

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

جواد حسین‌زاد<sup>۱</sup>، آمنه سرباز<sup>۲</sup>، محمدعلی قربانی<sup>۳</sup>

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 آذربایجان شرقی محسوب می‌شود که با برداشت بی‌رویه آب و بحران منابع آبی مواجه شده است. با توجه به این که بارندگی مهم‌ترین عامل در تغذیه منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد، بنابراین در مطالعه حاضر سعی شده‌است که با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی پویا تأثیر شاخص‌های بارندگی روی حجم و مصرف آب‌زیرزمینی و الگوی کشت دشت شبستر در افق زمانی ۱۰ ساله از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ بررسی 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 ۱۰/۴۴ میلیون 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 خواهد بود. 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 آبدوز 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

کشاورزی و تامین آب شرب را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. بنابراین ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد (امیری یاراحمدی، ۱۳۸۸). بطوری که 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<sup>۴</sup> 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 تأثیر قرار می‌دهد (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). در واقع کاهش بارش و نوسانات شدید آن سبب عدم اطمینان جهت

تغییر شرایط آب و هوایی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی در جهان امروز است. از جمله تأثیرات مهم این پدیده غیریکنواختی توزیع بارش، گسترش خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها و در نهایت تأثیر 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 تأثیر گذاشته و نیاز بخش‌های صنایع،

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.

کاهش در استخراج تقویت شده و مقدار استخراج هر بهره‌بردار به مقدار پایه آن<sup>۱</sup> کاهش یابد تا پایداری منبع حفظ شود. در غیر این صورت 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 آذربایجان شرقی 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 بیان آب زیرزمینی منطقه نیز نشان دهنده کاهش سالانه حدود ۱۰/۴۴ میلیون مترمکعب حجم سفره می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ۱۳۹۴). برای 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 پرووچنر (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<sup>۲</sup> به بررسی اثرات بارندگی و شرایط اقلیمی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی پرداختند.

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 آب زیرزمینی 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. در نتیجه 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. در نتیجه بایستی همکاری‌ها در جهت

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

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 روش ها

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

$$SPI_{ik} = \frac{(R_k - \bar{R}_k)}{S_k}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

در رابطه فوق  $R_k$  و  $S_k$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار ارتفاع بارش برای دوره مبنای ( $k$ ) می باشد. جدول ۱ طبقه بندی حالت های مختلف خشک سالی و ترسالی را به روش شاخص بارش استاندارد نشان می دهد (مفیدی پور و همکاران، ۱۳۹۱).

شاخص درصد نرمال ( $PN$ ): این شاخص به صورت رابطه ۲ نشان داده می شود که بارش تنها عامل مورد نیاز جهت محاسبه آن می باشد.

$$PN = \frac{P}{\bar{P}} \times 100 \quad (2)$$

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

شاخص  $Z$ -Score ( $ZSI$ ): این شاخص به صورت رابطه ۳ محاسبه می گردد که در آن،  $x_{km}$  بارندگی ماه  $m$  برای دوره  $k$ ،  $\bar{x}_{km}$  و  $s_k$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی مورد نظر می باشد (ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱).

$$ZSI_{km} = (x_{km} - \bar{x}_{km}) / s_k \quad (3)$$

نتایج نشان داد که  $SPI$  با مقیاس زمانی بلندمدت ۴۲ ماهه از همبستگی بیش تری با سطح آب زیرزمینی دشت برخوردار است. حسین زاد و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل برنامه ریزی 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 می گردد. پیترز و همکاران نشان دادند که کمبود بارندگی در سراسر سیستم هیدرولوژیکی باعث می شود که خشک سالی در بخش های مختلف سیستم هیدرولوژیکی رخ دهد. هم چنین خشک سالی های هواشناسی باعث کاهش سطح آب زیرزمینی می گردد (Peters et al., 2005). ویلیز و همکاران اثرات اقتصادی و سطح استفاده از آب های زیرزمینی را تحت تغییرات اقلیم با استفاده از مدل سیاست آب به همراه مدل بهینه سازی اقتصاد پویا در آبخیز اوگالالا<sup>۱</sup> بررسی کردند. نتایج نشان داد در حالت وجود سناریوهای تغییر اقلیم، بازده اقتصادی با وجود ادامه استخراج آب های 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 می توان به مطالعات میهن خواه 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 (Ejaz Qureshi 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 خشک سالی ها و افت منابع آب زیرزمینی به طور عمده مربوط به کاهش بارندگی ها و برداشت بیش از حد مجاز منابع آبی در رابطه با کشاورزی می باشد.

