاورزی و به ترتیب ۸ و ۲ درصد دیگر آن، به بخش‌های شرب و صنعت اختصاص داده شده است. اطلاعات بیلان آب زیرزمینی منطقه نیز نشان دهنده کاهش سالانه حدود ۱۰/۴۴ میلیون مترمکعب حجم سفره می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان‌شرقی، ۱۳۹۴). براین اساس بهبود مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی دشت شبستر می‌تواند کمک شایانی در بهبود وضعیت نابسامان سفره آب زیرزمینی این منطقه داشته باشد.

مطالعات اولیه درباره مدیریت آب زیرزمینی از مدل‌های هیدرولوژیکی ساده شروع شده و از سال ۱۹۶۰ با پیشرفته‌تر شدن مدل‌های هیدرولوژیکی، از برنامه‌ریزی پویا به عنوان ابزاری برای مدیریت و مدل‌سازی منابع آب استفاده شده است. از مطالعات اولیه در این مورد می‌توان به مطالعه بارت (Burt., 1964 and 1966)، براون (Brown., 1974) و براون و داکن (Brown and Deacon., 1972) و سهمیه‌بندی و حقوق مالکیت پروونچر (Provencher., 1993) اشاره نمود که اهدافی چون حداکثرسازی رفاه اجتماعی، حداکثرسازی بازده فعالیت‌های کشاورزی و حداقل‌سازی هزینه‌های مربوط به برداشت آب را دنبال نمودند. در سال‌های اخیر نیز محققین زیادی از مدل‌های برنامه‌ریزی پویا در مطالعات مربوط به مدیریت منابع آب استفاده کردند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

حسین‌زاد و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی استفاده بهینه از منابع آب با استفاده از مدل کنترل بهینه پرداخته و مسیر بهینه استخراج آب از منبع زیرزمینی را در منطقه عجب‌شیر مشخص نمودند. نتایج نشان داد که حدود ۳۶ سال طول می‌کشد تا ارتفاع سطح آب در سفره زیرزمینی بالا آمده و در سطح ایستابی بهینه خود قرار گیرد. نادریان‌فر و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از شاخص SPI[2] به بررسی اثرات بارندگی و شرایط اقلیمی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی پرداختند.

۱- شرایطی که در آن آب استخراج شده با میزان تغذیه طبیعی سفره برابر باشد.

2- Standardized Precipitation Index

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد که SPI با مقیاس زمانی بلندمدت ۴۲ ماهه از همبستگی بیش‌تری با سطح آب زیرزمینی دشت برخوردار است. حسین‌زاد و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویا تاثیر کاهش منابع آب زیرزمینی روی درآمد و الگوی کشت در محدوده حوزه آبریز ارومیه را بررسی کردند. ایشان تاثیر سناریوهای مختلف از جمله تغییرات اقلیمی را بر مصرف آب، الگوی کشت و درآمد مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که با بهبود شرایط اقلیمی مقدار آب مصرفی افزایش پیدا کرده و الگوی کشت از محصولات با نیاز آبی پایین به سمت محصولات با نیاز آبی بالا متمایل می‌گردد. پیترز و همکاران نشان دادند که کمبود بارندگی در سراسر سیستم هیدرولوژیکی باعث می‌شود که خشک‌سالی در بخش‌های مختلف سیستم هیدرولوژیکی رخ دهد. هم‌چنین خشکسالی‌های هواشناسی باعث کاهش سطح آب زیرزمینی می‌گردد (Peters et al., 2005). ویلیز و همکاران اثرات اقتصادی و سطح استفاده از آب‌های زیرزمینی را تحت تغییرات اقلیم با استفاده از مدل سیاست آب به همراه مدل بهینه‌سازی اقتصاد پویا در آبخیز اوگاللا[1] بررسی کردند. نتایج نشان داد در حالت وجود سناریوهای تغییر اقلیم، بازده اقتصادی با وجود ادامه استخراج آب‌های زیرزمینی نسبت به وضعیت موجود کاهش خواهد یافت (Willis et al., 2014). از دیگر مطالعات در زمینه شرایط آب و هوایی و پایداری منابع آب می‌توان به مطالعات میهن‌خواه و همکاران (۱۳۹۱)، شمس الدینی و همکاران (۱۳۹۲)، زیبایی و همکاران (۱۳۹۲)، شیرزادی و صبوحی صابونی (۱۳۹۳)، نجفی علمدارلو و همکاران (۱۳۹۳)، پروونچر و بارت (Provencher and Burt., 1994)، ایجاز قریشی و همکاران (EjazQureshi et al., 2006)، خان و همکاران (Khan et al., 2008)، شهید و هازریکا (Shahid and Hazarika., 2009) و مدلین و همکاران (Medellin et al., 2011) اشاره نمود که با انجام مطالعات مشابه نتیجه گرفتند که بروز خشک‌سالی‌ها و افت منابع آب‌زیرزمینی به طور عمده مربوط به کاهش بارندگی‌ها و برداشت بیش از حد مجاز منابع آبی در رابطه با کشاورزی می‌باشد.

بنابر اهمیت موضوع و بروز خشک‌سالی‌های متعدد در مناطق مختلف ایران بر همین اساس در مطالعه حاضر سعی شده است تاثیر شاخص‌های بارندگی روی الگوی کشت و درآمد کشاورزان در دشت شبستر که از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی در حوزه دریاچه ارومیه بوده و به دلیل وضعیت بحرانی آن جزو دشت‌های ممنوعه کشور به شمار می‌رود، مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. آمار و اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی فراهم شد. با توجه به این موارد، استفاده از رهیافت برنامه ریزی پویا به عنوان ابزاری مهم و قوی برای مطالعات مربوط به مدیریت منابع آب زیرزمینی قابل توجیه بوده و در سال های اخیر جایگاه خاصی در ادبیات اقتصادی پیدا کرده است.

