

Effect of Meteorological Drought on Groundwater Resources (Case Study: Komijan Aquifer in Markazi Province)

M. Bayat-Varkeshi^{1*}, M. Farahani Dastjani²
and M. Ghabaei Sough³

Abstract

The purpose of this study was the evaluation of the effect of meteorological droughts on groundwater changes in Komijan aquifer. Using the information of 32 piezometric wells and three meteorological stations of Komijan, Ghahavand and Khondab located around the aquifer, the effects of meteorological droughts on groundwater resource index (GRI) were studied by the standardized precipitation index (SPI), the percentage of normal (PNI) and decides (DI). Assessments were based on Pearson correlation analysis on a monthly scale and the time lag of 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24 and 48 months. The results showed that all three drought indexes with 9 month time lag had more effect on GRI index. Also, the percent of stations with significant correlation between GRI and SPI, DI and PNI were 20.14, 27.43 and 31.25 percent, respectively. The average of groundwater depth in dry and wet years indicated that drought phenomenon led to 1.17 m reduction in groundwater height.

Keywords: Groundwater, SPI, PNI, DI, GRI.

Received: June 4, 2017

Accepted: August 17, 2017

اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان کمیجان استان مرکزی)

مریم بیات ورکشی^{۱*}، محمد فراهانی دستجانی^۲
و محمد قباپی سوغ^۳

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر نوسانات عمق آب زیرزمینی آبخوان کمیجان بود. بدین منظور با دریافت اطلاعات سطح آب زیرزمینی ۳۲ چاه پیزومتر و سه ایستگاه هواشناسی کمیجان، قهاوند و خنداب واقع در محدوده آبخوان، اثر خشکسالی هواشناسی از طریق شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، درصد نرمال (PNI) و دهک‌ها (DI) بر شاخص آب زیرزمینی (GRI) مطالعه شد. بررسی‌ها بر اساس آزمون همبستگی پیرسون در مقیاس ماهانه و تأخیرهای زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه انجام گرفت. نتایج نشان داد وقوع هر سه شاخص خشکسالی هواشناسی با تأخیر ۹ ماهه، بیشترین تأثیر را در شاخص آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه داشت. هم‌چنین درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار شاخص GRI با شاخص‌های SPI، DI و PNI به ترتیب ۲۰/۱۴، ۲۷/۴۳ و ۳۱/۲۵ درصد بود. مقایسه میانگین عمق آب زیرزمینی در سال‌های خشک و تر نیز بیانگر آن بود که وقوع خشکسالی منجر به افت ارتفاع آب زیرزمینی به میزان ۱/۱۷ متر شده است.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، SPI، PNI، DI، GRI.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۳/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۵/۲۶

1- Assistant Professor, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Malayer University, Malayer, Iran. Email: m.bayat.v@malayeru.ac.ir

2- M.Sc. Student of Water Resource Engineering, Agriculture Faculty, Malayer University, Malayer, Iran.

3- Expert Member of Iran Water Resources Management Company, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر.

۳- کارشناس سازمان مدیریت منابع آب کشور.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است

زیرزمینی به‌ویژه در زمان خشک شدن رودخانه از عوامل کاهش سطح ایستابی است. (Radfar et al., 2013). اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت شهرکرد را بررسی و نشان دادند خشکسالی و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی بر نوسانات سطح آب مؤثر بوده است. نتایج مطالعه (Li and Rodell, 2014) در بررسی شاخص خشکسالی آب‌های زیرزمینی در آمریکا نشان داد که شاخص خشکسالی SPI با تأخیر ۱۲ و ۲۴ ماهه دارای بیشترین همبستگی با شاخص SWI بود. مطالعه اثر خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی دشت الشتر شهرستان خرم‌آباد با استفاده از شاخص خشکسالی GRI و شاخص بارش استاندارد شده^۴ (SPI) نشان داد که SPI در بازه ۲۴ ماهه بیشترین همبستگی را با سطح آب زیرزمینی داشت (Chamanpira et al., 2014). در پژوهشی مشابه، Soleimani Motlagh et al. (2017) اقدام به تحلیل خشکسالی آب‌های زیرزمینی در دشت الشتر خرم‌آباد با استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص خشکسالی آب‌های زیرزمینی^۵ (SGI) نمودند. در این بررسی بیشترین همبستگی بین SPI و SGI در بازه زمانی ۲۴ ماهه مشاهده گردید. در پژوهشی دیگر، مهم‌ترین عوامل کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، بهره‌برداری زیاد از آب‌های زیرزمینی به منظور آبیاری، کاهش بارندگی و ویژگی‌های زمین‌شناسی عنوان شد (Rahman et al., 2016).

بررسی منابع نشان می‌دهد، نتایج حاصل از مطالعه اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با توجه به شدت، مدت و گستره جغرافیایی آن در هر منطقه متفاوت بوده و قابل تعمیم به مناطق دیگر نمی‌باشد. از طرفی در مطالعات صورت گرفته مربوط به خشکسالی، بکارگیری هم‌زمان سه شاخص SPI، PNI و DI برای خشکسالی هواشناسی و شاخص GRI برای خشکسالی هیدرولوژیکی و ارتباط زمانی آن‌ها برای یک منطقه کمتر توجه شده است؛ لذا هدف از این تحقیق پایش زمانی و مکانی تغییرات سطح آب زیرزمینی و تعیین تغییرات آن در کرانه‌های متناظر با حداکثرهای اقلیمی طی سال‌های خشکسالی و ترسالی در دوره بازگشت‌های مختلف در گام‌های زمانی یک ماهه تا ۴۸ ماهه می‌باشد. در این راستا آبخوان کمیجان در استان مرکزی به‌عنوان یکی از مناطق کم بارش کشور مدنظر قرار گرفت. این آبخوان تأمین‌کننده بخش زیادی از نیاز آبی کشاورزی و شهری منطقه بوده و بروز خشکسالی‌های مکرر در سال‌های اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی منطقه به‌منظور تأمین نیاز بخش کشاورزی، تأثیر بسیاری بر کاهش منابع آب‌های زیرزمینی داشته است. از این‌رو، بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی منطقه، برای کاهش اثرات آن طی سال‌های آینده و مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب موجود از اهمیت بسیاری برخوردار است.

