

بررسی هم‌زمانی روند خشک‌سالی و افت سطح آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت داراب)

اسداله خورانی¹، محمد خواجه^{2*}

1- استادیار جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

2- دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

دریافت: 92/9/15 پذیرش: 93/1/23

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم شرب و کشاورزی در دنیا به‌شمار می‌رود. بر اثر استحصال بیش از حد این منابع و خشک‌سالی‌ها در سال‌های اخیر، میزان سطح این منابع افت بسیاری داشته است. هدف این مطالعه بررسی تأثیر خشک‌سالی‌ها بر سطح آب زیرزمینی و برآورد تأخیر زمانی خشک‌سالی در دشت داراب است. به این منظور، با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه داراب و شاخص اقلیمی SPI، وضعیت خشک‌سالی استخراج شد و در نهایت، روند بارندگی و روند هجده‌ساله داده‌های سطح آب زیرزمینی دشت داراب نیز با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال تحلیل شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد منطقه مطالعه طی این دوره، دچار خشک‌سالی‌هایی شده و میزان بارندگی در آن روند کاهشی داشته است. براساس نتایج تحلیل‌هایی که در 42 حلقه چاه انجام شد، سطح آب زیرزمینی 40 حلقه چاه کاهش یافته و از 2 حلقه چاه دیگر، یکی روند ثابت داشته و سطح ایستابی دیگری افزایش پیدا کرده است. نتایج همبستگی داده‌های بارش و افت سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد افت سطح آب زیرزمینی با تأخیر پنج‌ماهه نسبت به بارش رخ می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت داراب، خشک‌سالی، آزمون من-کندال، SPI.

1- مقدمه

هر پدیده نامتعارفی در اتمسفر بر اجزای چرخه هیدرولوژیکی تأثیراتی دارد. آب زیرزمینی یکی از شاخص‌های غیرقابل دسترس نهایی چرخه هیدرولوژیکی است. خشک‌سالی و بارش سنگین باران

Email: mohammad.khajeh91@gmail.com

* نویسنده مسئول مقاله:



یکی از مهم‌ترین رویدادهای اقلیمی است که آثار کوتاه و بلندمدت بر منابع آب زیرزمینی در دسترس دارد (Panda Et al., 2008: 141). منابع آب دنیا در حال کاهش است و از آنجا که 85 درصد آب شیرین دنیا در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، استفاده از منابع آب برای تولیدات کشاورزی در کاهش سریع کمیت و کیفیت آب سهم زیادی دارد (GonzalezDugo Et al., 2010: 529). شاخص بحران آب در کشور ما به‌علت قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک، به‌مراتب نامطلوب‌تر از سطح متوسط در دنیاست؛ درحالی که تقریباً یک درصد از جمعیت جهان در ایران زندگی می‌کنند و سهم آن از کل منابع آب شیرین تجدیدشونده دنیا فقط 0/36 درصد است. از سوی دیگر، جهان فقط از 45 درصد منابع مطلوب خود استفاده کرده و کشور ما حدود 66 درصد از ذخایر آب شیرین خود را به مصرف رسانده است.

پاندا و همکاران (2007: 104) در پژوهشی، برای شناختن و یافتن روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه اریسا¹ هند و تأثیر خشک‌سالی و دخالت بشر از روش‌های آماری ناپارامتری من-کندال² استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد افت سطح آب به‌علت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری نتوانسته در سال‌های مرطوب، به‌وسیله تغذیه این افت را جبران کند.

ویسنت سرنانو و لوپز مورنا³ (2005: 503) واکنش هیدرولوژیکی خشک‌سالی‌های هواشناسی را با استفاده از شاخص SPI در مقیاس زمانی مختلف و در یک حوزه بزرگ بسته در مرکز اسپانیا بررسی کردند. براساس نتایج تحقیق آن‌ها، مقیاس زمانی بلندمدت (بیشتر از دوازده ماه) نمی‌تواند برای تعیین خشک‌سالی در این منطقه مفید باشد و به‌طور کلی، تغییرات جریان‌های سطحی با مقیاس زمانی کوتاه‌مدت SPI و منابع آب زیرزمینی با مقیاس زمانی بلندمدت (هفت تا ده ماه) قابل تبیین است.

به‌گفته پترز⁴ و همکاران (2006: 257)، کمبود پخش بارندگی در سراسر سیستم هیدرولوژیکی باعث می‌شود خشک‌سالی در بخش‌های مختلف سیستم هیدرولوژیکی (منطقه غیراشباع، آب زیرزمینی اشباع و آب سطحی) رخ دهد؛ همچنین خشک‌سالی‌های هواشناسی

1. Orissa

2. Mann-Kendall

3. Vicente-Serrano & Lopez-Moreno

4. Peters

باعث کاهش سطح آب زیرزمینی می‌شود و تعداد خشک‌سالی‌ها علت جابه‌جایی توزیع خشک‌سالی‌هاست.

خان، گابریل و رانا¹ (159: 2008) از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) برای بررسی اثر خشک‌سالی و بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در سه منطقه تحت آبیاری در حوزه ماری - دارلین استرالیا استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد بین شاخص SPI و نوسانات سطح آب زیرزمینی در منطقه همبستگی خوبی برقرار است و به وسیله آن می‌توان الگوی خشک‌سالی‌های اصلی در استرالیا را تعیین کرد.

محمدی، مرادی و وفاخواه (77: 1391) در بررسی توزیع مکانی و ارتباط بین خشک‌سالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک به این نتیجه رسیدند که طولانی‌ترین تداوم‌ها در خشک‌سالی‌های هواشناسی در نواحی شرقی و در آب‌های زیرزمینی در غرب حوزه اتفاق افتاده است و در ایجاد همبستگی بین بارش و افت سطح ایستابی، بهترین ضریب همبستگی، $-0/126$ است که در سطح $0/05$ معنادار بوده و تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی را با تأخیری دو ماهه نمایان می‌کند.

سیف، محمدزاده و مساعدی (1390) در مقاله «ارزیابی تأثیر خشک‌سالی بر افت منابع آب زیرزمینی در دشت فسا» به این نتیجه رسیدند که در طی خشک‌سالی، چاه‌های منطقه با افت زیادی روبه‌رو بوده‌اند.

شکیبا، میرباقری و خیری (105: 1389) در تحقیقات خود درباره تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی، ضمن بررسی نوسانات ماهیانه SPI و سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری سی‌ساله و ضریب همبستگی بین دو پارامتر یادشده به این نتیجه رسیدند که خشک‌سالی بر سطح آب زیرزمینی تأثیر بسیاری داشته است.

حمیدیان پور (15: 1384) نیز دوره‌های خشک‌سالی دشت مشهد و میزان تأثیر آن بر منابع آب را تحلیل کرد. نتایج پژوهش او حاکی از آن است که خشک‌سالی باعث تشدید افت آب‌های زیرزمینی و سطحی شده است؛ اما به‌تنهایی عامل بحران آب و کاهش آب‌های زیرزمینی نیست؛ بلکه بهره‌برداری بی‌رویه از منابع، تخریب پوشش گیاهی، توسعه بی‌رویه و

1. Khan, Gabriel & Rana



بدون توجه به ظرفیت‌های اقلیمی منطقه، و آمایش سرزمین از عوامل مهم افت آب‌های زیرزمینی نیز به‌شمار می‌رود. همچنین، شدت و فراوانی وقوع خشک‌سالی‌ها در حال افزایش است و بر منابع منطقه به‌ویژه منابع آب آثار نامطلوب خواهد داشت.