مواد و روش‌ها

ماهیت تغذیه و استحصال منابع آب زیرزمینی بگونه‌ای است که زمان نقش مهمی را در آن ایفا می‌کند. بنا بر ادبیات موضوع در چنین مواردی استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی پویا به عنوان ابزاری کارآمد و قوی برای مطالعات مربوط به مدیریت منابع آب زیرزمینی قابل توجیه بوده و بهتر می‌تواند رفتار منابع آب زیرزمینی را نشان دهند. بنابراین در مطالعه حاضر نیز سعی شد که از یک الگوی برنامه‌ریزی پویای مناسب برای نیل به اهداف تحقیق بهره گرفته شد. شاخص‌های متعددی مانند بارش استاندارد، درصد نرمال، Z نرمال شده و شاخص منبع آب زیرزمینی وجود دارد که هر کدام از جنبه‌های مختلف ارتباط بین شرایط آب و هوایی و حجم منابع آب زیرزمینی را نشان می‌دهند.

شاخص بارش استاندارد (**SPI**): این شاخص براساس ارتفاع بارش تجمعی (R_{ik}) برای دوره مبنای (k) مربوط به سال هیدرولوژیکی (i) به صورت رابطه ۱ فرموله می‌شود.

$$SPI_{ik} = {(R_{ik} - \overline{R}_k)}/{S_k} \quad , \quad i = 1,2,... \ , \ k = 1,2,3,.... \qquad (۱)$$

در رابطه فوق $\overline{R_k}$ و S_k به ترتیب میانگین و انحراف معیار ارتفاع بارش برای دوره مبنای(k) می‌باشد. جدول ۱ طبقه‌بندی حالت-های مختلف خشک‌سالی و ترسالی را به روش شاخص بارش استاندارد نشان می‌دهد (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

شاخص درصد نرمال(**PN**[2]): این شاخص به صورت رابطه ۲ نشان داده می‌شود که بارش تنها عامل موردنیاز جهت محاسبه آن می‌باشد.

$$PN = \frac{P}{\overline{P}} \times 100 \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، PN شاخص درصد نرمال، P بارش و $\overline{P}$ متوسط بارش دوره می‌باشد (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۸).

شاخص Z-Score(ZSI[3]): این شاخص به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌گردد که در آن، x_{km} بارندگی ماه m برای دوره k، $\overline{x}_{km}$ و s_k به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی موردنظر می‌باشد (ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱).

$$ZSI_{km} = (x_{km} - \overline{x}_{km}) / s_k \qquad (۳)$$

1- Ogallala

2- Percent of Normal

3- Z-Score Index

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- طبقه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی به روش SPI

وضعیت	ترسالی بسیارشدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	تقریبا نرمال	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	خشک‌سالی بسیارشدید
مقدار SPI	۲ ≤	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱ تا ۱/۴۹	۰/۹۹- تا ۰/۹۹	۱- تا ۱/۴۹-	۱/۵- تا ۱/۹۹-	۲- ≥

شاخص منبع آب زیرزمینی([1] **GRI**): این شاخص کـه بـه صـورت رابطه ۴ نشان داده می‌شود برای بررسی وضعیت هیدرولوژیکی مـورد استفاده قرار می‌گیرد. در رابطه ۴ $h_{y,m}$ ارتفاع آب زیرزمینی در سـال y و ماه m، $\mu_{h,m}$ و $\sigma_{h,m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیـار ارتفـاع آب زیرزمینی در ماه m می‌باشد. طبقه‌بندی این شـاخص مشـابه SPI می‌باشد (یاسمنی و همکاران، ۱۳۹۲).

$$GRI_{y,m} = (h_{y,m} - \mu_{h,m}) / \sigma_{h,m} \quad (۴)$$

به منظور بررسی شدت وابستگی بین شاخص‌های آب و هوایی و کمیت آب‌های زیرزمینی، از ضریب همبستگی بین فراسنج‌های کمیت آب زیرزمینی (میانگین ارتفاع سـطح سـفره آب زیرزمینـی و شـاخص GRI) با شاخص‌های آب و هوایی در مقیاس‌های زمانی مختلـف، بـه صورت رابطه ۵ استفاده می‌گردد (Khan et al., 2008).

$$\rho_{hID} = \frac{Cov(h,ID)}{\sigma_h \sigma_{ID}} \quad (۵)$$

در رابطه فوق، ρ_{hID} بیانگر ضریب همبستگی بین شـاخص آب و هوایی (ID) و ارتفاع سفره آب زیرزمینی (h) بوده و σ_{ID} انحـراف معیـار شـاخص آب و هـوایی، σ_h انحـراف معیـار ارتفـاع سـفره آب زیرزمینی و Cov نماد کوواریانس می‌باشد.

برای بررسی چگونگی ارتباط بین مقدار آب زیرزمینـی و شـاخص آب و هوایی از برآورد تابع رگرسیونی بـه صـورت رابطـه ۱۴ اسـتفاده می‌شود. دراین تابع ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی به عنـوان متغیـر وابسته تابعی از شاخص آب و هوایی به عنوان متغیر مسـتقل در نظـر گرفته می‌شود. تابع برآورد شده به‌عنـوان محـدودیت آب و هـوایی در مدل برنامه‌ریزی پویا وارد می‌گردد.

