

بررسی نوسانات عمق آب زیرزمینی در دشت ملایر

حمید زارع ایبانه^{1*}، مریم بیات ورکشی² و صفر معروفی³

تاریخ دریافت: 89/12/3 تاریخ پذیرش: 91/1/27

1-3- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری، دانشگاه بوعلی سینا

* مسئول مکاتبه E-mail: zareabyaneh@gmail.com

چکیده

مدلسازی نوسانات سطح آب زیرزمینی به عنوان یک سری زمانی دارای پیچیدگی و عدم قطعیت در مولفه های آن است که در این بررسی مطالعه گردید. بدین منظور از متغیرهای زمانی عمق آب زیرزمینی در 22 حلقه چاه پیزومتری و بارش سه ایستگاه باران سنجی در آبخوان دشت ملایر طی 19 سال (1368-1386) استفاده شد. روند در سری داده های ماهانه، فصلی و سالانه یاد شده با اعمال آزمون ناپارامتریک تخمین گر سن¹ (Q_{med}) محاسبه و بر مبنای قیود تعریف شده، تفسیر و زمان آغاز شدت و جهت روند با به کارگیری آزمون گرافیکی من کندال² انجام شد. مثبت بودن شیب روندها به معنای افت عمق آب زیرزمینی و کاهش حجم ذخایر آبخوان دشت ملایر است. نتایج نشان داد در مقیاس زمانی ماهانه در 79/5 درصد چاه های مورد مطالعه، روند دارای شیب مثبت معنی دار شد. شیب در 16/3 درصد مثبت و در 4/2 درصد منفی گردید. در مقیاس زمانی فصلی 80/7 درصد روندها شیب مثبت معنی دار داشت و در 14/8 درصد بقیه شیب مثبت و 4/5 درصد شیب منفی بدست آمد. در مقیاس زمانی سالانه محاسبات نشان داد روند در بیشتر چاه های مطالعه شده (81/8 درصد) روند دارای شیب مثبت معنی دار بود. از 18/2 درصد بقیه 13/6 درصد با شیب مثبت و غیر معنی دار در 4/6 مابقی با شیب منفی غیر معنی دار مواجه شدند. در مجموع رفتار روند چاه های پیزومتری در جهت افت عمق آب زیرزمینی است که بیانگر وضعیت نامطلوب حاکم بر آبخوان است.

واژه های کلیدی: تخمین گر سن، دشت ملایر، عمق آب زیرزمینی، من کندال

¹ Sen's estimator

² Mann-Kendall

Investigating Water Table Depth Fluctuations in the Malayer Plain

H Zare Abianeh^{1*}, M Bayat Varkeshi² and S Marofi³

Received: February 22, 2011 Accepted: April 15, 2012

^{1,3}Assoc. Prof. Dept. of Irrig Engin., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Ira

²MSc Student, Dept. of Irrig. Engin., BU Ali Sina Univ., Hamedan, Iran

*Corresponding author: E-mail: zareabyaneh@gmail.com

Abstract

Modeling of water table depth fluctuations because of uncertainty in its parameters is rather complicated and was studied in the current work. For this purpose temporal variability of water table depth at 22 piezometric wells and precipitation data at 3 rainfall stations in the Malayer plain were evaluated from 1989 to 2007. Trends in data series of monthly, seasonally and annually with Sen's estimator nonparametric method was calculated and interpreted based on the defined constraints and trend start time by using Mann-Kendall test. The results showed that at monthly time scale 79.5% of the wells had significant positive slope. The remaining 16.3% had positive and 4.2% negative slope. At seasonal time scale 80.7% of trends had significant positive slope; 14.8% of the rest encountered with positive and the remaining 4.5% with negative slopes. At the annual time scale, analysis indicated that the trend in 81.8% of the wells was significant with positive slope. The trend in 13.6% was non-significant with positive slope and the 4.6% was negative. Overall, the trends of piezometric wells showed rapid decreasing in the water table depth at the studied area and presenting unwise utilization of the ground water resources in the area.

Keywords: Malayer Plain, Mann-Kendall, Sen's estimator, Water table depth

مقدمه

مولفه‌های آن پیچیده است (نایاک و همکاران 2006). استفاده از مدل‌های کامپیوتری آب زیرزمینی در دهه‌های اخیر به‌عنوان روشی ارزان و سریع در بررسی چگونگی حرکت، بیلان و مدیریت بهره‌برداری می‌باشد که پیشرفت قابل توجهی هم داشته است (ایزدی و همکاران 1387، میرعباسی نجف‌آبادی و رهنما 1386). یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی متغیرهای هیدرولوژی نظیر بارش و دما، بررسی