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین منابع آب در کره زمین به‌شمار می‌روند و در مناطق خشکی مانند ایران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی برخوردار است (Heydari Aghagol et al., 2017). به اعتقاد Raghbi et al. (2017) بیشترین خسارت خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در شرایط معمول نیز دسترسی کمتری به آب دارند. خشکسالی هواشناسی، هم‌زمان با کمبود میزان بارندگی سالانه یا هر بازه‌ی زمانی معین، نسبت به میانگین بلندمدت منطقه رخ می‌دهد. ادامه‌ی خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گردد که افت سطح آب رودخانه‌ها و مخازن سطحی و زیرسطحی نتیجه آن است (Mishra and Singh, 2010). یکی از پیامدهای منفی خشکسالی، افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی و ایجاد چالش‌های جدی در کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. توجه به اعمال مدیریت صحیح و کاهش پیامدهای خشکسالی، نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات پیش‌گیرانه در مقابله با پدیده خشکسالی است که خود مستلزم به‌کارگیری دانش کافی در پیش‌بینی خشکسالی است (Mahmoodi and Zeinivand, 2014). پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی، بیان‌گر اهمیت شناسایی ارتباط خشکسالی و سطح آب زیرزمینی است. (Pak et al., 2014) با بررسی توأم خشکسالی و افت آب نشان دادند که احداث سد، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و خشکسالی از عوامل تأثیرگذار بر منابع آب‌های زیرزمینی دشت ساوه است. (Ahmadi Akhoorme et al., 2015) اثر خشکسالی بر سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس را با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی^۱ (GRI) و شاخص سطح آب استاندارد شده^۲ (SWI) و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۳ (GIS) بررسی و وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی را با هر دو شاخص تأیید نمودند. بررسی اثر خشکسالی بر سفره آب زیرزمینی دشت گرگان نشان داد خشکسالی در دوره کوتاه مدت بر سفره‌های آزاد و در بازه بلند مدت بر سفره‌های بسته اثر دارد (Karimirad et al., 2015). مطالعه تأثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت چهاردلی قروه توسط (Asadzadeh et al., 2016) بیان‌گر آن بود که خشکسالی در بازه بلندمدت ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای همبستگی معنی‌داری با سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی است. (Kolahdoozan et al., 2015) با بررسی اثر خشکی زاینده‌رود بر تراز آب زیرزمینی دشت نجف آباد اصفهان اظهار داشتند، خشک شدن زاینده‌رود و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان کمیجان واقع در استان مرکزی با مساحت ۲۵۴۷/۹ کیلومتر مربع، دارای متوسط بارش ۲۷۷ میلی‌متر در سال است. این شهرستان براساس طبقه‌بندی اقلیمی دوماستن، در اقلیم نیمه خشک قرار دارد. وسعت آبخوان آزاد کمیجان ۱۰۵۰/۶ کیلومتر مربع می‌باشد که بخش اعظم آن در محدوده شهرستان کمیجان استان مرکزی و بخش کوچکی از آن در شهرستان‌های شرا و ملایر در محدوده استان همدان قرار دارد. در این پژوهش از داده‌های ماهانه ۳۲ حلقه چاه پیزومتری با دوره آماری ۱۸ ساله (۷۶-۱۳۷۵ تا ۹۳-۱۳۹۲) استفاده گردید. این اطلاعات از بخش مطالعات شرکت‌های آب منطقه‌ای کل کشور و آب منطقه‌ای استان همدان تهیه شد. شکل ۱ موقعیت آبخوان مورد مطالعه و چاه‌های پیزومتری را نشان می‌دهد.

به دلیل محدودیت تعداد ایستگاه‌های هواشناسی، اطلاعات ماهانه ۳ ایستگاه هواشناسی کمیجان، خنداب از استان مرکزی و قهاوند از استان همدان طی دوره متناظر ۱۸ ساله با پراکنش مناسب واقع در محدوده آبخوان مورد استفاده قرار گرفت. جهت تعمیم اطلاعات هواشناسی به

کل محدوده آبخوان، از روش چند ضلعی تیسن^۶ در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. سپس، اطلاعات چاه‌های پیزومتری و هواشناسی مرتب و نسبت به کمیت و کیفیت داده‌ها بررسی‌های لازم صورت گرفت. بدین منظور، شناسایی داده‌های پرت از روش نمودار جعبه‌ای و همگنی داده‌ها نیز به روش آزمون توالی (Run-test) مورد بررسی قرار گرفت (Tukey, 1977). بازسازی خلاءهای محدود آماری و داده‌های پرت با روش همبستگی مرتفع گردید. در این روش با توجه به آمار ایستگاه مینا (متغیر مستقل) و ایستگاه فاقد آمار (متغیر وابسته)، داده‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بازسازی قرار گرفت (Golmohamadi et al., 2009).

از آنجا که هدف از این مطالعه، بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی بود، بنابراین اثر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه با لحاظ اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی، سه شاخص خشکسالی هواشناسی شامل SPI، شاخص درصد نرمال^۷ (PNI) و شاخص دهک‌ها^۸ (DI) و با لحاظ اطلاعات چاه‌های پیزومتری، شاخص آب زیرزمینی GRI محاسبه گردید. مراحل محاسبه هر یک از شاخص‌ها به صورت زیر می‌باشد.