عزیزی (1382: 131) در مقاله «ارتباط خشک‌سالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین» به این نتیجه رسید که تعداد ناهنجاری‌های منفی بارش طی دوره مورد بررسی، بیش از تعداد ناهنجاری‌های مثبت بوده و تأثیر فعالیت‌های انسانی در ناهنجاری‌های منفی آب‌های زیرزمینی بسیار چشمگیر است؛ همچنین خشک‌سالی در آب‌های زیرزمینی با دو تا سه ماه تأخیر نسبت به خشک‌سالی‌های اقلیمی بروز می‌کند و به‌طور متوسط، طی این دوره مطالعاتی، در هر سال 25 سانتی‌متر آب زیرزمینی افت داشته است.

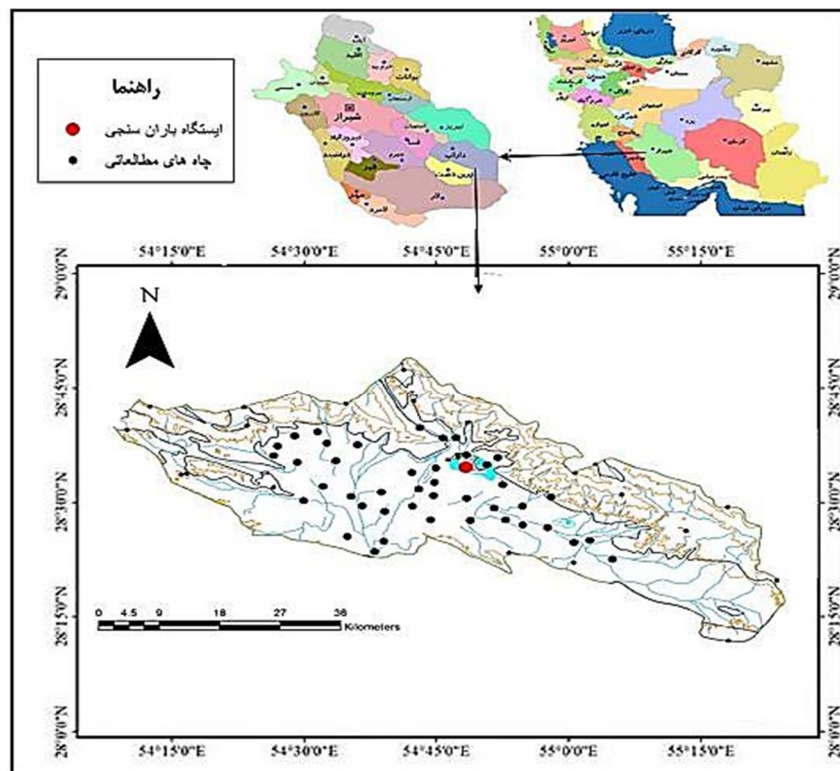
محمدی و شمسی‌پور (1382: 115) در تحقیق خود برای شناخت تأثیر خشک‌سالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان با استفاده از رابطه بتزولد دریافتند که خشک‌سالی بر منابع آب‌های سطحی منطقه آثار تخریبی مستقیم داشته؛ ولی در آب‌های زیرزمینی بین کاهش بارش و افت سطح ایستابی، ضریب همبستگی معناداری وجود ندارد و خشک‌سالی به‌صورت غیرمستقیم از طریق کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی از منابع آب سطحی، افزایش برداشت از چاه‌های عمیق جهت مصارف کشاورزی، افزایش دما، تبخیر و تعرق و تغییر نوع بارش در نتیجه کاهش میزان تغذیه از بارش‌های جوی و... بر منابع آب‌های زیرزمینی مؤثر است و آثار خشک‌سالی با تأخیر زمانی بیشتری در آب‌های زیرزمینی (با تأخیر نه‌ماهه) رخ می‌دهد.

تحقیق حاضر پایه‌ای برای مطالعات نظام‌مند در زمینه تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی دشت داراب است. با توجه به اینکه داراب دارای اقلیم خشک است و یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گندم و یکی از صادرکنندگان مرکبات در سطح کشور به‌شمار می‌رود و همچنین به‌علت نبود منابع آب سطحی چشمگیر و توسعه زیاد در بخش کشاورزی دشت داراب، لازم است افت منابع آب زیرزمینی در ارتباط با خشک‌سالی بررسی شود. هدف این تحقیق، بررسی تأثیر خشک‌سالی‌ها بر سطح آب زیرزمینی دشت داراب با استفاده از آزمون من-کندال در محیط نرم‌افزاری GSI Mann-Kendall Toolkit و بررسی هم‌زمانی روند خشک‌سالی و کاهش سطح آب زیرزمینی است و اینکه کاهش سطح آب زیرزمینی با چه تأخیر زمانی روی می‌دهد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- منطقه مورد مطالعه

دشت داراب با وسعت 680 کیلومتر مربع و موقعیت جغرافیایی $28^{\circ}35'$ تا $28^{\circ}44'$ شمالی و $54^{\circ}13'$ تا $54^{\circ}44'$ جنوبی و 1110 متر ارتفاع از سطح دریا، در جنوب شرق استان فارس واقع شده است. این شهرستان از شمال به شهرستان نیریز، از جنوب و جنوب شرق به شهرستان لار و زرین‌دشت، از شرق به استان هرمزگان و از غرب به شهرستان فسا متصل می‌شود (شکل 1). اقلیم شهرستان براساس روش دمارتن، خشک و حداکثر و حداقل مطلق دمای سالیانه به ترتیب 49 (تیرماه) و 9- (آذرماه) درجه سانتی‌گراد است. متوسط دما 22 درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالیانه در منطقه 275 میلی‌متر و متوسط تبخیر سالیانه 2767 میلی‌متر است (اداره کل هواشناسی فارس).



شکل 1 نقشه دشت داراب و چاه‌های مورد مطالعه



2-2- روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی میزان تغییرات سطح چاه‌ها، از داده‌های مربوط به 42 حلقه چاه که آماربرداری از آن‌ها از سال 1372 شروع شد و تا 1389 در دسترس بود، استفاده شده است. همچنین، برای تعیین شاخص خشک‌سالی، داده‌های مربوط به بارندگی از سال آبی 1370-1371 تا 1389-1390 ایستگاه داراب با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)¹ به کار گرفته شد. بسیاری از محققان خشک‌سالی، به انعطاف‌پذیری شاخص SPI و قابلیت آن برای هر مقیاس زمانی اذعان دارند (Hayes Et al., 1998: 430). این شاخص برای هر منطقه براساس ثبت بارش‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا، توزیع آماری مناسب برای آمار بلندمدت بارندگی‌ها برازش داده می‌شود؛ سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود؛ به طوری که استاندارد شده، متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود (Edwards & Mckee, 1997). مقادیر مثبت SPI بارش بیش از میزان متوسط را نشان می‌دهد و مقادیر منفی آن معنای عکس دارد. براساس این روش، دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار 1- یا کمتر برسد و زمانی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود (جدول 2). برای محاسبه این شاخص از محیط نرم‌افزاری DIP² استفاده شده است که داده‌های ورودی به صورت ماهیانه وارد و شاخص به صورت سالیانه محاسبه شد.