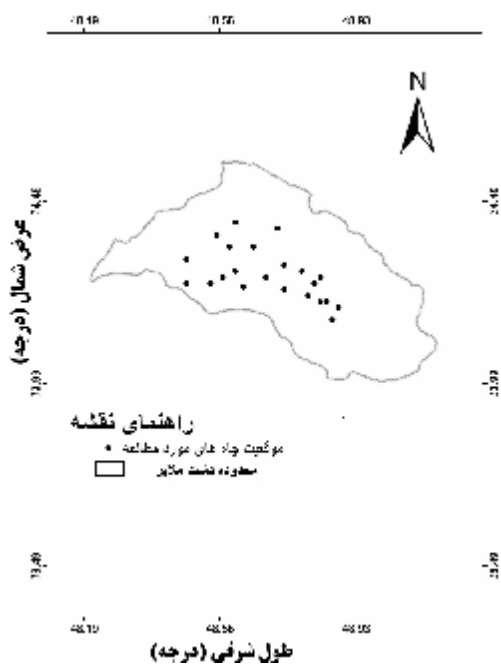
منابع آب زیرزمینی به‌دلیل آن‌که دیرتر تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی به‌ویژه نوسانات بارندگی قرار می‌گیرند ارزشمند هستند. بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی ابزاری مفید در تعیین اندازه تغییرات کوتاه مدت و بلند مدت سفره در اقلیم‌های متفاوت به‌واسطه برداشت و تغذیه می‌باشد. مدل‌بندی نوسانات سطح آب زیرزمینی به‌دلیل پیچیدگی ماهیت و عدم قطعیت در

روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل بیانگر روند افزایشی کلیه متغیرهای کیفی آب بود. اغلب بررسی‌ها در زمینه تحلیل روند به روش‌های ناپارامتری انجام شده است. به‌عنوان مثال سسگولاری و همکاران (2007) با اذعان به تاثیر تغییرات اقلیم بر نوسانات سطح آب دریا از روش من‌کنندال در بررسی روند کوتاه مدت نوسانات سطح آب دریا نشان دادند از مجموع 8 ایستگاه مستقر در حاشیه دریای مدیترانه، اژه و سیاه، 5 ایستگاه دارای روند افزایشی، یک ایستگاه دارای روند کاهش و 2 ایستگاه فاقد روند بودند. به‌نظر آنان یکی از دلایل افزایش سطح آب دریا ممکن است افزایش بارندگی‌ها در اقلیم مدیترانه‌ای باشد. در این راستا کارابولوت (2009) نیز روند افزایشی غیرمعنی‌داری را برای بارش‌های ماهانه 43 ساله اقلیم مدیترانه‌ای گزارش کرد. نتایج مشابهی نیز از مطالعات پارتال و کاهایا (2006) با اعمال روش من‌کنندال و تخمین‌گر سن بر داده‌های بارندگی در منطقه اقلیمی مدیترانه‌ای گزارش شده است. در مطالعه‌ای دیگر، روند جریان‌های سیلابی و جریان‌های کوچک آبراه‌ای در آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه روش من‌کنندال نشان داد داده‌های سیلابی فاقد روند بوده ولی جریان‌های آبراه‌ای بعضی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بود (دوگلاس و همکاران 2006). مطالعات لیو و همکاران (2006) در خصوص روند 29 ساله‌ی شوری آب زیرزمینی به‌واسطه‌ی نم‌ک‌زنی جاده‌ها و بزرگ‌راه‌های شمال آمریکا برای جلوگیری از یخ‌زدگی با روش من‌کنندال نشان داد غلظت کلر به‌طور معنی‌دار به‌مقدار 0/2 میلی‌گرم در لیتر در هر سال افزایش داشته است. در حالی‌که روند افزایش غلظت سدیم معنی‌دار نبود.

یکی از رویکردهای مهم در مطالعات آب زیرزمینی بررسی روند تغییرات عمق دسترسی به آب زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف زمانی است. روش من‌کنندال و تخمین‌گر سن از مهم‌ترین روش‌های ناپارامتریک در ارزیابی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی هستند که به‌طور گسترده در آشکارسازی روند داده‌های غیرنرمال استفاده می‌شود (پاسکوینی و همکاران 2006، صبوحی و سلطانی 1387).

در این بررسی تلاش خواهد شد روند تغییرات عمق دسترسی به آب زیرزمینی مورد بررسی قرار