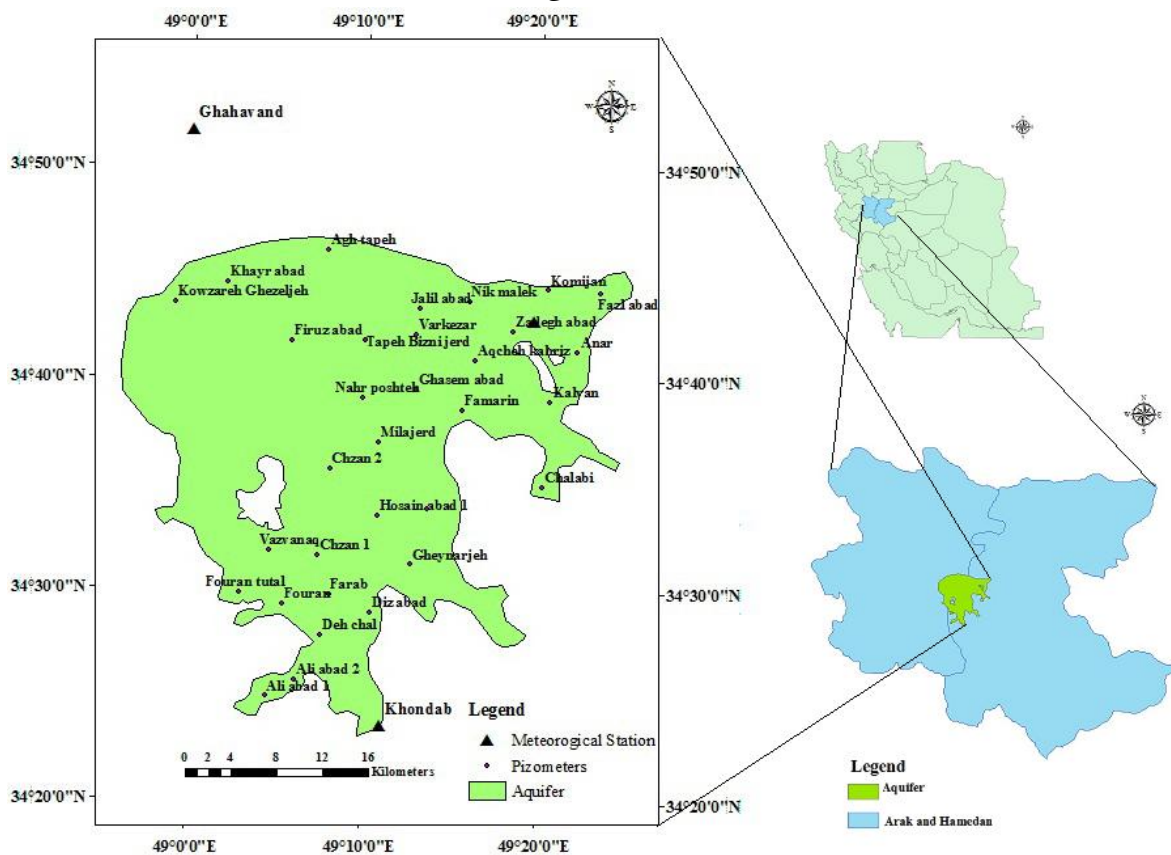


Fig. 1- Location of Malayer aquifer, piezometers and meteorological stations

شکل ۱- موقعیت آبخوان، پیزومترها و ایستگاه‌های هواشناسی

۲-۲- شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص SPI یکی از شاخص‌های پرکاربرد برای پیش‌خشکسالی در سراسر جهان می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر این شاخص در دوره‌های زمانی مورد نظر، با برآزش تابع توزیع گامای دو پارامتری بر داده‌های بارندگی و تبدیل آن به توزیع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف از معیار یک، به‌دست آمده است. روابط استفاده شده برای این تبدیل براساس روابط ارائه شده توسط Lloyd-Hughes and Saunders (2002) می‌باشد. براساس این شاخص، وقوع خشکسالی هنگامی است که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و خاتمه آن زمانی است که مقدار SPI مثبت گردد. مهم‌ترین مزیت شاخص SPI قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه‌مدت ذخایر آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثرات دوره‌های طولانی مدت منابع آب (از جمله ذخایر آب زیرزمینی و سطح مخازن آب) را پیش‌نماید (Mishra and Singh, 2010). دامنه‌های شدت وقوع خشکسالی‌های این شاخص در جدول ۱ آورده شده است.

۲-۳- شاخص درصد نرمال (PNI)

شاخص PNI توسط Willeke et al. (1994) برای پیش‌خشکسالی هواشناسی ارائه گردید که از نسبت مقدار بارندگی در یک دوره‌ی مشخص به مقدار نرمال بارندگی آن دوره محاسبه می‌شود. (Hayes et al. 2010) اصلی‌ترین حسن این شاخص را محاسبات بسیار ساده و مناسب برای آگاهی عموم از وضعیت خشکسالی در مقیاس محلی و فصلی می‌داند. دامنه‌های پیشنهادی برای شدت‌های خشکسالی در شاخص PNI در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۴- شاخص دهک‌ها (DI)

شاخص DI توسط Gibbs and Maher (1967) ارائه شده است. این شاخص وقوع بارندگی‌های طولانی مدت را در دهک‌هایی از توزیع نرمال تقسیم می‌کند. بدین منظور ابتدا داده‌های بارندگی ماهیانه یا سالیانه به صورت صعودی مرتب و سپس احتمال وقوع بارش یک سال یا یک ماه معین از رابطه‌ی ۱ تعیین می‌شود:

$$P_i = \frac{i}{N+1} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، P_i احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف i ام است و N تعداد داده‌های بارندگی می‌باشد. در این صورت برحسب این که مقدار p در چه فاصله‌ی دهکی (فاصله ده درصدی) قرار گرفته باشد، مطابق جدول ۱ یکی از درجه‌های خشکسالی و ترسالی به آن نسبت داده می‌شود.

۲-۵- شاخص آب زیرزمینی (GRI)

(Mendicino et al. 2008) شاخص GRI را به‌منظور پیش و پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی در قالب رابطه ۲ ارائه و صحت آن را در منطقه کالابریای ایتالیا بررسی نمودند.

$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} + \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (2)$$

در این رابطه $D_{y,m}$ عمق آب زیرزمینی در سال y و ماه m و $\mu_{D,m}$ و $\sigma_{D,m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه m است. طبقه‌های مختلف شدت خشکسالی به ازای هر یک از شاخص‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند.

پس از محاسبه شاخص‌ها، همبستگی شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص آب زیرزمینی از روش همبستگی پیرسون محاسبه شد.

Table 1- Classification of different drought indexes

جدول ۱- طبقه‌های شدت خشکسالی در شاخص‌های مختلف مورد بررسی				
	Classification	DI (%)	PNI (%)	GRI and SPI
Drought	Extremely	<20%t	< 40 %	<-2
	Severe Drought	10 to 20	40 to 50	-1.5 to -1.99
	Moderate Drought	20 to 30	55 to 70	-1 to -1.49
	Normal	30 to 70	70 to 130	-0.99 to 0.99
Wet	Moderate	70 to 80	130 to 145	1 to 1.49
	Severe	80 to 90	154 to 160	1.5 to 1.99
	Extremely	90 to 100	> 160 %	>2

بازه تغییرات بارش از ۰ تا ۱۲۵ میلی‌متر است. تغییرات عمق آب نیز از ۱۸ تا ۳۹/۹۷ متر است. نوسانات بارندگی نیز به صورتی است که در سال‌های آبی ۷۹-۸۰، ۷۸-۷۹، ۸۰-۸۱، ۸۱-۸۲، ۸۶-۸۷ و ۹۰-۹۱ دارای بیشترین مقادیر هستند. عمق آب‌های زیرزمینی نیز در طول دوره آماری همواره در حال افزایش است.

مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI، PNI و DI با شاخص خشکسالی آب زیرزمینی (GRI) برای پیرومترهای آبخوان در صورت گرفت. جدول ۲، نتایج ضریب همبستگی هر سه شاخص SPI، DI و PNI با شاخص GRI را در دو حالت بدون تأخیر و تأخیرهای ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه براساس تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار، سطح معنی‌داری و جهت آن نشان می‌دهد.

جدول ۲ نشان می‌دهد، ضریب همبستگی ماهانه بین شاخص خشکسالی SPI با شاخص GRI در ۱۹ ایستگاه مثبت و در ۱۳ ایستگاه منفی است. تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار نیز ۳ مورد می‌باشند. در بین ۳ ایستگاه معنی‌دار، ۱ ایستگاه در سطح ۹۹ درصد و دو ایستگاه در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار هستند که هر سه دارای همبستگی مثبت می‌باشند. بررسی همبستگی با تأخیرهای مختلف زمانی نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار بین شاخص SPI و شاخص GRI در تأخیرهای ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه به ترتیب ۴، ۲، ۷، ۱۴، ۱، ۱۰، ۴ و ۱۳ مورد می‌باشند. براین اساس بیشترین تعداد همبستگی‌های معنی‌دار بین شاخص‌های خشکسالی GRI و SPI در تأخیر زمانی ۹ ماهه قابل مشاهده است که ۱۴ ایستگاه پیرومتری را پوشش داده است. این موضوع نشان‌دهنده این است که بارش در تأخیر زمانی ۹ ماهه دارای بیشترین اثر روی آب‌های زیرزمینی آبخوان بوده است.