بنابر اهمیت موضوع و بروز خشک سالی های متعدد در مناطق مختلف ایران بر همین اساس در مطالعه حاضر سعی شده است تاثیر شاخص های بارندگی روی الگوی کشت و درآمد کشاورزان در دشت شبستر که از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی در حوزه دریاچه ارومیه بوده و به دلیل وضعیت بحرانی آن جزو دشت های ممنوعه کشور به شمار می رود، مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. آمار و اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی فراهم شد. با توجه به این موارد، استفاده از رهیافت برنامه ریزی پویا به عنوان ابزاری مهم و

جدول ۱- طبقه‌بندی خشک‌سالی هواشناسی به روش SPI

وضعیت	ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	تقریباً نرمال	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	خشک‌سالی بسیار شدید
مقدار SPI	$2 \leq$	$1/5$ تا $1/99$	$1$ تا $1/49$	$-0/99$ تا $0/99$	$-1$ تا $-1/49$	$-1/5$ تا $-1/99$	$2 \geq$

نیست و همچنین وضعیت فعلی آن، تعیین کننده وضعیت آینده سیستم است. بنابراین با یک پیوستگی زمانی مواجه‌ایم. فرم عمومی مدل‌های پویا به صورت رابطه ۶ نشان داده می‌شود.

$$Max \int_0^T [B(R_t) - C(R_t, S_t)] e^{-rt} dt \quad (6)$$

s.t :

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

$$C_R > 0, C_S < 0$$

در رابطه فوق، S نشان‌دهنده متغیر ذخیره و R متغیر بهره‌برداری می‌باشد. همچنین  $B(R_t)$  عایدی و  $C(R_t, S_t)$  هزینه‌های کل دوره و  $G(S_t)$  نشان دهنده تابع رشد منبع آب زیرزمینی است. 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 اهداف و محدودیت‌های مطالعه می‌باشد. با در نظر گرفتن این موارد برای منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر (دشت شستتر)، چارچوب کلی الگوی تجربی برنامه‌ریزی پویا به صورت روابط ۷ تا ۱۴ تبیین می‌گردد.

$$MaxZ = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \rho^t \cdot [(P_{it}Y_{it} - C_{it}) - P_{WG}W_G - P_{WS}W_S] A_{it} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^I A_{it} \leq TA_t \quad (8)$$

$$MinA_t \leq A_{it} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I WR_{it} A_{it} \leq SW_t + GW_t \quad (10)$$

$$\mp \Delta S_{t+1} = S_{t+1} - S_t = R_t - W_t \quad (11)$$

$$W_t = \sum_i A_{it} \cdot AW_i + D_t \quad (12)$$

$$\Delta h_{t+1} = (\pm \Delta S_{t+1}) * \frac{1}{X.q} \quad (13)$$

$$h_{m,t} = \alpha + \beta ID \quad (14)$$

شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI): این شاخص که به صورت رابطه ۴ نشان داده می‌شود برای بررسی وضعیت هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رابطه ۴  $h_{y,m}$  ارتفاع آب زیرزمینی در سال y و ماه m،  $\mu_{h,m}$  و  $\sigma_{h,m}$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار ارتفاع آب زیرزمینی در ماه m می‌باشد. طبقه‌بندی این شاخص مشابه SPI می‌باشد (یاسمنی و همکاران، ۱۳۹۲).

$$GRI_{y,m} = (h_{y,m} - \mu_{h,m}) / \sigma_{h,m} \quad (4)$$

به منظور بررسی شدت وابستگی بین شاخص‌های آب و هوایی و کمیت آب‌های زیرزمینی، از ضریب همبستگی بین فراسنج‌های کمیت آب زیرزمینی (میانگین ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI) با شاخص‌های آب و هوایی در مقیاس‌های زمانی مختلف، به صورت رابطه ۵ استفاده می‌گردد (Khan et al., 2008).