مدل برنامه‌ریزی پویا[2]

مدل برنامه‌ریزی پویا روشی عمـومی بـرای بهینـه‌سـازی فرآینـد تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای است. این رهیافت به صـورت گسـترده در بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آب استفاده می‌شود. در برنامه‌ریزی پویا، وضعیت یک سیسـتم در هـر لحظـه از زمـان، مسـتقل از گذشـته آن نیست و هم‌چنین وضـعیت فعلـی آن، تعیـین کننـده وضـعیت آینـده سیستم است. بنابراین با یک پیوستگی زمانی مواجه‌ایم. فـرم عمـومی مدل‌های پویا به صورت رابطه ۶ نشان داده می‌شود.

$$Max \int_0^T [B(R_t) - C(R_t, S_t) e^{-rt}] dt \quad (۶)$$

$$s.t:$$

$$\frac{ds}{dt} = G(S_t) - R_t$$

$$C_R \succ 0 \ , \ C_S \prec 0$$

در رابطه فوق، S نشان‌دهنده متغیر ذخیره و R متغیر بهره‌بـرداری می‌باشد. هم‌چنین $B(R_t)$ عایدی و $C(R_t, S_t)$ هزینه‌هـای کـل دوره و $G(S_t)$ نشان دهنده تابع رشد منبع آب زیرزمینـی اسـت. در این حالت هدف، حداکثرسازی منافع خالص تنزیل شده در دوره زمانی محدود، با توجه به محدودیت رشد منبع است (Bellman., 1961).

الگوی تجربی

تبیین مدل صحیح برای هر منطقه مستلزم شناخت دقیق اهـداف و محدودیت‌های مطالعه می‌باشد. با درنظر گـرفتن ایـن مـوارد بـرای منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضـر (دشـت شبسـتر)، چـارچوب کلـی الگوی تجربی برنامه‌ریزی پویا به صورت روابط ۷ تا ۱۴ تبیـین مـی-گردد.

$$MaxZ = \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{I} \rho^t \cdot [\{(P_{it} Y_{it} - C_{it}) - P_{WG} W_G - P_{WS} W_S\} A_{it}] \quad (۷)$$

$$\sum_{i=1}^{I} A_{it} \le TA_t \quad (۸)$$

$$MinA_t \le A_{it} \quad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^{I} WR_{it} A_{it} \le SW_t + GW_t \quad (۱۰)$$

$$\mp \Delta S_{t+1} = S_{t+1} - S_t = R_t - W_t \quad (۱۱)$$

$$W_t = \sum_i A_{it} . AW_i + D_t \quad (۱۲)$$

$$\Delta h_{t+1} = (\pm \Delta S_{t+1}) * \tfrac{1}{X.q} \quad (۱۳)$$

$$h_{m,t} = \alpha + \beta ID \quad (۱۴)$$

1- Groundwater Resource Index
2- Daynamic Programming

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه ۷ تابع هدف الگو را کـه بیـانگر حداکثرسـازی ارزش حـال بازده ناخالص حاصل از فعالیت‌هـای عمـده کشـاورزی منطقـه مـورد مطالعه (برحسب ریال) است را در طـول افـق برنامـه‌ریـزی ۱۰ سـاله نشان می‌دهد. در این رابطه، t بیانگر سال، i بیانگر نوع نـام محصـول (محصولات زراعی شامل گندم، جو، آفتاب‌گردان، پیاز، گوجـه‌فرنگـی، خیار و یونجه بوده و محصولات باغی شامل سیب، هلو، زردآلو، انگور، بادام و گردو می‌باشد)، ρ^t عامل تنزیل است که معـادل $(1+r)^{-t}$ بوده و r هم نرخ تنزیل می‌باشد که در مطالعه حاضر ۲۰ درصد منظور شده است، P قیمت محصول (برحسب ریال بر کیلوگرم)، Y عملکـرد محصول (برحسب کیلوگرم در هکتار)، C هزینـه متغیـر تولیـد در هـر هکتار از محصول کشت شده بجز هزینه آب (برحسب ریال)، A سطح زیرکشت محصول آبی (برحسـب هکتـار)، P_{WG} و P_{WS} بـه ترتیـب قیمت آب‌زیرزمینی و سطحی (برحسب ریال بـر مترمکعـب) و W_G و W_S به ترتیب مقدار آب‌زیرزمینی و سطحی تخصـیص یافتـه بـرای یک هکتار محصول (برحسب مترمکعب) می‌باشد. رابطه ۸ مربوط بـه محدودیت سطح زیرکشت محصولات می‌باشـد کـه نشـان مـی‌دهـد مجموع زمین‌های استفاده شده برای فعالیت‌های مختلف کشاورزی در هر سال نباید از موجـودی اراضـی آن سـال (TA_t) در ایـن منطقـه بیش‌تر گردد. محدودیت حداقل سطح زیرکشت بـه صـورت رابطـه ۹ نشان داده شده است. در این محـدودیت، حـداقل سـطح زیـر کشـت ($MinA_{ti}$) برابر با سطح زیرکشت محصـولات در سـالی اسـت کـه حداقل زمین در طول دوره مورد مطالعه (۱۰ سال) برای آن محصـول تخصیص یافته باشـد. رابطـه ۱۰ نشـانگر محـدودیت کـل آب قابـل دسترس می‌باشد. با توجه به این محدودیت، کـل آب موردنیـاز بـرای محصولات در هر دوره نباید از مجموع مقادیر آب سـطحی(SW_t) و زیرزمینی (GW_t) در دسترس آن دوره بیش‌تر باشد. در ایـن رابطـه WR_{it}، آب مـورد نیـاز بـرای هـر هکتـار محصـول iام در دوره tام می‌باشد. محدودیت (۱۱) بیانگر بیلان منابع آب زیرزمینـی مـی‌باشـد. این محدودیت نشان می‌دهد کـه میـزان برداشـت از سـفره‌هـای آب زیرزمینی نباید از میزان تغذیه این سفره‌ها بیش‌تـر باشـد تـا پایـداری آبخوان حفظ گردد. در این رابطه، ΔS نشان‌دهنده تغییرات حجم آب آبخوان در دوره t+1 (متغیر وضعیت)، R_t نرخ تغذیه طبیعی آبخوان و W_t کل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بـرای مقاصـد مختلـف از جمله کشاورزی (برحسب مترمکعب) در سال t (متغیر کنترل) می‌باشد. رابطه ۱۲ در واقع بیان‌کننده ارتبـاط بـین بخـش کشـاورزی و بـیلان منـابع آب زیرزمینـی اسـت. در ایـن رابطـه، AW بیـانگر میـزان آب مصـرفی (سـطحی و زیرزمینـی) هـر یـک از محصـولات، A سـطح زیرکشت محصول موردنظر و D بهره‌برداری‌های غیر کشاورزی مانند شرب و صنعت می‌باشد. طبیعی است که در صورت تغییر حجم آب در محدوده بیلان آبخوان با فرض عدم تغییر سطح و شکل کلی آبخوان، ارتفاع آب نسبت به سطح زمین نیز دچار تغییر خواهد شـد. رابطـه ۱۳ بیانگر این تغییرات بوده کـه در آن Δh نشـانگر تغییـرات ارتفـاع آب آبخوان (بر حسب متر)، X سطح لایه آبخوان و q آبـدهی مخصـوص آبخوان می‌باشد. رابطه ۱۴ نیـز بـه عنـوان محـدودیت شـرایط آب و هوایی در الگو لحاظ گردیده است. در این رابطـه، h میـانگین ارتفـاع سطح آب زیرزمینی در ماه m و سـال t، ID نشـانگر شـاخص آب و هوایی، α و β نیز پارامترهای مدل می‌باشند (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۹۰). آمار و اطلاعات لازم برای انجام محاسـبات و بـرآورد الگوهـا عمدتا از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی، سـازمان جهـاد کشاورزی استان آذربایجـان‌شـرقی، مـدیریت آب شهرسـتان شبسـتر، سازمان هواشناسی استان آذربایجان‌شـرقی و وزارت نیـرو در افـق ده ساله (از سال ۱۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) تهیه شد.