جدول 1 طبقه‌بندی مقادیر شاخص SPI

مقادیر شاخص	طبقات
>2	ترسالی بسیار شدید
1/5 تا 1/99	ترسالی شدید
1 تا 1/49	ترسالی
-0/99 تا 0/99	نرمال
-1 تا -1/49	خشک‌سالی
-1/5 تا -1/99	خشک‌سالی شدید
<-2	خشک‌سالی بسیار شدید

(Source: Hayes Et al., 1998: 430)

1. Standardized Precipitation Index (SPI)
2. Drought Indices Package

برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از آزمون آماری من-کندال استفاده شده است. من-کندال آزمون آماری ناپارامتری است که برای تجزیه و تحلیل روند در داده‌های بلندمدت استفاده می‌شود. روش‌های ناپارامتری با توجه به زمینه توزیع آماری داده‌ها، به هیچ مفروضاتی نیاز ندارند. براساس این، آزمون من-کندال به توزیع آماری خاص و تست حساسیت نمونه‌گیری به فاصله نیاز ندارد. نتایج این روش به رتبه نقاط داده‌های فرد بستگی دارد، نه به اندازه کلی نقاط. بنابراین، روش من-کندال می‌تواند برای مجموعه داده‌هایی شامل فواصل نمونه‌برداری نامنظم، اطلاعات زیر حد تشخیص، و اطلاعات ازدست‌رفته یا ناچیز به کار رود. این آزمون به‌ویژه در مواردی سودمند است که می‌توان اندازه‌گیری داده‌ها را با استفاده از روش‌های پارامتری تجزیه و تحلیل کرد. همچنین، این روش می‌تواند برای ردیابی روند داده‌ها با هدف ارزیابی قابل قبول آب‌های زیرزمینی، بررسی مکان و نظارت بر کارایی عملکردهای اصلاحی آب زیرزمینی استفاده شود. این روش ابزارهایی دارد که به‌طور گسترده در مطالعات منابع آب به کار برده می‌شوند (Connor, Farhat & Vanderford, 2012: 1). روابط مربوطه برای تعیین مقادیر آماره من-کندال به این صورت است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad \text{رابطه 1}$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه 2}$$

$$\text{var}(s) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad \text{رابطه 3}$$

$$Z_M = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه 4}$$



در این روابط، n تعداد داده مشاهده شده (طول دوره آماری)، X_i و X_j به ترتیب آمین و ژامین داده مشاهده شده و q تعداد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در p آمین گروه و Z_m مقدار آماره من-کندال است. مقدار منفی Z_m بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌هاست. با توجه به سطح معناداری $0/05$ ، اگر $|Z_m| < 1/96$ باشد، فرض صفر رد می‌شود و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنادار خواهد شد؛ در غیر این صورت، فاقد روند ارزیابی می‌شود.

برای روندیابی از نرم‌افزار GSI Mann-Kendall Toolkit¹ استفاده شده است. این جعبه ابزاری برای تجزیه و تحلیل آماری با بهره‌گیری از روش روند غلظت است که در ابتدا در نرم‌افزار MAROS گنجانده شده است (Aziz Et al., 2003; Afcee, 2004). آزمون من-کندال برای تجزیه و تحلیل روند-همان‌طور که در این بسته کدگذاری شده-متکی بر سه پارامتر آماری است (Aziz Et al., 2003) که در زیر شرح داده می‌شود: آماره S : نشان می‌دهد آیا روند در بازه زمانی به صورت کاهشی ($-S$) یا افزایشی ($+S$) اتفاق افتاده است.

ضریب اطمینان: میزان ضریب اطمینان محاسبه آماره S را اصلاح می‌کند و درجه‌ای از اعتماد به نفس را در تحلیل روند نشان می‌دهد؛ برای مثال کاهشی، احتمالاً کاهشی، افزایشی و احتمالاً افزایشی. همچنین، اگر میزان ضریب اطمینان کم باشد، به دلیل تنوع زیاد در داده‌ها یا تغییرات اندک در آن است.

ضریب واریانس: ضریب واریانس برای تمایز میان نتیجه «بدون روند» (پراکندگی زیاد در روند مقابل زمان) و نتیجه «پایدار» (تنوع محدود در برابر زمان) برای مجموعه داده با روند کاهشی یا افزایشی اندک بوده است.

1. لینک دانلود نرم‌افزار و راهنمای آن:

<http://www.gsi-net.com/en/software/free-software/gsi-mann-kendall-toolkit.html>

جدول 2 واحدهای آماری استفاده‌شده در آزمون من-کندال

روند	اطمینان در روند (CF)	آماره S
افزایش	$CF > 95\%$	$S > 0$
احتمال افزایش	$95\% \geq CF \geq 90\%$	$S > 0$
بدون روند	$CF < 90\%$	$S > 0$
بدون روند	$CF < 90\%$ and $COV \geq 1$	$S \leq 0$
ثابت	$CF < 90\%$ and $COV < 1$	$S \leq 0$
احتمال کاهش	$95\% \geq CF \geq 90\%$	$S < 0$
کاهش	$CF > 95\%$	$S < 0$

(Source: Ibid)

نرم‌افزار GSI Mann-Kendall Toolkit تحت نرم‌افزار Excel اجرا می‌شود که هربار نرم‌افزار آمار هفت چاه را تحلیل می‌کند. این نرم‌افزار شامل هشت ستون است که در قسمت SAMPLING DATA تاریخ نمونه‌برداری از چاه‌ها و در هفت ستون دیگر (Mon Well 1, ..., 7)، داده‌های آماری مربوط به هریک از چاه‌ها براساس تاریخ نمونه‌برداری وارد می‌شود. درنهایت، پس از وارد کردن داده‌ها، نرم‌افزار خروجی را به‌صورت عددی و نمودار قرار می‌دهد و همچنین نوع روند را در اختیار می‌گذارد.

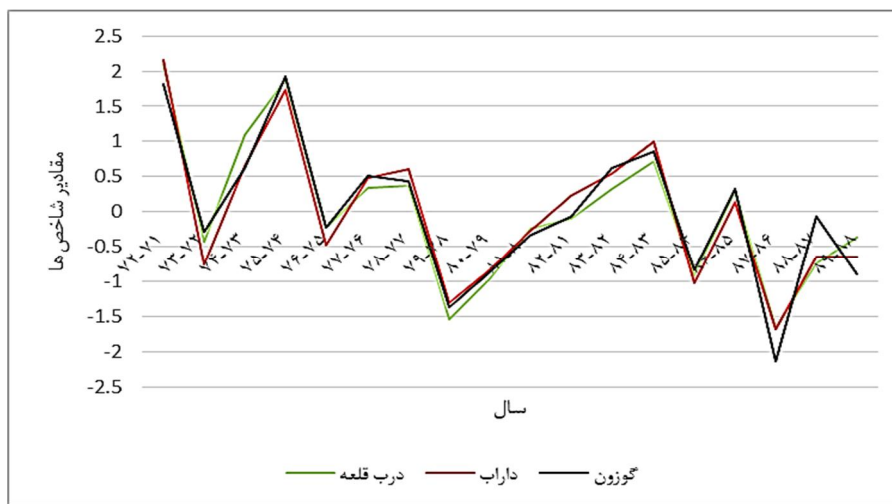
3- یافته‌ها

3-1- بررسی وضعیت (پایش) و روند خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه

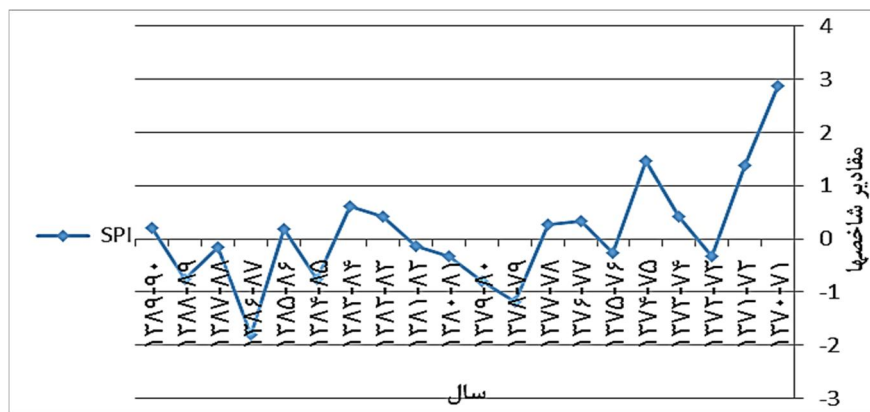
ابتدا با استفاده از سه ایستگاه داراب، دربقلعه و گوزون، وضعیت بارندگی دشت داراب بررسی شد. با بررسی وضعیت خشک‌سالی هر سه ایستگاه و برآورد همبستگی بین داده‌های بارش آن‌ها (جدول 3) با روش پیرسون این نتیجه به‌دست آمد که هر سه ایستگاه دارای بیشترین همبستگی هستند و نمودار مربوط به شاخص خشک‌سالی (شکل 2) نشان داد این سه ایستگاه از نظر مقادیر شاخص SPI در هر دوره زمانی یکسان هستند. سپس با توجه به اینکه ایستگاه داراب از نظر موقعیت، در مرکز دشت قرار داشت، به‌عنوان ایستگاه مبنا در این تحقیق انتخاب شد.

جدول 3 همبستگی بین ایستگاه‌های داراب، درب‌قلعه و گوزون

گوزون	داراب	درب‌قلعه		
0/966**	0/975**	1	همبستگی پیرسون	درب‌قلعه
0/972**	1	0/975**	همبستگی پیرسون	داراب
1	0/972**	0/966**	همبستگی پیرسون	گوزون
** سطح معناداری 0/01				

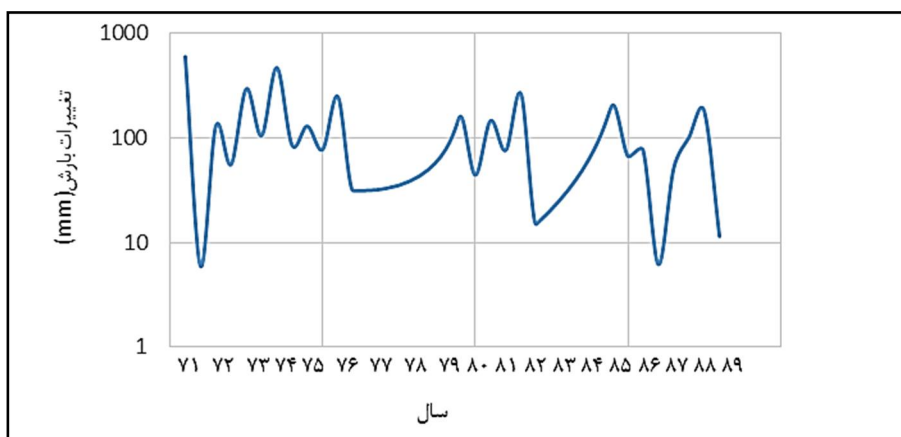


شکل 2 نمودار شاخص SPI در ایستگاه‌های داراب، درب‌قلعه و گوزون از سال آبی 1371-1389



شکل 3 نمودار شاخص SPI در ایستگاه داراب از سال آبی 1370-1389

برپایه شکل شماره سه، در این تحقیق دشت داراب دارای ترسالی شدید و متوسط است که هرکدام به ترتیب در سال‌های 1370-1371، 1371-1372 و 1374-1375 رخ داده است. همچنین، این منطقه دارای خشک‌سالی شدید و متوسط است که هرکدام در طول سال‌های 1386-1387 و 1378-1379 رخ داده است و بقیه سال‌ها دارای خشک‌سالی نرمال هستند.



شکل 4 نمودار بررسی روند بارش با استفاده از آزمون من-کندال در ایستگاه داراب

نتیجه تحلیل روند داده‌های بارشی (سال آبی 1371-1389) با ضریب واریانس $1/06$ ، آماره من-کندال $99-$ و ضریب اطمینان $90/9$ نشان می‌دهد میزان بارندگی در دوره مورد مطالعه روند کاهشی داشته است. شکل شماره چهار روند بارندگی را نشان می‌دهد.

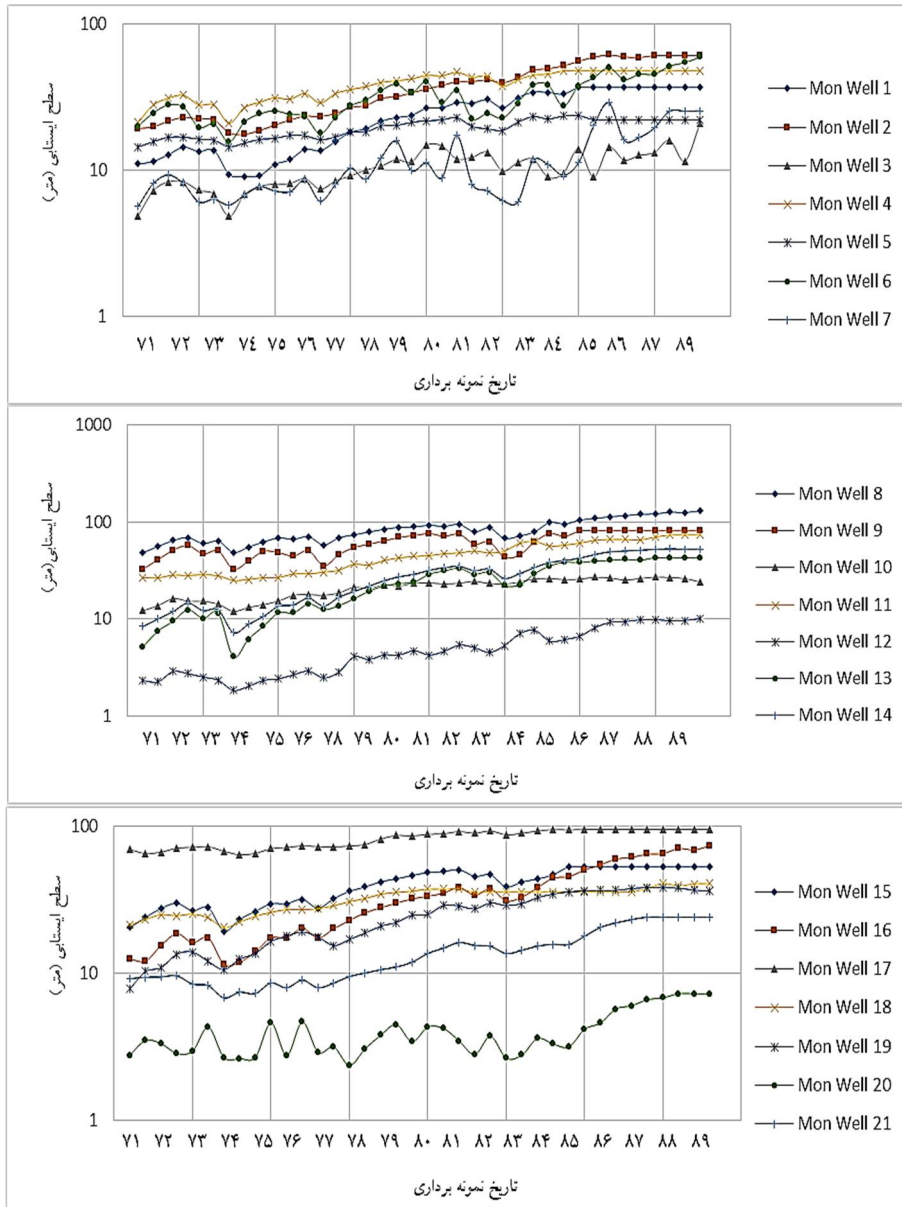
3-2- بررسی سطح آب زیرزمینی و ارتباط آن با خشک‌سالی و تحلیل روند هم‌زمانی آن‌ها
 با استفاده از نرم‌افزار Mann-kendal toolkit داده‌های فصلی مربوط به سطح آب زیرزمینی تحلیل شده و نتایج آن در جدول شماره چهار آمده است. نتایج تحلیل داده‌های افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از آزمون من-کندال در سطح معناداری $0/05$ در دشت داراب نشان می‌دهد (جدول 4) افت سطح آب زیرزمینی چهل حلقه از چاه‌ها با روند افزایشی مواجه شده (بیشتر افت کرده است)، افت سطح آب زیرزمینی یک حلقه چاه روند کاهشی داشته (افزایش سطح