هدف شناسایی و معرفی شاخص خشکسالی هواشناسی است که دارای بیشترین همبستگی با GRI دارد. محاسبه ضریب همبستگی به دو صورت ماهانه و تأخیرهای ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه انجام شد. همبستگی بین شاخص GRI و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد محاسبه شد. برای انتخاب بهترین شاخص هواشناسی از مقایسه تعداد همبستگی‌ها و در صورت برابر بودن، از سطح اطمینان برای انتخاب بهترین شاخص استفاده می‌شود. لازم به ذکر است در اکثر مطالعات مشابه صورت گرفته، روش بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی تحلیل همبستگی می‌باشد که از سوی محققین مختلف توصیه شده است (Soleimani Motlagh et al., 2017; Karimirad et al., 2015) (Asadzadeh et al., 2016).

در گام بعد، با استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی منتخب، اثر خشکسالی هواشناسی بر عمق آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از تکنیک زمین‌آمار وضعیت آب‌های زیرزمینی در دوره‌های زمانی خشک و مرطوب با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی شد. بدین منظور از روش کریجینگ معمولی^۹ (OK) به دلیل دقت بالا در برآورد عمق سطح ایستابی استفاده شد. Piri and Bameri (2014) نیز روش کریجینگ را در درون‌یابی تغییرات عمق آب زیرزمینی کارا و مناسب دانستند. پژوهش‌های Pak et al. (2014) و Asadzadeh et al. (2016) نیز نشان‌گر دقت بالای روش کریجینگ برای پهنه‌بندی عمق آب زیرزمینی بود.

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ نمودار سری زمانی داده‌های بارش و میانگین عمق آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. میانگین ماهانه بارش ۲۷ میلی‌متر در ماه و

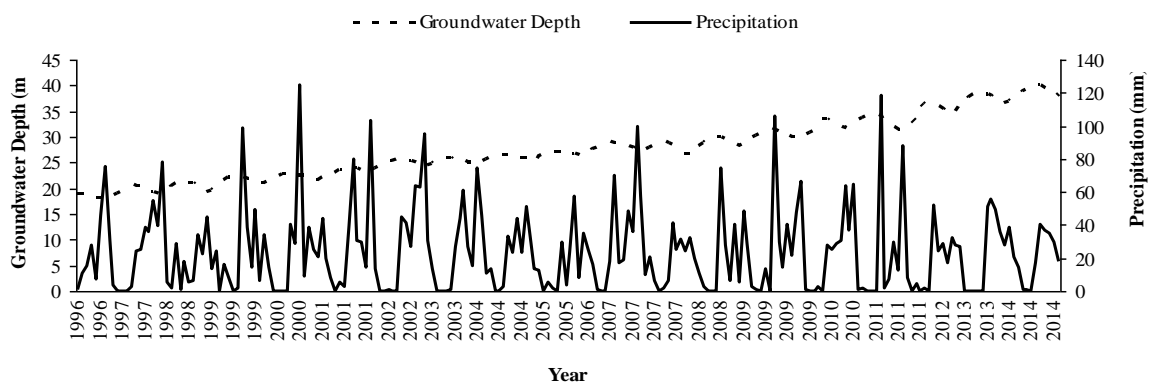


Fig. 2- The changes of precipitation and groundwater depth in the study area

شکل ۲- تغییرات ماهانه بارش و عمق آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

Table 2- The results of correlation coefficients of GRI with SPI, DI and PNI in different time scales
جدول ۲ - نتایج ضریب همبستگی شاخص GRI با شاخص های SPI، DI و PNI در مقیاس های زمانی مختلف

Index	Correlation number		With time lag								
	Significant	Without lag	Monthly	1 month	3 months	6 months	9 months	12 months	18 months	24 months	48 months
SPI	Positive	s. (0.01) ^a	1	1	2	0	0	0	0	0	0
		s. (0.05) ^b	2	3	0	1	1	1	2	0	0
		n.s. ^c	16	16	16	7	3	9	3	6	12
	Negative	s. 0.01	0	0	0	1	7	0	3	0	5
		s. 0.05	0	0	0	5	6	0	4	4	7
		n.s.	13	12	14	18	15	22	20	22	8
DI	Positive	s. 0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		s. 0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		n.s.	4	4	2	2	3	4	3	1	14
	Negative	s. 0.01	1	1	3		5	1	1	3	3
		s. 0.05	5	4	4	7	10	5	6	8	7
		n.s.	22	23	23	23	14	22	22	20	8
PNI	Positive	s. 0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		s. 0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		n.s.	3	3	2	2	1	2	1	0	10
	Negative	s. 0.01	2	3	8	2	8	0	0	1	0
		s. 0.05	10	5	5	11	5	8	3	11	7
		n.s.	17	21	17	17	18	22	28	20	15

a: significant at 0.01 level, b: significant at 0.05 level and c: non-significant

همبستگی ۶ ایستگاه مذکور منفی می باشد. علامت منفی مقدار ضریب همبستگی بیان گر آن است که تغییرات شاخص DI و GRI در حالت همزمان به صورت معکوس می باشد. به عبارت دیگر، با افزایش مقدار شاخص DI، مقدار شاخص GRI کاهش می یابد. از آن جایی که افزایش شاخص DI به معنای افزایش بارش و نزولات جوی است، کاهش عمق آب منطقی می باشد. بررسی همبستگی در حالت تأخیر، نشان می دهد که تعداد ایستگاه های دارای همبستگی معنی دار بین شاخص DI و شاخص GRI در تأخیرهای ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه به ترتیب ۵، ۹، ۷، ۱۵، ۷، ۷، ۱۲ و ۱۱ ایستگاه می باشند. بر این اساس بیشترین تعداد همبستگی بین شاخص های خشکسالی GRI و DI در تأخیر زمانی ۹ ماهه قابل مشاهده است که ۱۵ ایستگاه پیرومتری را شامل می شود. این نتیجه همسو با نتایج جدول ۲ می باشد. لیکن به دلیل افزایش تعداد ایستگاه های دارای همبستگی معنی دار از ۱۴ ایستگاه به ۱۵ ایستگاه می توان اثر شاخص DI را بر آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بیش از شاخص SPI دانست. Morid et al. (2006) در مطالعه خود اظهار داشتند که شاخص DI در مقایسه با دیگر شاخص های خشکسالی هواشناسی، نسبت به رخدادهای بارشی حساسیت بیشتری از خود نشان می دهد.