نتایج و بحث

نتایج مطالعه در دو بخش تنظیم شده است. در بخـش اول نتـایج بررسـی شـرایط آب و هـوایی منطقـه مـورد مطالعـه بـا اسـتفاده از شاخص‌های آب و هوایی مختلف ارایه شده است. در بخش دوم نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویا گزارش شده است.

نتایج بررسی شرایط آب و هوایی و هیدرولوژی دشت شبستر

برای پایش خشک‌سالی هواشناسی دشت شبسـتر، شـاخص SPI در مقیاس‌هـای ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهـه بـرای ایـن دشـت محاسبه گردید که نتایج مربوط به شاخص SPI در مقیـاس‌هـای ۳ و ۴۸ ماهه در شکل‌های ۱ و ۲ نشـان داده شـده اسـت. همـان‌طورکـه مشاهده می‌شود SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مـدت (SPI3) دارای نوسانات زیاد و تداوم کم‌تری بوده ولی با حرکت به سـمت ۴۸ ماهـه، دوره‌های خشک و مرطوب دارای وضوح بیش‌تر و گسستگی کم‌تـری می‌باشد. به عبارتی در شاخص مربوط به SPI48 دو دوره خشک و دو دوره مرطوب طولانی‌مدت در منطقه رخ داده است.

شکل۳ مقادیر شـاخص درصـد نرمـال سـالانه منطقـه را نشـان می‌دهد. عدد بزرگ‌تر از ۱۰۰ نشان‌دهنده ترسـالی و کوچـک‌تـر از آن نشانگر خشک‌سالی می‌باشد. با توجه به ایـن شـکل بجـز سـال‌هـای ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ بقیه سال‌ها در منطقه وضعیت مرطوبی دارند.

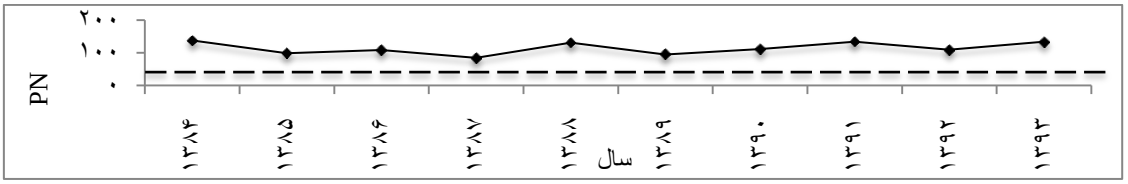
نتایج محاسبه شاخص Z نرمال شده سالانه برای دشـت شبسـتر نیز در شکل ۴ ارایه داده شده است. مقـدار بـیش از۰/۲۵ شـاخص Z نشانگر وضعیت ترسالی می‌باشد. با توجه به شکل ۴، منطقـه ۷ سـال وضعیت ترسالی و ۳ سال خشک‌سالی را شاهد بوده است.

www.SID.ir

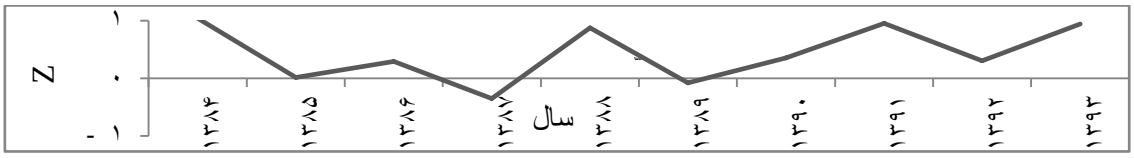
Archive of SID

شکل ۱- تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه

شکل ۲- شکل تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ٤٨ ماهه



شکل ۳- شدت خشک‌سالی دشت شبستر بر اساس شاخص درصد نرمال سالانه



شکل ٤- نتایج برآورد شاخص Z نرمال سالانه دشت شبستر

نتایج محاسبه شاخص آب زیرزمینی در شکل ۵ گزارش شد. براساس این شکل در سال‌های ۱۳۸۹و ۱۳۹۲ ترسالی شدید و در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ خشک‌سالی متوسط رخ داده و برای سال‌هایی که این شاخص بین ۱+ و ۱- بوده، شرایط نرمالی وجود داشت.