$$\rho_{hID} = \frac{Cov(h, ID)}{\sigma_h \sigma_{ID}} \quad (5)$$

در رابطه فوق،  $\rho_{hID}$  بیانگر ضریب همبستگی بین شاخص آب و هوایی (ID) و ارتفاع سفره آب زیرزمینی (h) بوده و  $\sigma_{ID}$  انحراف معیار شاخص آب و هوایی،  $\sigma_h$  انحراف معیار ارتفاع سفره آب زیرزمینی و Cov نماد کوواریانس می‌باشد.

برای بررسی چگونگی ارتباط بین مقدار آب زیرزمینی و شاخص آب و هوایی از برآورد تابع رگرسیونی به صورت رابطه ۱۴ استفاده می‌شود. در این تابع ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی به عنوان متغیر وابسته تابعی از شاخص آب و هوایی به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود. تابع برآورد شده به عنوان محدودیت آب و هوایی در مدل برنامه‌ریزی پویا وارد می‌گردد.

### مدل برنامه‌ریزی پویا<sup>۲</sup>

مدل برنامه‌ریزی پویا روشی عمومی برای بهینه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای است. این رهیافت به صورت گسترده در بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آب استفاده می‌شود. در برنامه‌ریزی پویا، وضعیت یک سیستم در هر لحظه از زمان، مستقل از گذشته آن

1- Groundwater Resource Index  
2- Daynamic Programming

محدوده بیلان آبخوان با فرض عدم تغییر سطح و شکل کلی آبخوان، ارتفاع آب نسبت به سطح زمین نیز دچار تغییر خواهد شد. رابطه ۱۳ بیانگر این تغییرات بوده که در آن  $\Delta h$  نشانگر تغییرات ارتفاع آب آبخوان (بر حسب متر)،  $X$  سطح لایه آبخوان و  $q$  آبدهی مخصوص آبخوان می‌باشد. رابطه ۱۴ نیز به عنوان محدودیت شرایط آب و هوایی در الگو لحاظ گردیده است. در این رابطه،  $h$  میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه  $m$  و سال  $t$ ،  $ID$  نشانگر شاخص آب و هوایی،  $\alpha$  و  $\beta$  نیز پارامترهای مدل می‌باشند (نادریان فر و همکاران، ۱۳۹۰). آمار و اطلاعات لازم برای انجام محاسبات و برآورد الگوها عمدتاً از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی، مدیریت آب شهرستان شیبستر، سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی و وزارت نیرو در افق ده ساله (از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) تهیه شد.

## نتایج و بحث

نتایج مطالعه در دو بخش تنظیم شده است. در بخش اول نتایج بررسی شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های آب و هوایی مختلف ارائه شده است. در بخش دوم نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویا گزارش شده است.

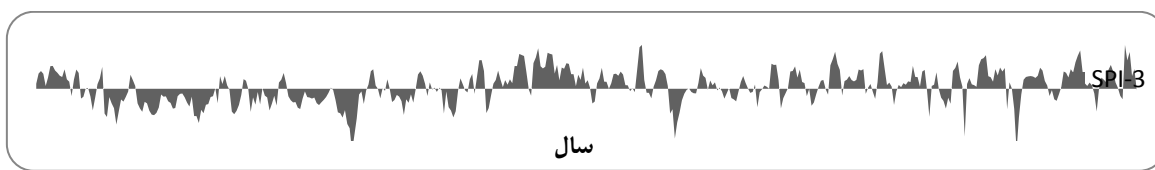
### نتایج بررسی شرایط آب و هوایی و هیدرولوژی دشت شیبستر

برای پایش خشک‌سالی هواشناسی دشت شیبستر، شاخص SPI در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه برای این دشت محاسبه گردید که نتایج مربوط به شاخص SPI در مقیاس‌های ۳ و ۴۸ ماهه در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت (SPI3) دارای نوسانات زیاد و تداوم کم‌تری بوده ولی با حرکت به سمت ۴۸ ماهه، دوره‌های خشک و مرطوب دارای وضوح بیشتر و گسستگی کم‌تری می‌باشد. به عبارتی در شاخص مربوط به SPI48 دو دوره خشک و دو دوره مرطوب طولانی‌مدت در منطقه رخ داده است.