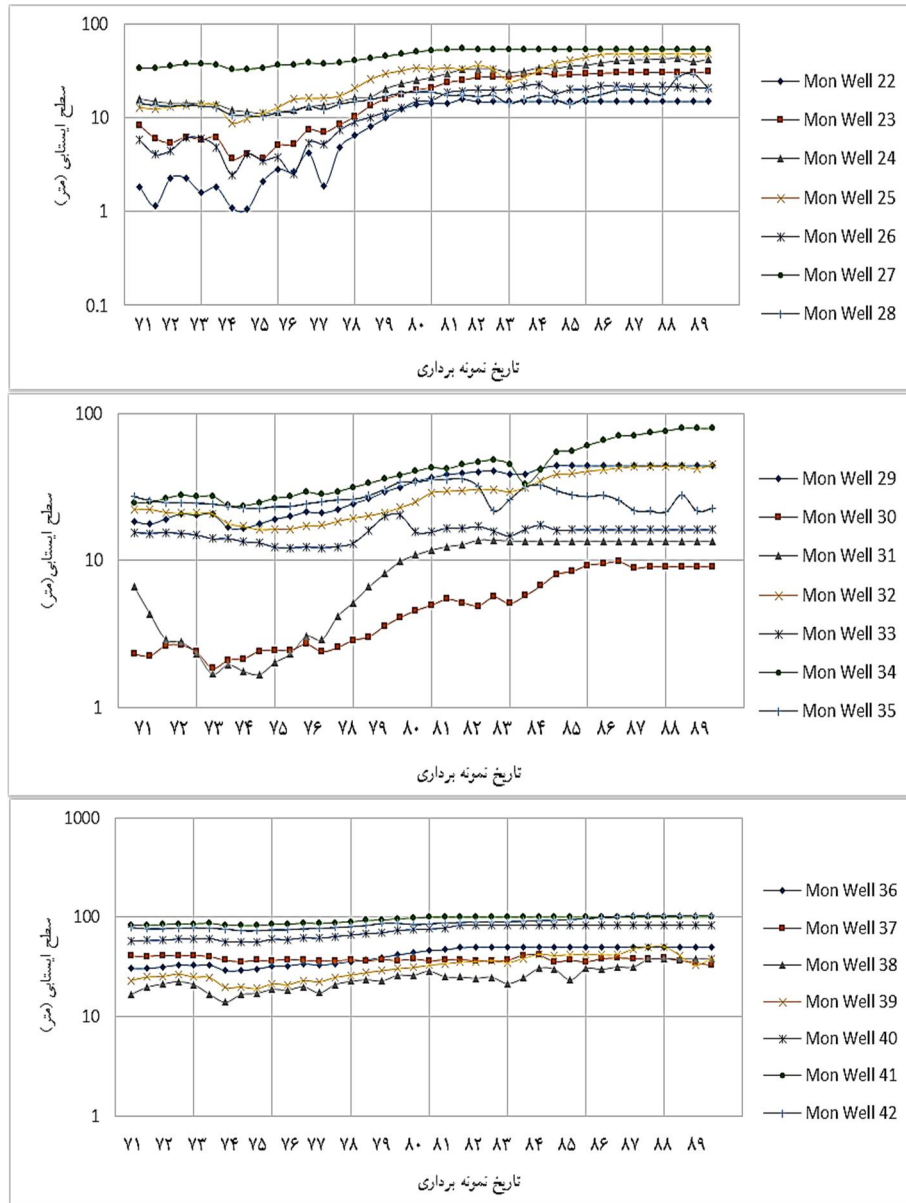


ایستایی) و افت سطح آب زیرزمینی یک حلقه نیز دارای روند ثابت بوده است. با توجه به بازدید میدانی و بررسی موقعیت این چاه‌ها در دشت، چاه شماره 37 در خروجی حوزه دشت داراب قرار دارد و چون رواناب خروجی دشت در این منطقه جمع و از آن خارج می‌شود، باعث تجدید افت این حلقه چاه می‌شود. دلیل ثابت بودن روند در چاه شماره 35، ممکن است قرار داشتن در مسیر رودخانه دائمی خرچنگ و تغذیه از آن باشد. شکل شماره پنج نتایج مربوط به روند در هریک از چاه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول 4 نتایج تحلیل سطح آب زیرزمینی با آزمون من-کندال در 42 حلقه چاه