شکل ۵- نتایج برآورد شاخص منبع آب زیرزمینی برای دوره ۱۰ ساله

به منظور بررسی نحوه تاثیرگذاری خشک‌سالی بر تغییرات منابع آب زیرزمینی دشت شبستر، ضریب همبستگی بین مقادیر شاخص‌های موردنظر با مقادیر GRI و هم‌چنین تراز آب زیرزمینی به صورت جدول ۲ محاسبه گردید.

جدول ۲- نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های آب و هوایی با GRI و تراز آب زیرزمینی

ضرایب همبستگی	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	SPI24	SPI36	SPI48	PN	ZSI
GRI	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۴
تراز آب زیرزمینی	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۴	-۰/۲۹	-۰/۰۱

نتایج در جدول ۲ حاکی از آن است که مقادیر محاسبه شده GRI با شاخص SPIدر مقیاس ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۳۶ ماهه و PN و ZSI همبستگی کم‌تری داشته، ولی با SPI در مقیاس ۴۸، همبستگی بیش‌تری دارد، به گونه‌ای که این ضریب به میزان ۰/۲۴ می‌رسد. در

www.SID.ir

Archive of SID

مورد همبستگی شاخص SPI با تراز آب زیرزمینی نیز نتایج مشابهی به دست آمد. براین اساس بهترین مدل رگرسیونی بین شاخص SPI و ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی به صورت رابطه ۱۵ به دست می‌آید.

$$h = -0.15 + 0.4 * SPI48 \quad (۱۵)$$

همبستگی بالا بین شاخص SPI48 و ارتفاع سطح سفره آب-زیرزمینی (۰/۴) حاکی از آن است که خشک‌سالی عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی در دشت شبستر می‌باشد ولی به تنهایی عامل بحران نیست بلکه عوامل دیگری هم‌چون اضافه برداشت‌ها از سطح آب زیرزمینی نیز در کاهش این منبع مهم نقش زیادی دارد.

نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویا

الگوی تجربی برنامه‌ریزی پویا در شرایط مختلف آب و هوایی حل شد که نتایج آن در جدول ۳ ارایه شده است. در مطالعه حاضر سه وضعیت آب و هوایی به صورت شرایط خشک‌سالی تحت عنوان سناریوی ۱، سال نرمال تحت عنوان سناریوی ۲و ترسالی تحت عنوان سناریوی ۳ در نظر گرفته شد. بر اساس شاخص SPI بدست آمده برای سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۳ که در جدول ۱ نشان داده شده‌است، سال‌هایی که در آن خشک‌سالی، وضعیت نرمال و ترسالی اتفاق افتاده است مشخص شدند. بر این اساس در سالی که شدیدترین خشک‌سالی رخ داده، میزان بارش منطقه ۷۹/۵ میلی‌متر است. بنابراین میزان بارش به عنوان معیار خشک‌سالی در نظر گرفته شد. میزان بارش منطقه برای وضعیت نرمال معادل ۱۸۶ میلی‌متر و برای وضعیت ترسالی بسیارشدید معادل ۴۱۹ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در نتیجه میزان تغذیه سفره آب زیرزمینی و آب در دسترس جهت مصارف مختلف برای سه حالت فوق محاسبه شده و در سناریوی‌های مربوط به هر مورد لحاظ گردید.

جدول۳- نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویا براساس سناریوهای شرایط مختلف آب و هوایی

محصول (هکتار)	وضع موجود	وضع بهینه	سناریو۱	سناریو۲	سناریو۳
گندم	۸۲۱۰	۸۱۳۴	۸۴۲۰	۸۴۱۳	۸۱۳۴
جو	۱۶۳۶	۲۰۲۲	۱۷۴۵	۱۷۸۰	۲۰۲۲
آفتاب‌گردان	۳۲۰	۱۴۰	۳۵۷	۲۶۴	۱۴۰
پیاز	۷۴۶	۸۶۱	۱۰۰۰	۹۹۹	۸۶۱
گوجه‌فرنگی	۶۲۶	۴۷۵	۲۴	۴۲	۴۷۵
یونجه	۲۶۸۶	۲۴۸۴	۶۸۸	۱۶۷۰	۲۴۸۴
خیار	۴۱۰	۳۸۶	۴۳۶	۴۲۶	۳۸۶
آیش	۱۴۳۳	۵۵۳	۵۵۳	۵۵۳	۵۵۳
سیب	۱۹۸۸	۲۰۷۷	۲۲۴۴	۲۲۴۴	۲۰۷۷
هلو	۹۵۲	۷۳۷	۱۱۱۴	۱۱۵۳	۷۴۶
زردآلو	۱۲۶۳	۱۱۸۲	۱۱۹۸	۱۱۹۸	۱۱۸۲
انگور	۶۸۶	۵۰۰	۷۱۳	۷۱۳	۵۰۰
بادام	۱۲۶۵	۱۱۶۰	۸۸۳	۸۴۴	۱۱۶۰
گردو	۷۲۹	۱۲۲۵	۷۳۰	۷۳۰	۱۲۱۷
مصرف سالانه آب زیرزمینی (m3)	۸۶۵۳۰۰۰۰	۸۴۱۵۲۸۰۰	۷۰۹۱۱۱۱۰	۷۸۷۳۴۹۰۰	۸۴۱۸۴۶۹۰
تغییرات سالانه حجم آبخوان (m3)	-۱۰۴۳۸۷۶۰	-۸۰۶۱۵۷۸	-۹۱۵۴۶۶۵	-۶۱۰۸۲۵۴	۱۰۶۷۵۵۴۹
درصد تغییر حجم آبخوان نسبت به وضع موجود	-	+۲۲/۸	+۱۲/۱۸	+۴۱/۴۲	+۱۰۲/۳
تغییرات سالانه ارتفاع آب (m)	-۰/۴۴	-۰/۳۴	-۰/۳۸	-۰/۲۵	+۰/۴۵
ارزش فعلی بازده ناخالص سالانه (میلیون ریال)	۳۹۸۷۵۵۰	۴۳۱۳۴۱۰	۴۱۷۶۶۸۰	۴۲۲۰۸۸۰	۴۳۱۵۳۶۰
درصد تغییر ارزش بازده ناخالص نسبت به وضع موجود	-	+۸/۱۷	+۴/۷۴	+۵/۸۵	+۸/۲۲