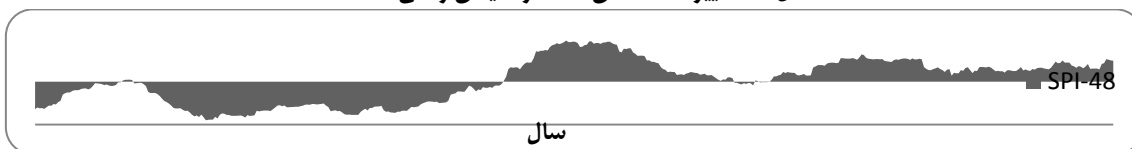
شکل ۳ مقادیر شاخص درصد نرمال سالانه منطقه را نشان می‌دهد. عدد بزرگ‌تر از ۱۰۰ نشان‌دهنده ترسالی و کوچک‌تر از آن نشانگر خشک‌سالی می‌باشد. با توجه به این شکل بجز سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ بقیه سال‌ها در منطقه وضعیت مرطوبی دارند.

نتایج محاسبه شاخص Z نرمال شده سالانه برای دشت شیبستر نیز در شکل ۴ ارائه داده شده است. مقدار بیش از ۰/۲۵ شاخص Z نشانگر وضعیت ترسالی می‌باشد. با توجه به شکل ۴، منطقه ۷ سال وضعیت ترسالی و ۳ سال خشک‌سالی را شاهد بوده است.

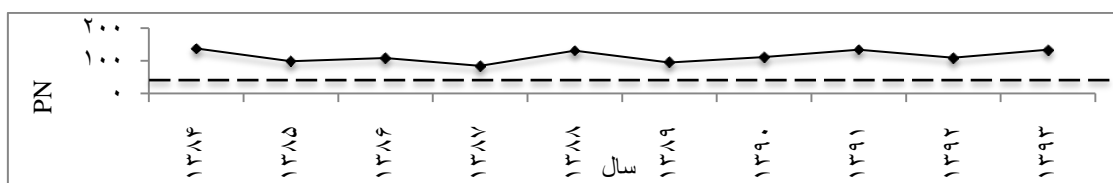
رابطه ۷ تابع هدف الگو را که بیانگر حداکثرسازی ارزش حاصل بازره ناخالص حاصل از فعالیت‌های عمده کشاورزی منطقه مورد مطالعه (برحسب ریال) است را در طول افق برنامه‌ریزی ۱۰ ساله نشان می‌دهد. در این رابطه،  $t$  بیانگر سال،  $i$  بیانگر نوع نام محصول (محصولات زراعی شامل گندم، جو، آفتاب‌گردان، پیاز، گوجه‌فرنگی، خیار و یونجه بوده و محصولات باغی شامل سیب، هلو، زردآلو، انگور، بادام و گردو می‌باشد)،  $\rho^t$  عامل تنزیل است که معادل  $(1+r)^{-t}$  بوده و  $r$  هم نرخ تنزیل می‌باشد که در مطالعه حاضر ۲۰ درصد منظور شده است،  $P$  قیمت محصول (برحسب ریال بر کیلوگرم)،  $Y$  عملکرد محصول (برحسب کیلوگرم در هکتار)،  $C$  هزینه متغیر تولید در هر هکتار از محصول کشت شده بجز هزینه آب (برحسب ریال)،  $A$  سطح زیرکشت محصول آبی (برحسب هکتار)،  $P_{WG}$  و  $P_{WS}$  به ترتیب قیمت آب زیرزمینی و سطحی (برحسب ریال بر مترمکعب) و  $W_G$  و  $W_S$  به ترتیب مقدار آب زیرزمینی و سطحی تخصیص یافته برای یک هکتار محصول (برحسب مترمکعب) می‌باشد. رابطه ۸ مربوط به محدودیت سطح زیرکشت محصولات می‌باشد که نشان می‌دهد مجموع زمین‌های استفاده شده برای فعالیت‌های مختلف کشاورزی در هر سال نباید از موجودی اراضی آن سال ( $TA_t$ ) در این منطقه بیش‌تر گردد. محدودیت حداقل سطح زیرکشت به صورت رابطه ۹ نشان داده شده است. در این محدودیت، حداقل سطح زیر کشت ( $MinA_{it}$ ) برابر با سطح زیرکشت محصولات در سالی است که حداقل زمین در طول دوره مورد مطالعه (۱۰ سال) برای آن محصول تخصیص یافته باشد. رابطه ۱۰ نشانگر محدودیت کل آب قابل دسترس می‌باشد. با توجه به این محدودیت، کل آب موردنیاز برای محصولات در هر دوره نباید از مجموع مقادیر آب سطحی ( $SW_t$ ) و زیرزمینی ( $GW_t$ ) در دسترس آن دوره بیش‌تر باشد. در این رابطه  $WR_{it}$ ، آب مورد نیاز برای هر هکتار محصول  $i$ ام در دوره  $t$ ام می‌باشد. محدودیت (۱۱) بیانگر بیلان منابع آب زیرزمینی می‌باشد. این محدودیت نشان می‌دهد که میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی نباید از میزان تغذیه این سفره‌ها بیش‌تر باشد تا پایداری آبخوان حفظ گردد. در این رابطه،  $\Delta S$  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 برای مقاصد مختلف از جمله کشاورزی (برحسب مترمکعب) در سال  $t$  (متغیر کنترل) می‌باشد. رابطه ۱۲ در واقع بیان‌کننده ارتباط بین بخش کشاورزی و بیلان منابع آب زیرزمینی است. در این رابطه،  $AW$  بیانگر میزان آب مصرفی (سطحی و زیرزمینی) هر یک از محصولات،  $A$  سطح زیرکشت محصول موردنظر و  $D$  بهره‌برداری‌های غیر کشاورزی مانند شرب و صنعت می‌باشد. طبیعی است که در صورت تغییر حجم آب در