همان گونه که از جدول ۲ استنباط می گردد، همبستگی همزمان بین شاخص خشکسالی GRI با شاخص PNI در ۲ ایستگاه مثبت و در ۳۰ ایستگاه منفی است. تعداد ایستگاه های دارای همبستگی معنی دار نیز ۱۲ ایستگاه می باشد که دارای جهت منفی هستند. از آن جایی که

مقایسه نتایج همبستگی با شاخص SPI در حالت بدون تأخیر با تأخیر ۹ ماهه نشان دهنده این است که خشکسالی به صورت همزمان تأثیر کمتری بر عمق آب زیرزمینی دارد. دلیل این امر را می توان زمان لازم برای رسیدن بارش به آب های زیرزمینی دانست. تأثیر کمبود بارش در تأخیرهای زمانی کوتاه مدت روی رطوبت خاک و در تأخیر زمانی بلند مدت روی رودخانه ها، مخازن آب و آب های زیرزمینی می باشد (Naderianfar et al., 2011). در گزارش Mohammadi Ghaleni et al. (2010) نیز به تأثیر تأخیر خشکسالی هواشناسی بر آب زیرزمینی اشاره شده است. Naderianfar et al. (2011) نیز در مطالعه خود تأخیر ۱۰ ماهه را به عنوان مؤثرترین گام زمانی در بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر آب زیرزمینی عنوان کرد که همسو با نتایج این مطالعه می باشد. بنابراین می توان اظهار داشت، حداقل ۹ ماه زمان لازم است تا اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی مشاهده گردد.

جدول ۲ نشان می دهد، ضریب همبستگی ماهانه بین شاخص خشکسالی GRI با شاخص DI در ۴ ایستگاه مثبت و در ۲۸ ایستگاه منفی است. این نتیجه برخلاف نتایج شاخص SPI می باشد. به عبارت دیگر، با در نظر گرفتن شاخص DI، بیشتر ایستگاه ها دارای همبستگی منفی با شاخص GRI می باشد. لیکن تعداد ایستگاه های دارای همبستگی معنی دار بیش از شاخص SPI می باشد (۶ ایستگاه). در بین ۶ ایستگاه دارای همبستگی معنی دار، ۱ ایستگاه در سطح ۹۹ درصد و ۵ ایستگاه در سطح ۹۵ درصد معنی دار هستند. ضمن آن که جهت

دارد. نتایج مطالعات (Nohegar and Mahmood Abadi 2012) نیز در ارزیابی خشکسالی حوضه کهرستان استان بوشهر نشان داد شاخص PNI دارای کارایی بهتری نسبت به شاخص SPI است. از طرفی مقایسه مقدار ضریب همبستگی ایستگاه‌ها بیان‌گر این مطلب است که اگرچه تأثیر شاخص‌های هواشناسی بر تغییرات تراز آب زیرزمینی مشاهده و تأیید شد، لیکن دیگر عوامل اقلیمی و انسانی نظیر دمای هوا، سطح زیر کشت، متوسط رطوبت نسبی و میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی نیز بر تغییرات تراز آب زیرزمینی مؤثر می‌باشد. به عبارت دیگر نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد بیشترین تعداد همبستگی‌های معنی‌دار بین شاخص PNI با شاخص GRI برای ۱۳ چاه معنی‌دار است. این بدان معنی است که تغییرات سطح آب زیرزمینی در ۴۰/۶ درصد از چاه‌های منطقه متأثر از خشکسالی هواشناسی است. به عبارت دیگر تغییرات سطح آب زیرزمینی در ۵۹/۴ درصد از چاه‌های مورد مطالعه می‌تواند ناشی از وضعیت برداشت و سایر عوامل غیراقلیمی باشد. (Kiani et al. 2015)، (Pak et al. 2014)، (Radfar et al. 2013) و (Kolahdoozan et al. 2015) بیش از اندازه از آبخوان به منظور تأمین نیازهای شهری و کشاورزی را مهم‌ترین عامل در نوسانات عمق آب زیرزمینی دانستند. (Akbari et al. 2009) نیز ضمن تأیید اثر خشکسالی هواشناسی، اثر برداشت بی‌رویه، ازدیاد جمعیت، افزایش سطح زیر کشت و تعداد زیاد چاه‌های برداشت را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی گزارش نمودند.

بر اساس نتایج جدول ۲، شاخص PNI با توجه به دارا بودن بیشترین تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در همه حالت‌های بدون تأخیر و با تأخیر، با شاخص آب زیرزمینی، به عنوان مؤثرترین شاخص خشکسالی هواشناسی در آبخوان دشت کمیجان معرفی گردید.

افزایش شاخص PNI به معنای افزایش بارش و نزولات جوی است، کاهش عمق آب منطقی به نظر می‌رسد. در بین ۱۲ ایستگاه معنی‌دار، ۲ ایستگاه در سطح ۹۹ درصد و ده ایستگاه در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار هستند. بررسی همبستگی در حالت تأخیر، نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار بین شاخص PNI و شاخص GRI در تأخیرهای ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه به ترتیب ۷، ۱۳، ۱۳، ۱۳، ۸، ۵، ۱۲ و ۷ عدد می‌باشند. بر پایه‌ی نتایج به دست آمده بیشترین تعداد همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی GRI و PNI در تأخیر زمانی ۳، ۶ و ۹ ماهه قابل مشاهده است که ۱۳ ایستگاه پیرومتری را شامل می‌شود. از آنجا که تأخیر ۹ ماهه شاخص‌های SPI و DI قبلاً به تأیید رسید، بنابراین می‌توان با اطمینان بالا، تأخیر ۹ ماهه را در بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر آب زیرزمینی مؤثر و کارا ارزیابی نمود. (Naderianfar et al. 2011) در پژوهش‌های خود به تأثیر تأخیر ۱۰ ماهه خشکسالی در منابع آب زیرزمینی اشاره داشتند.

در مجموع، مقایسه تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در همه حالت‌های بدون تأخیر و با تأخیر، در جدول ۲ نشان می‌دهد که درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار شاخص GRI با شاخص‌های SPI، DI و PNI به ترتیب ۲۰/۱۴، ۲۷/۴۳ و ۳۱/۲۵ درصد می‌باشد. این نتیجه بیان‌گر آن است که اثر شاخص PNI بر تغییرات تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بیش از شاخص DI و SPI است. ضمن آن که شاخص DI نیز به مراتب تأثیرگذارتر از شاخص SPI مشاهده شد. نتیجه پژوهش‌های (Mohammadian et al. 2010) در بررسی خشکسالی در استان خراسان نشان داد شاخص PNI در مطالعه خشکسالی کارایی بهتری نسبت به بقیه شاخص‌ها