منبع: یافته‌های تحقیق - m3: مترمکعب

مطابق نتایج جدول۳، در وضعیت موجود بیلان منفی آبخوان حدود ۱۰/۴۴ میلیون مترمکعب در سال است که معادل کاهش سالانه ۴۴ سانتی‌متر ارتفاع سفره آب زیرزمینی می‌باشد. نتیجه حل الگوی برنامه‌ریزی پویا در شرایط فعلی (موجود) در ستون مربوط به وضع بهینه آمده است. در وضعیت بهینه مقدار بهره‌برداری سالانه آب نسبت به وضع موجود، ۲/۳۸ میلیون مترمکعب کاهش پیدا کرده و بیلان منفی آبخوان نیز به مقدار ۸/۰۶ میلیون مترمکعب تنزل یافت. درآمد سالانه فعالیت‌های کشاورزی نیز نسبت به وضع موجود به میزان ۸/۱۷ درصد افزایش یافت. در وضع بهینه، از بین محصولات با

www.SID.ir

Archive of SID

نیاز آبی کم‌تر[۱]، سطح زیرکشت جو نسبت به وضع موجود افزایش یافت. در رابطه با محصولات پرآب[۲] نیز سطح زیرکشت گردو، پیاز و سیب به دلیل ایجاد درآمد بالاتر افزایش یافت ولی سطح زیرکشت دیگر محصولات پرآب مانند گوجه‌فرنگی و یونجه کاهش یافت. در این حالت کاهش سطح زیرکشت محصولات پرآبی مانند گوجه‌فرنگی و یونجه منجر به کاهش مصرف آب شد.

در صورتی که خشک‌سالی در منطقه وجود داشته باشد، مقدار آب در دسترس کم‌تر از مقدار آب لازم جهت داشتن حداقل سطح زیرکشت محصولات خواهد بود. با توجه به نتایج وضع بهینه، از بین محصولات پرآب سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی و یونجه به دلیل عدم صرفه اقتصادی کاهش می‌یابد، بنابراین طی سناریویی حداقل سطح زیرکشت برای این محصولات در نظر گرفته شد. بنابراین در سناریوی یک که نشان دهنده شرایط خشک‌سالی منطقه است، مقدار بهره‌برداری از آب زیرزمینی به ۷۰/۹۱ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. در این شرایط با این‌که میزان مصرف آب کاهش یافت ولی بیلان منفی آبخوان به دلیل وجود خشک‌سالی و فشار بر منابع آبی افزایش یافت و به مقدار ۹/۱۵ میلیون مترمکعب (معادل با کاهش ۳۸ سانتی‌متر ارتفاع سفره) در سال رسید. بنابراین کاهش نفوذ بارش به آبخوان درنتیجه‌ی کاهش نزولات جوی و به دنبال آن ایجاد فشار مضاعف بر تخلیه منابع آب زیرزمینی منجر به افت شدید منابع زیرزمینی می‌شود. با این وجود درآمد سالانه کشاورزان نسبت به وضع موجود ۴/۷۴ درصد افزایش می‌یابد. این امر حاکی از آن است که کشاورز برای تامین معاش خود بر منابع آب زیرزمینی فشار مضاعفی وارد می‌کند تا سود خود را حفظ نمایند. در این وضعیت سطح زیرکشت محصولات کم‌آب مانند گندم، جو و آفتاب‌گردان نسبت به شرایط موجود افزایش یافته ولی سطح زیرکشت محصولات پرآبی نظیر گوجه‌فرنگی، یونجه، بادام و گردو کاهش فاحشی داشت که نشان‌دهنده تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم‌آب می‌باشد. در صورتی‌که وضعیت نرمال آب و هوایی در منطقه حاکم باشد (سناریوی ۲)، میزان مصرف آب زیرزمینی به ۷۸/۷۳ میلیون مترمکعب می‌رسد که نسبت به سال خشک افزایش ولی نسبت به شرایط موجود کاهش یافت. بیلان منفی آبخوان نیز به مقدار ۶/۱۱ میلیون مترمکعب (معادل ۲۵ سانتی‌متر کاهش ارتفاع سفره) در سال می‌رسد که نسبت به وضع موجود بهره‌برداری بهبودی معادل ۴۱/۴۲ درصد را نشان می‌دهد. درآمد سالانه کشاورزان در این حالت نسبت به وضع موجود بهبود یافته ولی نسبت به وضع بهینه مقدار کم‌تری را شامل می‌شود. سطح زیرکشت محصولات نیز به دلیل بهتر شدن شرایط آب و هوایی نسبت به شرایط خشک‌سالی به سمت محصولات با نیاز آبی بالا مانند یونجه متمایل می‌گردد. ستون مربوط به سناریوی ۳ که مربوط به وجود شرایط ترسالی در منطقه می‌باشد، نشان می‌دهد در صورت وجود ترسالی، میزان بهره‌برداری سالانه از منابع آب زیرزمینی به ۸۴/۱۸ میلیون مترمکعب می‌رسد که نسبت به وضع موجود کاهش یافته است. بیلان منفی آب زیرزمینی نیز به دلیل ترسالی بهبود قابل ملاحظه‌ای یافته و مثبت شده است. این بیلان به مقدار ۱۰/۶۸ میلیون مترمکعب (معادل ۴۵ سانتی‌متر افزایش ارتفاع آبخوان) در سال خواهد رسید. درآمد سالانه کشاورزان در این حالت نسبت به وضع موجود و وضع بهینه افزایش می‌یابد. در این سناریو سطح زیرکشت محصولات نزدیک به وضع بهینه می‌باشد. بنابراین نتایج این دو حالت نیز با تفاوت جزیی شبیه به هم خواهد بود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیق نشان دادند که شرایط آب و هوایی بخصوص مقدار بارندگی از عوامل مهم و اصلی تاثیرگذار بر نوسانات ارتفاع سفره آب زیرزمینی می‌باشد که اثرات آن بر منابع آبی در بلندمدت بسیار مشهود است. بر این اساس لازم است در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آب بخصوص میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی شرایط آب و هوایی در نظر گرفته‌شود. بطوری‌که با محدود کردن استخراج آب از منابع زیرزمینی مانند اعمال سهمیه‌بندی و نصب کنتورهای هوشمند سعی شود در زمان‌های خشک‌سالی آب کم‌تری از این منابع برداشت شود تا از روند افت ارتفاع آبخوان جلوگیری نمود. درغیر این صورت دیری نمی‌گذرد که دیگر بارندگی‌ها نیز نتوانند در ترمیم و تغذیه سفره‌های زیرزمینی موثر باشند و منطقه دچار بحران عظیم زیست‌محیطی خواهد شد. از دیگر اقدامات لازم جهت کنترل تقاضا و استفاده مناسب از آب تغییر الگوی کشت محصولات به سوی الگوهای کم آب‌بر می‌باشد. بدین منظور با اعمال قیمت‌های تضمینی بالا می‌توان کشاورزان را به کشت این نوع محصولات (در کوتاه‌مدت محصولات زراعی و در بلندمدت محصولات باغی) ترغیب نمود. هم‌چنین تقویت و مرمت منابع آبی از طریق انجام عملیات آبخیزداری، جلوگیری از حفر چاه‌های عمیق غیرمجاز، بهبود روش‌های آبیاری و انتقال آب با جایگزینی سیستم‌های مدرن انتقال و آبیاری با بازدهی بالا از راهکارهای اساسی برای استفاده مفیدتر از آب و کاهش برداشت از منابع آبی از دیگر اقدامات لازم برای حفاظت از منابع آبی در منطقه می‌باشد.