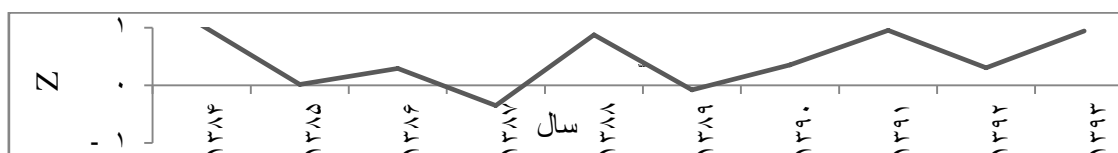
شکل ۱- تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه



شکل ۲- تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه



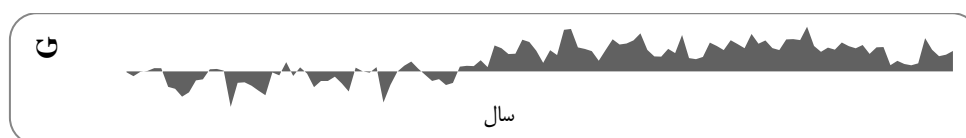
شکل ۳- شدت خشک‌سالی دشت شبستر بر اساس شاخص درصد نرمال سالانه



شکل ۴- نتایج برآورد شاخص Z نرمال سالانه دشت شبستر

سال‌هایی که این شاخص بین +۱ و -۱ بوده، شرایط نرمالی وجود داشت.

نتایج محاسبه شاخص آب زیرزمینی در شکل ۵ گزارش شد. براساس این شکل در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ ترسالی شدید و در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ خشک‌سالی متوسط رخ داده و برای



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

های موردنظر با مقادیر GRI و همچنین تراز آب زیرزمینی به صورت جدول ۲ محاسبه گردید.