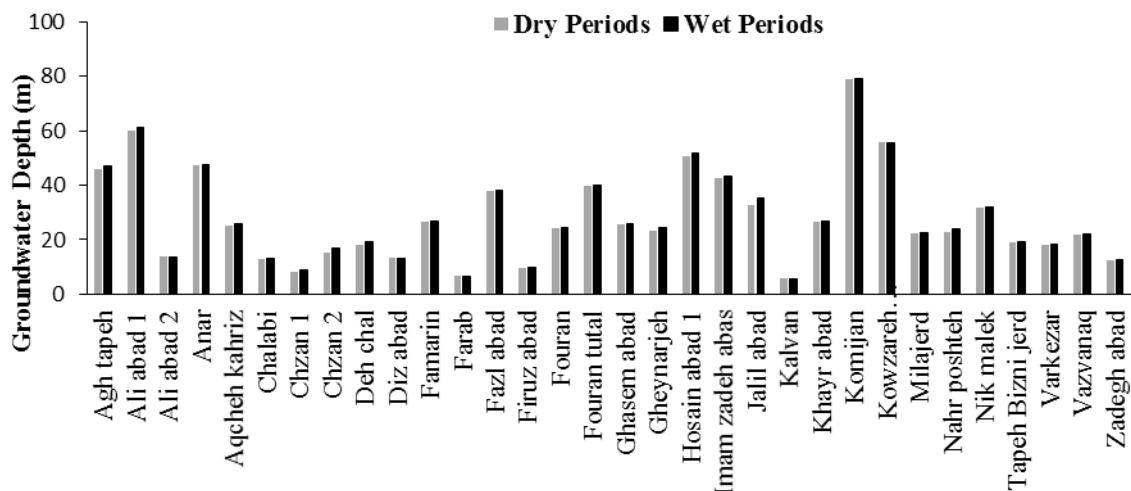


Fig. 3- The groundwater depth changes in piezometric wells of Komijan aquifer in wet and dry periods

شکل ۳ - تغییرات عمق آب زیرزمینی در دوره‌های خشک و تر در پیزومترهای آبخوان کمیجان

میلاجرد به اندازه ۴/۲۹۹ متر است. چاه پیزومتر میلاجرد در نواحی مرکزی آبخوان قرار داشته و تحت تأثیر رودخانه قره‌چای قرار دارد. به‌همین دلیل با کم و زیاد شدن مقدار آب این رودخانه در دوره‌های تر و خشک میزان تغذیه آب زیرزمینی و در نتیجه عمق آب زیرزمینی دچار نوسانات زیادی می‌شود.

به‌منظور بررسی توزیع مکانی عمق آب زیرزمینی در سطح منطقه مورد مطالعه، نتایج درون‌یابی با روش کریجینگ در شکل ۴ آورده شد. شکل ۴ نتایج توزیع مکانی تراز آب زیرزمینی به تفکیک سال‌های خشک و تر را در وسعت کل آبخوان در قالب ۵ کلاس نشان می‌دهد. در ترسیم این شکل، درصد مساحت اختصاص یافته به هر کلاس نیز مد نظر قرار گرفت.

بر اساس نتایج شکل ۴، دامنه تغییرات عمق آب در سال‌های خشک و تر نشان‌دهنده کاهش عمق آب در سال‌های تر و افزایش عمق آب در سال‌های خشک است. بررسی توزیع مکانی تغییرات عمق آب در شکل ۴ نشان می‌دهد، بخش‌های شمالی و محدوده غربی آبخوان دارای بیشترین عمق آب و ناحیه مرکزی و جنوب شرقی آبخوان دارای کمترین عمق آب می‌باشند.

بنابراین، با در نظر گرفتن این شاخص، اقدام به بررسی سطح آب زیرزمینی هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های خشک و تر، براساس محدوده توصیفی جدول ۱ گردید (شکل ۳).

همان‌گونه که از شکل ۳ استنباط می‌گردد، بیشترین عمق آب مربوط به پیزومتر کمیجان و کم‌ترین عمق مربوط به پیزومتر کلوان است. میانگین عمق آب در سال‌های تر ۲۶/۷۹ متر و در سال‌های خشک ۲۷/۹۶ متر است. به‌عبارت دیگر، وقوع خشکسالی منجر به افزایش عمق آب به میزان ۴/۴ درصد شده است. از آنجا که کشور ایران از نظر وضعیت آب نسبت به متوسط‌های جهانی در شرایط بحرانی‌تری قرار داشته و جزو مناطق خشک جهان محسوب می‌شود (Mohammad Jani and Yazdanian, 2014)؛ لذا افزایش ۴/۴ درصدی عمق آب در فصل خشک نسبت به فصل تر دارای اهمیت بسیاری است.

کمترین اختلاف بین سال‌های تر و خشک در پیزومتر کلوان به اندازه ۰/۰۱۲ متر است. به دلیل این که این پیزومتر در بخش شرقی آبخوان قرار داشته و در این ناحیه سنگ کف در عمق کمتری قرار دارد، دارای نوسانات کمتری است. همچنین بیشترین اختلاف در چاه پیزومتر

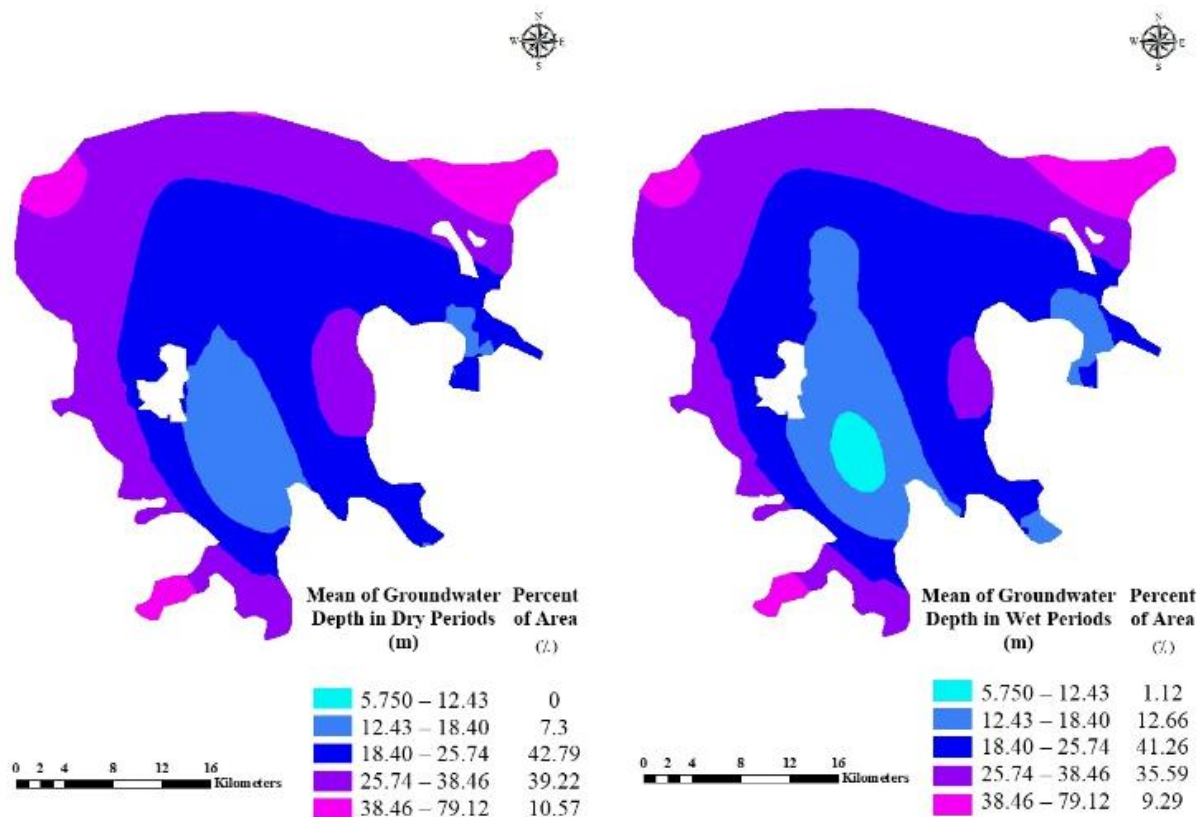


Fig. 4- The average groundwater depth in dry and wet season during 1996 to 2014

شکل ۴- میانگین کلی عمق آب زیرزمینی در فصل خشک و تر بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۷۵