منابع

امیری یاراحمدی،ب. ۱۳۸۸. تغییر اقلیم و اثرات آن بر کشاورزی و

۱- کم‌ترین نیاز آبی در بین محصولات مورد مطالعه مربوط به جو و گندم می‌باشد.

۲- بیش‌ترین نیاز آبی در بین محصولات مورد مطالعه به یونجه، گردو، پیاز و گوجه‌فرنگی اختصاص دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

ذخایر آب شیرین حوضه آبریز جنوب‌غرب کشور ایران. سازمان هواشناسی کشور، هواشناسی کشاورزی.

باریکانی،ا.، احمدیان،م.، خلیلیان،ص و چیذری،ا. ۱۳۹۱. استفاده تلفیقی پایدار از منابع آب سطحی و زیرزمینی در تعیین الگوی بهینه کشت دشت قزوین. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۰ .۷۷: ۵۶-۲۹.

حسین‌زاد،ج.، جوادی،ا، حیاتی،ب.، پیش‌بهار،ا و دشتی،ق. ۱۳۹۰. کاربرد مدل کنترل بهینه در برداشت آب از منابع زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب‌شیر). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ .۲: ۲۱۸-۲۱۲.

حسین‌زاد،ج.، فرنام‌نیا،ه.، حیاتی،ب و عابدی،س. ۱۳۹۵. تاثیر سیاست-های کاهش مصرف منابع آب زیرزمینی بر حجم این منابع، درآمد و الگوی کشت کشاورزان در حوزه آبریز دریاچه ارومیه، دهمین کنفرانس دوسالانه اقتصاد کشاورزی.

رحیمی،د.، موحدی،س و برقی،ح. ۱۳۸۸. بررسی شدت خشک‌سالی با شاخص نرمال بارش (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۰ .۵۶:۴-۴۳.

زیبایی،م.ح.، زیبایی،م و اردوخانی،ک. ۱۳۹۲. ارزیابی سناریوهای استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۵ .۱: ۱۸۱-۱۵۷.

سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان‌شرقی. ۱۳۹۴. دفتر مطالعات بیلان منابع آب زیرزمینی و دفتر مطالعات آب سطحی.

سلطانی،غ و زیبایی،م. ۱۳۹۰. مدیریت مصرف آب کشاورزی چالشی برای مقابله با خشک‌سالی. همایش بهینه‌سازی مصرف آب در کشور، فرهنگستان علوم ایران.

شمس الدینی،ا.، حمیدی،ح و دهقان‌پور،ح. ۱۳۹۲. انتخاب الگوی زراعی مناسب در راستای استفاده پایدار از منابع آب با تاکید بر کم‌آبیاری مطالعه موردی شهرستان سپیدان. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۱ . ۸۴: ۷۸-۵۳.

شیرزادی،س و صبوحی صابونی،م. ۱۳۹۳. بررسی وضعیت پایداری و تعادل سفره آب زیرزمینی در جهت دست‌یابی به مدیریت پایدار (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۶ .۴: ۱۲۸-۱۰۷.

علوی‌نیا،س.، ساداتی‌نژاد،س و عبداللهی،خ. ۱۳۹۰. ارایه مدلی برای پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیکی در حوضه کارون یک. پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱.

مفیدی‌پور،ن.، بردی شیخ،و.، اونق،م و سعدالدین،ا. ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی در حوزه آبخیز اترک. پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز. ۳ .۵: ۲۶-۱۶.

میهن‌خواه،ن.، چیذری،ا و صادقیان،ص. ۱۳۹۱. مدیریت بهره‌برداری بهینه از منابع آب سطحی با کاربرد برنامه‌ریزی پویا. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۲۶ .۴: ۲۵۱-۲۴۴.