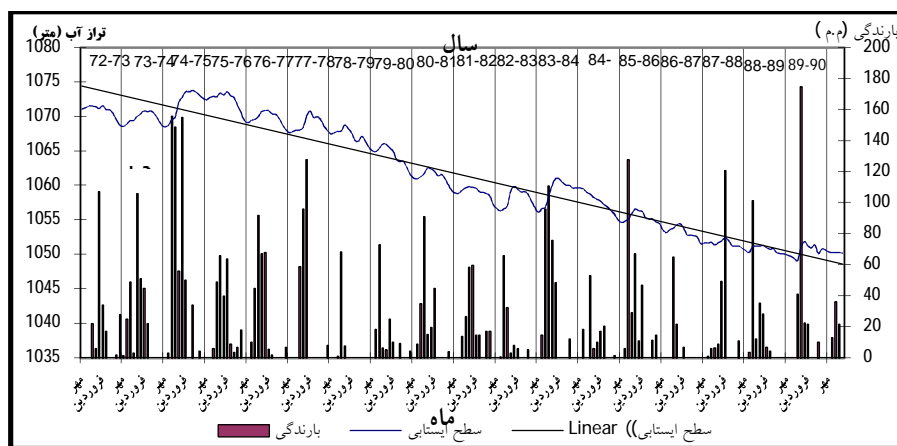
چاه	ضریب واریانس	آماره من- کندال (s)	ضریب اطمینان	روند	چاه	ضریب واریانس	آماره من- کندال (s)	ضریب اطمینان	روند
1	0/44	587	>99/9%	افزایش	22	0/63	489	>99/9%	افزایش
2	0/42	618	>99/9%	افزایش	23	0/59	587	>99/9%	افزایش
3	0/31	431	>99/9%	افزایش	24	0/45	551	>99/9%	افزایش
4	0/22	563	>99/9%	افزایش	25	0/48	568	>99/9%	افزایش
5	0/15	483	>99/9%	افزایش	26	0/56	503	>99/9%	افزایش
6	0/35	429	>99/9%	افزایش	27	0/18	497	>99/9%	افزایش
7	0/55	389	>99/9%	افزایش	28	0/25	405	>99/9%	افزایش
8	0/28	553	>99/9%	افزایش	29	0/34	568	>99/9%	افزایش
9	0/27	453	>99/9%	افزایش	30	0/55	575	>99/9%	افزایش
10	0/23	555	>99/9%	افزایش	31	0/57	447	>99/9%	افزایش
11	0/37	630	>99/9%	افزایش	32	0/35	505	>99/9%	افزایش
12	0/53	591	>99/9%	افزایش	33	0/12	240	>99/9%	افزایش
13	0/54	605	>99/9%	افزایش	34	0/43	610	>99/9%	افزایش
14	0/54	619	>99/9%	افزایش	35	0/16	20	59/4%	روند ثابت
15	0/28	542	>99/9%	افزایش	36	0/2	525	>99/9%	افزایش
16	0/55	613	>99/9%	افزایش	37	0/05	-141	96/1%	کاهشی
17	0/14	585	>99/9%	افزایش	38	0/27	504	>99/9%	افزایش
18	0/19	524	>99/9%	افزایش	39	0/28	495	>99/9%	افزایش
19	0/41	622	>99/9%	افزایش	40	0/15	493	>99/9%	افزایش
20	0/36	310	>99/9%	افزایش	41	0/08	536	>99/9%	افزایش
21	0/42	543	>99/9%	افزایش	42	0/12	585	>99/9%	افزایش





شکل 5 نمودار روند سطح آب 42 حلقه چاه از سال 1371-1389

محاسبه و بررسی میزان کاهش سطح ایستابی دشت در هر دوره آماربرداری (گرفتن میانگین حسابی از سطح ایستابی 42 حلقه چاه) و نمودار تغییرات میانگین سطح آب زیرزمینی 42 حلقه چاه در دشت داراب نشان‌دهنده افت این چاه‌ها در این دوره هجده ساله است (شکل 6). روند کلی تغییرات میانگین سطح آب زیرزمینی در شکل شماره شش سیر نزولی دارد. با توجه به اندازه‌گیری‌ها، متوسط حداکثر افت این چاه‌ها در طول 18 سال حدود 84/35 متر، متوسط حداقل افت حدود 6/72- متر و میانگین افت چاه‌ها در طول 18 سال 24/37 متر بوده است؛ یعنی سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط سالیانه، افتی برابر با 1/35 متر داشته است (جدول 5). همچنین، با مقایسه منابع آب در سال 1372 و 1388 مشاهده شد که طی این سال‌ها، تعداد چاه‌ها افزایش 82/7 درصدی داشته است. این امر سبب شده است تعداد قنات‌ها و چشمه‌ها - منابعی مطمئن که سازگار با محیط زیست و متناسب با کشاورزی پایدارند - به ترتیب 79/3 و 80/95 درصد کاهش یابند و میزان برداشت آب از منابع آب تغییر 12/4 درصدی داشته باشد (جدول 6). افزایش میزان برداشت آب در سال‌های اخیر و مقایسه آن با نمودار خشک‌سالی (شکل 3) نشان می‌دهد طی خشک‌سالی‌های اخیر (از سال 1385 به بعد) میزان برداشت آب نیز افزایش زیادی داشته و بین میزان برداشت و بارندگی‌ها هیچ تناسبی وجود نداشته است و بارندگی‌ها توانایی جبران کمبود منابع آب زیرزمینی را نداشته‌اند.



شکل 6 تغییرات میانگین سطح آب زیرزمینی دشت داراب

جدول 5 تغییرات سطح آب زیرزمینی طی هجده سال در دشت داراب (متر)

افزایش سطح ایستابی طی هجده سال	میانگین افت چاه‌ها	افت متوسط سالیانه	حداکثر افت طی هجده سال
6/72-	24/37	1/35	84/35

جدول 6 مقایسه منابع آب در سال 1372 و 1388 (واحد میزان برداشت آب: میلیون مترمکعب)

سال	میزان برداشت	چشمه	قنات	حلقه چاه
1372	360	21	29	1500
1388	405	4	6	2740
تغییرات (%)	12/4	-80/95	-79/3	82/7

با توجه به هیدروگراف ترسیم‌شده (شکل 6)، روند افت سطح آب زیرزمینی از دو ویژگی: نوسانات ماهیانه و روند کلی افت سطح اساس نسبت به متوسط آن پیروی می‌کند. به‌منظور تعیین کمی ارتباط بارش ماهیانه و تغییرات ماهیانه سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشت، ضریب همبستگی بین بارش ماهیانه و تغییرات ماهیانه سطح ایستابی محاسبه شده است. این ضرایب همبستگی با اینکه ارتباط مستقیم بارش و نوسان ماهیانه سطح آب را نمایان می‌کنند، در مورد ارتباط هم‌زمان بارش و سطح آب زیرزمینی از سطح اطمینان پایینی برخوردارند. ضعف ضریب همبستگی هم‌زمان بین بارش و سطح آب بیشتر به دو دلیل است: 1- نفوذ آب ناشی از بارش و ذوب برف‌ها به عمق زمین و رسیدن به سطح آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی همراه است؛ 2- مقدار بارش ماهیانه و مقدار برداشت از آب زیرزمینی آهنگ منظمی ندارد. بنابراین، برای تعیین ارتباط کمی بارش‌های ماهیانه و تغییرات ماهیانه سطح آب زیرزمینی، ابتدا میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی 42 حلقه چاه در دشت داراب (از سال 1371 - 1390) و همبستگی آن با میزان بارندگی ماهیانه (از سال 1371 - 1390) در نرم‌افزار Spss با روش پیرسون محاسبه شد؛ سپس همبستگی بین داده‌های میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی با یک تا هشت ماه تأخیر در بارندگی ماهیانه تعیین شد. در جدول شماره هفت

ضرایب همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و بارش‌های یک تا هشت ماه قبل نیز به ترتیب آمده است.