به منظور بررسی نحوه تاثیرگذاری خشک‌سالی بر تغییرات منابع آب زیرزمینی دشت شبستر، ضریب همبستگی بین مقادیر شاخص-

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

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

همبستگی کم‌تری داشته، ولی با SPI در مقیاس ۴۸، همبستگی بیش‌تری دارد، به گونه‌ای که این ضریب به میزان ۰/۲۴ می‌رسد. در

نتایج در جدول ۲ حاکی از آن است که مقادیر محاسبه شده GRI با شاخص SPI در مقیاس ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۶، ۲۴، ۳۶ ماهه و PN و ZSI

سناریوی ۱، سال نرمال تحت عنوان سناریوی ۲ و 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 شده است، 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 بسیار شدید 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 سناریوهای مربوط به هر مورد لحاظ گردید.

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

$$h = -0.15 + 0.4 * SPI48 \quad (15)$$

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

جدول ۳- نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویا براساس سناریوهای شرایط مختلف آب و هوایی

سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	وضع بهینه	وضع موجود	محصول (هکتار)
۸۱۳۴	۸۴۱۳	۸۴۲۰	۸۱۳۴	۸۲۱۰	گندم
۲۰۲۲	۱۷۸۰	۱۷۴۵	۲۰۲۲	۱۶۳۶	جو
۱۴۰	۲۶۴	۳۵۷	۱۴۰	۳۲۰	آفتاب‌گردان
۸۶۱	۹۹۹	۱۰۰۰	۸۶۱	۷۴۶	پیاز
۴۷۵	۴۲	۲۴	۴۷۵	۶۲۶	گوجه‌فرنگی
۲۴۸۴	۱۶۷۰	۶۸۸	۲۴۸۴	۲۶۸۶	یونجه
۳۸۶	۴۲۶	۴۳۶	۳۸۶	۴۱۰	خیار
۵۵۳	۵۵۳	۵۵۳	۵۵۳	۱۴۳۳	آیش
۲۰۷۷	۲۲۴۴	۲۲۴۴	۲۰۷۷	۱۹۸۸	سیب
۷۴۶	۱۱۵۳	۱۱۱۴	۷۳۷	۹۵۲	هلو
۱۱۸۲	۱۱۹۸	۱۱۹۸	۱۱۸۲	۱۲۶۳	زردآلو
۵۰۰	۷۱۳	۷۱۳	۵۰۰	۶۸۶	انگور
۱۱۶۰	۸۴۴	۸۸۳	۱۱۶۰	۱۲۶۵	بادام
۱۲۱۷	۷۳۰	۷۳۰	۱۲۲۵	۷۲۹	گردو
۸۴۱۸۴۶۹۰	۷۸۷۳۴۹۰۰	۷۰۹۱۱۱۱۰	۸۴۱۵۲۸۰۰	۸۶۵۳۰۰۰۰	مصرف سالانه آب زیرزمینی (m3)
۱۰۶۷۵۵۴۹	-۶۱۰۸۲۵۴	-۹۱۵۴۶۶۵	-۸۰۶۱۵۷۸	-۱۰۴۳۸۷۶۰	تغییرات سالانه حجم آبخوان (m3)
+۱۰۲/۳	+۴۱/۴۲	+۱۲/۱۸	+۲۲/۸	-	درصد تغییر حجم آبخوان نسبت به وضع موجود
+۰/۴۵	-۰/۲۵	-۰/۳۸	-۰/۳۴	-۰/۴۴	تغییرات سالانه ارتفاع آب (m)
۴۳۱۵۳۶۰	۴۲۲۰۸۸۰	۴۱۷۶۶۸۰	۴۳۱۳۴۱۰	۳۹۸۷۵۵۰	ارزش فعلی بازده ناخالص سالانه (میلیون ریال)
+۸/۲۲	+۵/۸۵	+۴/۷۴	+۸/۱۷	-	درصد تغییر ارزش بازده ناخالص نسبت به وضع موجود

منبع: یافته‌های تحقیق - m3: مترمکعب

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

مطابق نتایج جدول ۳، 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

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 جزئی 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 گرفته شود. 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. در غیر این صورت دبری 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 کم‌آبر 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

نیاز آبی کم‌تر، سطح زیرکشت جو نسبت به وضع موجود افزایش یافت. در رابطه با محصولات پرآب<sup>۲</sup> 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 سناریوی 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 این که 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 در نتیجه‌ی 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 نشان دهنده تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم‌آب می‌باشد. در صورتی که 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

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.