نادریان‌فر،م.، انصاری،ح.، ضیایی،ع و داوری،ک. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف. فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۱ .۳: ۳۷-۲۱.

ناصرزاده،م و احمدی،ا. ۱۳۹۱. بررسی عملکرد شاخص‌های خشک-سالی هواشناسی در ارزیابی خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین. نشریات تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۲ .۲۷: ۱۶۲-۱۴۱.

نجفی علمدارلو،ح.، احمدیان،م و خلیلیان،ص. ۱۳۹۳. ارزیابی اقتصادی تخصیص بهینه آب کشاورزی در دشت ورامین؛ مطالعه موردی سد لتیان. فصل‌نامه علمی – پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران. ۳ . ۹: ۱۶۷-۱۵۱.

نجفی علمدارلو،ح.، احمدیان،م و خلیلیان،ص. ۱۳۹۲. ارزیابی اقتصادی سیاست قیمت‌گذاری آب زیرزمینی در دشت ورامین. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۵ . ۳: ۱۵۴-۱۳۷.

وزارت نیرو. ۱۳۸۷. دفتر معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. تهران، سایت خبری وزارت نیرو.

وزارت نیرو. دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی. ۱۳۹۰. گزارش ادامه مطالعه و وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت‌های دارای شبکه پیزومتریک. معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای تهران.

یاسمنی،س.، محمدزاده،ح و مساعدی،ا. ۱۳۹۲. بررسی اثر خشک‌سالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت تربت‌جام – فریمان با بکارگیری شاخص‌های SPI و GRI. شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.

Bellman,R .1961. Adaptive Control Processes: A Guided Tour. Princeton University Press. 274p.

Brown,G .1974. An Optimal Program for Managing Common Property Resources with Congestion Externalities. Journal of Political Economy. 82:163-173.

Brown,G and Deacon,R .1972. Economic Optimization of a Single-Cell Aquifer. Water Resource Research 8.3:557-563.

Burt,O .1964. Optimal Resource Use over Time with

www.SID.ir

Archive of SID

Provencher,B .1993. A Private Property Rights Regime to Replenish a Groundwater Aquifer. Land Economics 69.4:325- 340.

Provencher,B and Burt,O .1994. Approximating the optimal groundwater pumping policy in a multi aquifer stochastic conjunctive use setting. Water Resources Research. 30: 833-843.

Shahid,S.H and Hazarika,M.K .2009. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. Water Resour Manage.24.10: 1989-2006.

Todd,D.K .1980. Groundwater Hydrology.552p..

Willis,D., Rainwater,K., Tewari,R., Stovall,J., Hayhoe,K., Hernandez,A., Mauget,S., Leiker,G and Johnson,J. 2014. Projecting the Economic Impact and Level of Groundwater Use in the Southern High Plains under Alternative Climate Change Forecasts Using a Coupled Economic and Hydrologic Model.1-34

Application to Ground Water. Management Science11.1:80- 93.

Burt,O .1966. Economic Control of Groundwater Reserves. Journal of Farm Economics. 48.3:632-647.

EjazQureshi,M., EjazQureshi,S., Goesch,T and Hafi,A .2006. Preliminary Economic Assessment of Groundwater Extraction Rules. Economic Papers 41-67.

Khan,S., Gabriel,H.F and Rana,T .2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrigation and drainage Systems 22:159–177.

Medellin,A., Richard,E., Howitt,E and Jay,R.L .2011. Hydro-economic modeling to assess climate impact and adaptation for agriculture in California. University of California. Davis 1-23.

Peters,E., Bier,G., Van Lanen,H and Torfs,P .2005. Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. Journal of hydrology. 321:257–275.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 232-242

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۲۴۲-۲۳۲

Effect of Rainfall Indices on Ground Water Resource Consumption and Cropping Patterns (Case study: Shabestar plain from Urmia lake Basin)

J. Hosseinzad[1]*, A. Sarbaz[2], M. A. Ghorbani[3]
Recived: Jun.02, 2018 Accepted: Sep.08, 2018

Abstract

Groundwater resources are important production factors in agricultural production. The excessive extraction of groundwater resources and the unfair weather conditions have made the important challenges in water resources management. According to this, reconsideration in management of water resources seems necessary. Shabestar plain is one of the most important areas of agriculture in East-Azerbaijan province that confront with excessive extraction of groundwater and water resources crisis. Given that rainfall is the main factor in nutrition of groundwater resources so, in this study was tried to investigate the effect of rainfall indices on volume and consumption of groundwater and cropping patterns using the dynamic programming model in Shabestar plain in ten-year (from 2001 to 2016) horizon. The results showed that there is strong correlation between 48-Monthly Standardized Precipitation Index (SPI48) and Groundwater Resource Index (GRI) and height of aquifer. Seting water pumping height on SPI48 caused the balance of aquifer gets better. In the current state of extraction, the aquifer's negative balance is about 10.44 million cubic meters per year. With the optimal extraction, the aquifer's negative balance of 8.26 million cubic meters in normal conditions decreases. If optimal water extraction is done according to the weather conditions, In the drought and normal conditions, the negative balance would be about 9 and 6 million cubic meters, respectively. In wet year conditions, the aquifer's balance will be positive and about 10 million cubic meters will be added to the aquifer volume. According to the results, in drought conditions crops cultivation of wheat, barley and grape increased and crops cultivation of tomato and alfalfa decreased. Reduce water extraction and consumption by using water saving irrigation technologies and also applying appropriate prices for low-water crops are the basic strategies for restoration of groundwater table in the Shabestar region.

Key Words: Agricultural production, Dynamic Programming Model, Extraction of groundwater, Groundwater Resources, Standardized Precipitation Index.

1- Associate professor of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
2- MS.c Graduate student of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
3-Associate professor of Water Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
(* - Corresponding Author Email: J.hosseionzad@tabriz.ac.ir)

www.SID.ir