در شکل شماره شش مشاهده می‌شود که حداکثرهای منحنی تغییرات آب زیرزمینی دشت داراب در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر، ولی حداکثر بارش در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند رخ داده است. با توجه به جدول میزان همبستگی بارش و مقادیر سطح ایستابی (جدول 7)، در ماه وقوع بارش و دو ماه پس از آن، افزایش سطح ایستابی رخ نداده (ضریب همبستگی $-0/569$ ، $-0/543$ و $-0/227$) و از سه ماه به بعد، این همبستگی افزایش یافته است و با توجه به ضریب همبستگی ($0/297$) بارش پنج ماه قبل، بالاترین همبستگی را با سطح آب زیرزمینی داراست. همچنین، با مشاهده نمودار میانگین تغییرات آب زیرزمینی در شکل شماره شش این نتیجه به دست می‌آید که با هر کاهشی در بارندگی طی مدتی کوتاه، سطح ایستابی چاه‌ها روند کاهشی دارند؛ اما پس از مدتی این کاهش جبران می‌شود.

جدول 7 ارتباط بارش و افت سطح ایستابی ماهیانه با ضریب همبستگی پیرسون

	هم‌زمان	تأخیر 1 ماه	2 ماه	3 ماه	4 ماه	5 ماه	6 ماه	7 ماه	8 ماه
ضریب همبستگی پیرسون	$-0/569^{**}$	$-0/543^{**}$	$-0/227^{**}$	$0/016$	$0/163^*$	$0/297^{**}$	$0/225^{**}$	$0/241^{**}$	$0/133$
سطح معناداری	$0/000$	$0/000$	$0/001$	$0/817$	$0/016$	$0/00$	$0/001$	$0/00$	$0/051$

* در سطح $0/5$ معنادار است.

** در سطح $0/01$ معنادار است.

بررسی و مقایسه داده‌های سطح ایستابی چاه‌ها با میزان بارندگی گویای این است که در فصل بهار و تابستان هر سال (به‌علت اینکه بارندگی‌ها در دشت داراب بیشتر در فصل پاییز و زمستان و همچنین میزان آبیاری و برداشت آب از چاه‌ها بیشتر در فصل بهار و تابستان صورت می‌گیرد) سطح آب زیرزمینی افت چشمگیری دارد. از مقایسه نمودارهای روند در سطح آب زیرزمینی (شکل 5) با نمودار شاخص SPI (شکل 3) و نمودار بارندگی که با آزمون



من-کندال روندیابی شده (شکل 4)، این نتیجه به‌دست می‌آید که با هر کاهش بارندگی در زمان یادشده، افت سطح آب زیرزمینی اتفاق افتاده است. طی خشک‌سالی‌های شدیدی که در سال‌های 1386-1387 و 1378-1379 رخ داده، سطح آب زیرزمینی منطقه در این سال‌ها به‌شدت کاهش داشته است. در سال‌هایی که ترسالی شدید و متوسط رخ داده (1370-1371، 1371-1372 و 1374-1375)، سطح آب زیرزمینی تا حدی بهبود یافته است.

4- نتیجه

با ارزیابی میزان بارندگی طی هجده سال اخیر و تعیین خشک‌سالی با شاخص SPI و روندیابی بارش با آزمون من-کندال، این نتیجه حاصل شد که دشت داراب طی این دوره مطالعاتی با خشک‌سالی‌هایی روبه‌رو بوده است. مطالعات اولیه نشان می‌دهد سطح آب زیرزمینی در چاه‌های بررسی‌شده به بارندگی فصلی خیلی حساس است و هر بی‌نظمی در بارش به‌طور مستقیم بر سطح آب زیرزمینی تأثیر دارد. تحلیل بارندگی با آزمون من-کندال حاکی از این است که میزان بارندگی طی این دوره روند کاهشی داشته است. رسم نمودار میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی نیز نشان می‌دهد میزان آب زیرزمینی طی این دوره، هر ساله حدود 1/35 متر کاهش داشته است. تحلیل داده‌های فصلی آب زیرزمینی با آزمون من-کندال در سطح معناداری 0/05 روی 42 حلقه چاه گویای این است که حدود 40 حلقه چاه با افزایش افت روبه‌رو بوده، 1 حلقه چاه روند ثابتی در میزان افت داشته و 1 حلقه چاه دیگر نیز کاهش در افت را نشان داده است.

با بررسی مکان این چاه‌ها روی نقشه توپوگرافی دشت داراب آشکار می‌شود که این چاه‌ها در خروجی حوزه قرار دارند و این امر در تغییر نکردن و کاهش افت سطح آن‌ها نیز نقش داشته است. نقش عامل انسانی در افت سطح آب زیرزمینی دشت داراب بسیار مشهود است. به‌گزارش فلاح و همکاران (1391: 166)، پیشرفت فناوری در کنار بی‌توجهی به پایداری کشاورزی باعث افزایش حفر چاه‌ها شده است؛ به‌گونه‌ای که طی این شانزده سال، تعداد چاه‌ها در دشت داراب افزایش 82/7 درصدی داشته است. این امر سبب شده است تعداد قنات‌ها و چشمه‌ها- منابعی مطمئن که سازگار با محیط زیست و متناسب با کشاورزی پایدارند-

به ترتیب 79/3 و 80/95 درصد کاهش یابد. در سال‌های اخیر که خشک‌سالی‌ها افزایش داشته، میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی زیاد شده؛ تا آنجا که بین بارندگی‌ها و برداشت آب زیرزمینی هیچ تناسبی وجود ندارد. افزونی تعداد چاه‌ها افزایش سطح زیر کشت را به همراه داشته است؛ به طوری که طی شانزده سال، سطح زیر کشت گندم 1/3، پنبه 1/7 و ذرت دانه‌ای 18/3 برابر شده که این افزایش سطح زیر کشت موجب مصرف بیشتر منابع آبی منطقه شده است. وجود آب با کیفیت مناسب در مرز بالایی باعث گسترش زمین‌های زراعی و برداشت بیش از حد از این مناطق شده است. با این حال، در مناطقی که افت کمتری اتفاق افتاده، به سبب وجود شوره‌زار و در نتیجه نامناسب بودن کیفیت آب، میزان برداشت از این مناطق کمتر بوده است.

از مقایسه نمودارهای بارندگی و سطح آب زیرزمینی 42 حلقه چاه دریافت می‌شود که طی سال‌های خشک‌سالی و فصل فاقد بارش، افت چاه روند افزایش داشته و در سال‌های دارای ترسالی و فصل بارش، سطح آب زیرزمینی چاه‌ها بهبود یافته که بیانگر آن است خشک‌سالی‌های اقلیمی کوتاه‌مدت بر سطح آب زیرزمینی اثری ندارد؛ اما در بلندمدت باعث افزایش افت سطح آن می‌شود. طی این سال‌ها، به دلیل اینکه میزان چاه‌های غیرمجاز در دشت داراب افزایش داشته، بر سطح آب زیرزمینی می‌تواند تأثیرگذار باشد. خشک‌سالی در دشت داراب بیشترین نوسانات را روی سطح آب زیرزمینی داشته که طی سال‌های اخیر با افزایش میزان برداشت، میزان افت چاه‌ها زیاد شده است.