- دخاير آب شيرين حوضه آبريز جنوب غرب کشور ايران. سازمان هواشناسی کشور، هواشناسی کشاورزی.
- باریکانی، ا.، احمدیان، م.، خلیلیان، ص. و چیدری، 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.
- حسین زاده، ج.، جوادی، ا.، حیاتی، ب.، پیش بهار، ا. و دشتی، ق. ۱۳۹۰. کاربرد مدل کنترل بهینه در برداشت آب از منابع زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب شیر). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۱۸-۲۱۲: ۲۵-۲۰.
- حسین زاده، ج.، فرنام نیا، 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 خشک سالی با شاخص نرمال بارش (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۲۰: ۴۳-۴۰-۵۶.
- 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. ۱۵۷-۱۸۱: ۵-۱.
- سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی. 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 خشک سالی. همایش بهینه سازی مصرف آب در کشور، فرهنگستان علوم ایران.
- شمس الدینی، ا.، حمیدی، ح. و دهقان پور، ح. ۱۳۹۲. انتخاب الگوی زراعی مناسب در راستای استفاده پایدار از منابع آب با تاکید بر کم آبیاری مطالعه موردی شهرستان سپیدان. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۱: ۸۴-۷۸-۵۳.
- شیرزادی، س. و صبوچی 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. ۱۲۸-۱۰۷: ۶-۴.
- علوی نیا، س.، ساداتی نژاد، س. و عبداللهی، خ. ۱۳۹۰. ارایه مدلی برای پیش بینی خشک سالی هیدرولوژیکی در حوضه کارون یک. پژوهش های فرسایش محیطی. ۱.
- مفیدی پور، ن.، بردی شیخ، و.، اونق، م. و سعدالدین، ا. ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشک سالی هواشناسی و هیدرولوژی در حوزه آبخیز اترک. پژوهش نامه مدیریت حوزه آبخیز. ۳: ۱۶-۲۶-۵.
- میهن خواه، ن.، چیدری، ا. و صادقیان، ص. ۱۳۹۱. مدیریت بهره برداری بهینه از منابع آب سطحی با کاربرد برنامه ریزی پویا. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۲۶: ۴-۲۵-۲۴۴.
- نادریان فر، م.، انصاری، ح.، ضیایی، ع. و داوری، ک. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف. فصل نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۱: ۳۰-۳۷-۲۱.
- ناصرزاده، م. و احمدی، ا. ۱۳۹۱. بررسی عملکرد شاخص های خشک سالی هواشناسی در ارزیابی خشک سالی و پهنه بندی 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 تیان. فصل نامه علمی - پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران. ۳: ۹-۱۶۷-۱۵۱.
- نجفی علمدارلو، ح.، احمدیان، م. و خلیلیان، ص. ۱۳۹۲. ارزیابی اقتصادی سیاست قیمت گذاری آب زیرزمینی در دشت ورامین. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۳: ۵-۱۵۴-۱۳۷.
- وزارت نیرو. ۱۳۸۷. دفتر معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. تهران، سایت خبری وزارت نیرو.
- وزارت نیرو. دفتر مطالعات آب های زیرزمینی. ۱۳۹۰. گزارش ادامه مطالعه و وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت های دارای شبکه پیرومتریک. معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب، شرکت آب منطقه ای تهران.
- یاسمنی، س.، محمدزاده، ح. و مساعدی، ا. ۱۳۹۲. بررسی اثر خشک سالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت تربت جام - فریمان با بکارگیری شاخص های SPI و GRI. شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی 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

- 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 Science* 11.1:80- 93.
- Burt, O. 1966. Economic Control of Groundwater Reserves. *Journal of Farm Economics*. 48.3:632-647.
- Ejaz Qureshi, M., Ejaz Qureshi, 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.

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

J. Hosseinzad<sup>1\*</sup>, A. Sarbaz<sup>2</sup>, M. A. Ghorbani<sup>3</sup>  
Received: 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. Setting 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)