زیرزمینی در مقایسه با آب‌های با عمق کمتر اشاره کردند که هم‌سو با نتایج حاضر می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج شاخص‌های خشکسالی می‌توان دریافت که در دوره مطالعاتی در محدوده آبخوان کمیجان خشکسالی هواشناسی رخ داده است. بررسی نتایج خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب‌های زیرزمینی در ارتباط با هم نشان داد کمبود بارش و نزولات جوی با تأخیر زمانی ۹ ماهه در آب‌های زیرزمینی تأثیر دارد. این بدان معنی است که با وقوع خشکسالی هواشناسی می‌توان با مدیریت زمانی منابع آب زیرزمینی، اثرات خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی آب زیرزمینی را کاهش داد. هم‌چنین شاخص PNI در این رابطه بیشترین همبستگی را در مقایسه با بقیه شاخص‌ها نشان داد. دلیل این امر وجود اثر فصلی در داده‌های سطح آب زیرزمینی بود که مطابقت بیشتری با شاخص PNI داشت. به منظور رسم نقشه آبخوان در دوره‌های تر و خشک دسته‌بندی داده‌ها با شاخص PNI انجام گرفت و نقشه‌های آبخوان در دوره‌های خشک و تر رسم شد. نتایج نشان داد بخش مرکزی آبخوان به دلیل تغذیه توسط رودخانه قره‌چای دارای وضعیت مناسبی است. هم‌چنین بخش شمال شرقی آبخوان در نزدیکی شهر کمیجان بحرانی‌ترین بخش آبخوان است. این امر به دلیل استفاده زیاد از منابع آب زیرزمینی این محدوده برای تأمین نیاز شهری است. مرزهای غربی آبخوان نیز به دلیل تراکم بالای چاه‌های برداشت بخش کشاورزی دچار افزایش عمق آب زیرزمینی شده است. وضعیت آبخوان در دوره آماری نشان می‌دهد با ادامه روند افزایش عمق آب در بخش‌های شمال شرق هم‌چنین مرزهای غربی آبخوان، این مناطق در آینده نزدیک دچار کم‌آبی، کاهش کیفیت آب و فرونشست می‌شوند. به همین دلیل برنامه‌ریزی به منظور استفاده درست از منابع آبی منطقه، هم‌چنین ایجاد آمادگی به منظور مقابله با خشکسالی در دوره‌های آتی دارای اهمیت بسیاری است.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Groundwater Resource Index
- 2- Standardized Water-Level Index
- 3- Geographic Information System
- 4- Standardized Precipitation Index
- 5- Standardized Groundwater Level Index
- 6- Thiessen's Ppolygon
- 7- Percent of Normal Index
- 8- Deciles Index
- 9- Ordinary Kriging

دلیل این امر می‌تواند تمرکز ۷۵ درصد از چاه‌های برداشت در مناطق غربی آبخوان و برداشت بیش از اندازه به منظور مصرف شهری در شمال شرق آبخوان باشد (شکل ۱). بررسی وسعت اختصاص یافته برای هر کلاس طبقه‌بندی در شکل ۴ گویای آن است که بیشترین پهنا در هر دو سال خشک و تر مربوط به کلاس ۱۸/۴۰ تا ۲۵/۷۴ متر است که در سال‌های خشک و تر به ترتیب ۴۲/۷۹ و ۴۱/۲۶ درصد از کل مساحت آبخوان را شامل می‌شود. نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد میانگین کلی عمق آب در فصل تر در کلاس ۱۲/۴۳ تا ۱۸/۴۰ متر به مقدار ۱۲/۶۶ درصد می‌باشد که در مقایسه با فصل خشک که ۷/۳ درصد است پهنا بیشتری را شامل شده است. این پهنا در اطراف پیژومترهای چزان ۱ و ۲ در قسمت مرکزی قرار داشته و در فصل تر با پر آب شدن رودخانه‌ها و تغذیه آب زیرزمینی بر مساحت پهنا در دوره‌های تر تأثیر داشته است. بازه عمق ۱۲/۴۳ تا ۱۸/۴۰ متر شامل دو بخش آبخوان می‌شود. بخش کوچکی از مرز شرقی آبخوان در نزدیکی پیژومتر کلوان که همان گونه در شکل ۳ نیز مشاهده شد دارای کمترین اختلاف در فصل تر و خشک بود. این موضوع در شکل ۴ نیز به خوبی مشهود است. بخش‌های مرکزی آبخوان که در فصل تر ناحیه بین نهر پشته تا فاراب را شامل می‌شود در مقایسه با فصل خشک ناحیه بیشتری را دربرگرفته و در امتداد مسیر رودخانه قره‌چای گسترش یافته است. بخش مرکزی در فصل تر و با پر آب شدن رودخانه‌ها گسترش یافته به نحوی که حدود ۱/۵ درصد از مساحت نسبت به فصل خشک و زمانی که آب رودخانه‌ها کمتر است را شامل می‌شود. دامنه عمق آب ۱۸/۴۰ تا ۲۵/۷۴ متر که بخش اعظم آبخوان را به خود اختصاص داده، در فصل خشک ۱/۵۳ درصد از مساحت بیشتر از فصل تر است. بیشتر بودن پهناهایی با عمق بیشتر در فصل خشک نسبت به فصل تر در این نواحی نشان دهنده تأثیر کمبود بارش و برداشت از منابع آب زیرزمینی به منظور مصارف شهری و کشاورزی منطقه است. بازه عمق ۲۵/۷۴ تا ۳۸/۴۶ متر در آبخوان شامل مرزهای شمالی و غربی آبخوان است. این ناحیه در فصل خشک ۳/۶۳ درصد از مساحت نسبت به فصل تر بیشتر است. هم‌چنین این پهنا شامل بخش کوچکی از شرق آبخوان در فصل خشک بوده که نشان دهنده تأثیر کمبود بارش‌ها و برداشت در فصل خشک می‌باشد. بازه عمق ۳۸/۴۶ تا ۷۹/۱۲ متر که بخش شمال شرقی از آبخوان را شامل می‌شود. این پهنا در فصل تر شامل ۹/۲۹ درصد از مساحت آبخوان و در فصل خشک ۱۰/۵۷ درصد بوده که دارای تفاوت ۱/۲۸ درصدی است. دلیل این امر تأثیر بسیار اندک نزولات جوی بر آب‌های زیرزمینی با عمق زیاد است که در پژوهش (Asadzadeh et al. (2016) برای پیژومترهای با عمق زیاد در دشت قره چهاردلی نیز گزارش شده است. (Khan et al. (2008) در بررسی آب زیرزمینی در یکی از دشت‌های استرالیا به ضعیف بودن همبستگی بین بارش و آب‌های عمیق

- impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems* 22(2):159-177
- Kiani Salmi S, and Nazifie M (2015) The application of neural network model to estimate of groundwater consumption. *Desert Ecosystem Engineering Journal* 4(7):99-109 (In Persian)
- Kolahdoozan A, Dinpajooch Y, Mirabbasi Najafabadi R, Asadi E, and Darbandi S (2015) Effect of Zayandehrood river dry becoming on Najafabad aquifer oscillations during past two decades. *Iranian, Journal Soil and Water Research* 46(1):81-93 (In Persian)
- Lloyd-Hughes B, and Saunders MA (2002) A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology* 22:1571-1592
- Li B, and Rodell M (2014) Evaluation of a model-based groundwater drought indicator in the conterminous US. *Journal of Hydrology* 526:78-88
- Mishra AK, and Singh VP (2010) A Review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391(1):202-216
- Mahmoodi M, and Zeinivand H (2014) An analysis of the relationship between meteorological and hydrological droughts: A case study of Kashkan watershed, Lorestan province, Iran. *International Bulletin of Water Resources and Development* 3:150-161 (In Persian)
- Mendicino G, Alfonso S, and Pasquale V (2008) A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology* 357(1-3):282-302
- Mohammad Jani A, and Yazdani N (2014) Analysis of the water crisis in Iran and its management requirements. *Journal of Trend* 21(65):117-144 (In Persian)
- Mohammadi Ghaleni M, Ebrahimi K, and Araghinejad S (2010) Groundwater quantity and quality evaluation: A case study for Saveh and Arak aquifers. *Water and Soil Science* 21(2):93-108 (In Persian)
- Mohammadian A, Kouhi M, Adineh Baigi A, Rasouli SJ, and Bazrafshan B (2010) Comparison of monitoring of drought using SPI, DI and PNI and zoning them (Case study: Northern Khorasan province). *Journal of Water and Soil Conservation* 17(1):177-184 (In Persian)
- Morid S, Smakhtin V, and Moghaddasi M (2006) Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran: *Int. J. Climatol* 26:971-985 (In Persian)
- Naderianfar M, Ansari H, Ziaei A, and Davary K (2011) Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin
- Ahmadi Akhoorme M, Nohegar A, Soleimani Motlagh M, and Taie Semiromi M (2015) Groundwater drought investigating using SWI and GRI indexes (Case study: Marvdasht Kharameh aquifer). *Journal of Water and Irrigation* 6(21):105-118 (In Persian)
- Akbari M, Jarge MR, and Madani Sadat H (2009) Assessment of decreasing of groundwater table using geographic information system (GIS) (Case study: Mashhad aquifer). *Journal of Water and Soil Conservation* 16(4):63-78 (In Persian)
- Asadzadeh F, Kaki M, Shakiba S, and Raei B (2016) Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in Qorveh-Chardoli Plain. *Iran-Water Resources Research* 12(3):153-165 (In Persian)
- Chamanpira G, Zehtabian G, Ahmadi H, and Malekian A (2014) Effect of drought on groundwater resources; a study to optimize utilization management (Case study: Alashtar plain). *Bull. Env. Pharmacol. Life Science* 3:48-56
- Gibbs WJ, and Maher JV (1967) Rainfall deciles as drought indicators. *Bulletin No.48, Bureau of Meteorology, Melbourne* 34- 41
- Golmohamadi G, Maroufi S, and Mohamadi K (2009) Regionalisation of runoff coefficient in Hamedan province using geostatistical methods and GIS. *Journal of Water and Soil Science* 12(46):501-514 (In Persian)
- Hayes M, Svoboda MD, Wall N, and Widhalm M (2010) The Lincoln declaration on drought indices: Universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, DOI: 10.1175/2010PAMS31031
- Heydari Aghagol M, Gholami E, and Rostami Barani H (2017) Finding potential groundwater resources using fuzzy logic (Case study: South Khorasan province). *Iran-Water Resources Research* 13(1):211-215 (In Persian)
- Piri H, and Bameri A (2014) Investigating the quantity variation trend of groundwater table using geostatistics and GIS (Case study: Sirjan Plain). *RS and GIS for Natural Resources* 5(1):29-44 (In Persian)
- Karimirad I, Ebrahimi K, and Araghinejad Sh (2015) Investigation of climate variability impacts on multilayer aquifers (Case study: Gorgan plain). *Water and Irrigation Management* 5(2):261-275 (In Persian)
- Khan S, Gabriel HF, and Rana T (2008) Standard precipitation index to track drought and assess

- effects reduction. *Iran-Water Resources Research* 13(1):20-37 (In Persian)
- Rahman AS, Kamruzzama M, Jahan CS, and Mazumder QH (2016) Long-term trend analysis of water table using 'MAKESENS' model and sustainability of groundwater resources in drought prone barind area, NW Bangladesh. *Journal of the Geological Society of India* 87(2):179-193
- Soleimani Motlagh M, Ghasemieh H, Talebi A, and Abdollahi K (2017) Identification and analysis of drought propagation of groundwater during past and future periods. *Water Resources Management* 31:109-125
- Tukey JW (1977) *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley publication, pp:205-235
- Willeke G, Hosking JRM, Wallis JR, and Guttman NB (1994) *The national drought atlas*. Institute for water resources report 94, NDS. 4, U.S., Army Corp of Engineers, 587p
- Neyshabour. *Iranian of Irrigation & Water Engineering* 1(3):22-37 (In Persian)
- Nohegar A, and Mahmood Abadi S (2012) Evaluation of some climate drought indexes and determined suitable index in Kahoorestan. *Geography Journal* 2(2):89-98 (In Persian)
- Pak Z, Movahed A, and Akbari M (2014) The effect of climatic drought on the decline in groundwater levels using standardized precipitation index (Case study: Arak plain). 5th National Conference on Water Resources Management. 18 and 19 Februray, Tehran, Iran (In Persian)
- Radfar M, Van Camp M, and Walraevens K (2013) Drought impacts on long-term hydrodynamic behavior of groundwater in the tertiary–quaternary aquifer system of Shahrekord plain, Iran. *Environmental earth sciences* 70(2):927-942
- Raghibi V, Safavi H R, and Mortazavi-Naeini M (2017) Conjunctive use of water resources based on drought