نتایج این تحقیق با تحقیقات محمدی و شمسی‌پور (1382) (اثر مثبت خشک‌سالی بر افت سطح آب زیرزمینی و تأخیر زمانی کاهش سطح آب زیرزمینی نسبت به خشک‌سالی‌ها)، دلپ و همکاران (2007) (اثر مثبت خشک‌سالی و فعالیت‌های انسانی بر کاهش سطح آب زیرزمینی) و شکیب، میرباقری و خیری (1389) (همبستگی بین خشک‌سالی و کاهش سطح آب زیرزمینی) مشابه بوده است.

سخن پایانی این است که با درپیش گرفتن شیوه‌های مدیریتی درست و افزایش بازده سیستم‌های آبیاری، موجب کاهش برداشت از سطح آب زیرزمینی خواهیم شد؛ زیرا اگر با همین روند سطح آب زیرزمینی در آینده کاهش یابد، دیری نمی‌گذرد که بارندگی‌ها نیز نمی‌تواند در این روند روبه‌کاهش مؤثر باشد. همچنین، با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی و



اسدالله خورانی و همکار _____ بررسی هم‌زمانی روند خشک‌سالی و افت سطح ...
تخصیص منابع آب، سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب بررسی شود و به برنامه‌ریزی و مدیریت الگوی کشت در این دشت پرداخته شود.

5- منابع

- حمیدیان‌پور، محسن، تحلیل دوره‌های خشک سالی دشت مشهد و میزان تأثیر آن بر منابع آب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهیدبهبشتی، تهران، 1384.
- شکیبیا، علیرضا، بابک میرباقری و افسانه خیری، «خشک‌سالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI»، فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، س 8، ش 25، صص 105-124، 1389.
- صیف، محبوبه، حسین محمدزاده و ابوالفضل مساعدی، «ارزیابی تأثیر خشک‌سالی بر افت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت فسا)» در پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت‌معلم، تهران، 1390.
- عزیزی، قاسم، «ارتباط خشک‌سالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین»، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ش 46، صص 131-143، 1382.
- غیور، حسنعلی، «بزرگی و گستره و فراوانی خشک‌سالی‌ها در ایران»، تحقیقات جغرافیایی، ش 45، صص 25-39، 1376.
- فلاح، سیف‌اله و همکاران، «بررسی پایداری منابع آب زیرزمینی دشت داراب استان فارس»، مجله پژوهش آب در کشاورزی، ج 26، ش 2، صص 161-172، 1391.
- کردوانی، پرویز، ژئوهیدرولوژی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، 1370.
- محمدی، حسین‌مراد و علی‌اکبر شمسی‌پور، «تأثیر خشک‌سالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان»، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ش 45، صص 115-130، 1382.
- محمدی، محسن، حمیدرضا مرادی و مهدی وفاخواه، «توزیع مکانی و ارتباط بین خشک‌سالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک»، فصلنامه جغرافیایی طبیعی، س 5، ش 15، صص 77-84، 1391.

- نادریان‌فر، محمد و همکاران، «بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت شرایط اقلیمی مختلف در حوضه آبریز نیشابور»، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، س 1، ش 3، صص 23- 37، 1390.

- Afcee, "Monitoring and Remediation Optimization Software: User's Guide", *HQ Air Force Center for Engineering and the Environment*, 2004.
- Aziz, J.J. Et al., "MAROS: A Decision Support System for Optimizing Monitoring Plans", *Ground Water*, No. 41(3), Pp. 355- 367, 2003.
- Azizi, G., "Relation of Recent Droughts and Groundwater Resources in the Qazvin Plain", *Journal of Geographical Research*, No. 46, Pp. 143-131, 2003. [In Persian]
- Connor, J.A., S.K. Farhat & M. Vanderford, "GSI Mann-Kendall Toolkit for Constituent Trend Analysis", *Version 1, GSI Environmental Inc.*, 16 P., 2012.
- Edwards, D.C. & T.B. Mckee, "Characteristics of 20th Century Drought in the United State at Multiple Time Scales", *Climatology Report Number 97-2, Colorado Etate University, Fort Collins, Colorado*, 1997.
- Fallah, S.A. Et al., "Investigating the Stability of Groundwater Resources of Darab Plain in Fars", *Journal of Water Research in Agriculture*, No. 2, Pp. 172- 161, 2012. [In Persian]
- Ghayour, H.A., "Magnitude and the Scope and Frequency of Droughts in Iran", *Geographical Research*, No. 45, Pp. 29- 32, 1998. [In Persian]
- Gonzalez Dugo, V., J.L. Durand & F. Gastal, "Water Deficit and Nitrogen Nutrition of Crops: A Review". *Agronomy for Sustainable Development*, No. 30, Pp. 529- 54, 2010.

- Hamidianpour, M., *Analysis of Drought Periods in Mashhad Plain and the Effects on Water Resources*, MSc Thesis, University of Shahid Beheshti, 2005. [In Persian]
- Hayes, M.J. Et al., "Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80 P., 1998.
- Kardavani, P., *Geo-hydrology*, Tehran: Tehran University Press, 1991. [In Persian]
- Khan, S., H.F. Gabriel & T. Rana, "Standard Precipitation Index to Track Drought and Assess Impact of Rainfall on Water Tables in Irrigation Areas", *Irrig Drainage Syst*, No 22, Pp. 159- 177, 2008.
- Mohammadi, H. & A.A. Shamsipour, "The Impact of Recent Droughts in the Decline of Groundwater Resources in Northern Plains of Hamadan", *Journal of Geographical Research*, No. 45, Pp. 130- 115, 2003. [In Persian]
- Mohammadi, M., H.R. Moradi & M. Vafakhah, "Spatial Distribution and the Relationship between Groundwater and Meteorological Drought in the Plains of Arak", *Natural Geographic Quarterly*, Issue 15, Pp. 77- 84, 2011. [In Persian]
- Naderian-far, M. Et al., "Evaluation of Changes in Groundwater Level Fluctuations under Different Climatic Conditions in the Catchment of Neyshabur", *Journal of Irrigation and Water Engineering*, Vol. 1, No. 3, Pp. 23- 37, 2010. [In Persian]
- Panda, D.K. Et al., "The Influence of Drought and Anthropogenic Effects on Groundwater Levels in Orissa, India", *Journal of Hydrology*, 343, Pp. 140- 153, 2007.

- Peters, E. Et al., "Propagation and Spatial Distribution of Drought in a Groundwater Catchment", *Journal of Hydrology*, 321, Pp. 257- 275, 2006.
- Seif, M., H. Mohammadzadeh & A. Mosaedi, "Assessing the Impact of Drought on Groundwater Resources Decline (Case Study: FASA Aquifer)" in *15th Symposium of Geological Society of Iran*, Tarbiat Modares University, 2011. [In Persian]
- Shahid, Sh. & M.K. Hazarika, "Groundwater drought in the northwestern district of Bangladesh", *Water Resource Manage*, Doi: 10.1007/s11269-009-9534-y, 2009.
- Shakiba, A., B. Mirbagheri & A. kheiri, "Drought and its Impact on Groundwater Resources in the East Province of Kermanshah Using SPI", *Research Journal of Iran Geographic Society*, Vol. 5, No. 25, Pp. 124-105, 2010. [In Persian]
- Vicente-Serrano, S.M. & J.I. Lopez-Moreno, "Hydrological Response to Different Time Scales of Climatological Drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a Mountainous Mediterranean basin", *Hydrology and Earth System Sciences*, No. 9, Pp. 523- 53, 2005.