روند تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد (حجام و همکاران 1387). در زمینه روند پارامترهای اقلیمی مثل بارش و دما مطالعات ارزشمند متعددی توسط محققین انجام شده است (عزیزی و روشنی 1387، یانگ و همکاران 2003، کاهیا و کالایسی 2004). اما علی‌رغم اهمیت شناخت تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در رابطه با وجود روند در سری‌های زمانی آن، تحقیق جدی صورت نگرفته است. قاسمی و همکاران (1386) در مطالعه‌ای توصیفی از تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار، نشان دادند که سطح آب از سال 1370 الی 1385 در حدود 11 متر افت داشته است. در تحقیقی دیگر زارع ابیانه و همکاران (1390) تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت ملایر را به‌علت برداشت بی‌رویه، کاهش بارندگی‌ها و حفاری‌های غیرمجاز، کاهش گزارش نمودند. عزیزی (1382) بروز روند منفی در سطح آب زیرزمینی دشت قزوین را معلول فعالیت‌های انسانی ذکر کرده است که می‌توان ناهنجاری‌های منفی در اکثر دشت‌های کشور را ناشی از چنین فعالیت‌هایی دانست. در تحقیق دیگر تحت عنوان بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور توسط نادریان‌فر و همکاران (1390) مشخص شد روند شیب سطح آب زیرزمینی دشت در دوره 1372-1385 منفی بوده و در سطح 5 درصد معنی‌دار می‌باشد. ارتباط تغییرات بارندگی و سطح آب زیرزمینی در منطقه چاه افضل اردکان یزد بر پوشش گیاهی، تراکم و تولید گونه گیاهی اشنان مطالعه گردید. نتایج نشان داد شاخص-های گیاهی فوق با نوسان‌های بارندگی ارتباطی نداشته ولی همبستگی بالایی با افت عمق دسترسی به آب زیرزمینی دارند (عبداللهی و همکاران 1385). ایمان‌دل و همکاران (2000) با بررسی توصیفی وضعیت غلظت نیترات و نیتريت در منابع آب زیرزمینی جنوب‌غرب تهران نشان دادند غلظت نیترات در مقایسه با سال 1993 به میزان 2/4 میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته لیکن مقدار نیتريت محلول در آب کاهش یافته است. مشابه چنین روند افزایشی از غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی استان اصفهان هم از سوی جعفری ملک-آبادی و همکاران (1383) گزارش شده است. مطالعه دانشور وثوقی و همکاران (1390) در بررسی روند



شکل 1- محدوده دشت ملایر و آبخوان مورد مطالعه

اقلیمی وجود ندارد (وینیکف و ربوک 2002)، لیکن در پژوهش حاضر به منظور مطالعه روند دسترسی به آب زیرزمینی از روش ناپارامتریک و برای پیش‌بینی تغییرات آن در آینده از مدل رگرسیونی استفاده گردید (ایزدی و همکاران 1387). یکی از اهداف اساسی در به-کارگیری تحلیل‌های رگرسیونی پیش‌بینی متغیر وابسته بر مبنای مقادیر متغیرهای مستقل است (رحمانی و همکاران 1387). ضمن آن‌که جاجاریا و همکاران (2009) مدل رگرسیون را مکمل آزمون ناپارامتریک گزارش نموده‌اند. از سویی به‌کارگیری مدل رگرسیونی در این مطالعه، برای پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان بود که با فرض تابعیت عمق دسترسی به آب زیرزمینی نسبت به زمان و برآزش مدل چند جمله‌ای درجه 2 به-سری زمانی داده‌ها انجام شد. انجام آزمون رگرسیونی بر روی سری زمانی داده‌های عمق دسترسی به آب زیرزمینی تمامی چاه‌های پیژومتری در گام زمانی سالانه و فصلی انجام شد و معادلات خطوط برآزش یافته براساس ضریب تعیین بالاتر به‌دست آمد.

به‌منظور انجام تحلیل‌های روند، ابتدا داده‌های کمی 45 حلقه چاه پیژومتری در سطح دشت مورد توجه قرار گرفت. درنهایت با لحاظ بیشترین طول دوره آماری (69-1368 تا 87-1386) از داده‌های پیژومتری 22 حلقه

گردد. بنابراین هدف از این تحقیق، مطالعه تغییرات هیدرولوژیکی عمق دسترسی به آب زیرزمینی دشت ملایر از طریق بررسی روند عوامل عمق دسترسی به آب زیرزمینی و بارش با روش ناپارامتریک تخمین‌گر سن، تعیین دوره‌های روند با روش من‌کنندال متوالی³ و همچنین ارتباط تغییرپذیری عمق دسترسی به آب زیرزمینی با بارش در گام‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه، پایه‌ای برای مطالعات سیستماتیک در زمینه روند تغییرات عمق دسترسی به آب زیرزمینی دشت ملایر با وسعت 536 کیلومترمربع بین طول شرقی $48^{\circ}30'$ تا $49^{\circ}1'$ و عرض شمالی $34^{\circ}30'$ تا $34^{\circ}7'$ است (شکل 1). حوزه آبریز ملایر از دیدگاه مدیریت منابع آب یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوزه علیای رودخانه کرخه با وسعت 2965 کیلومترمربع می‌باشد. از این حوزه طی سال‌های 1365 تا 1382 به میزان 312 میلیون مترمکعب آب از طریق چشمه‌ها، قنات و چاه-های عمیق و نیمه‌عمیق برداشت گردیده که چاه‌ها از سهم بیشتری برخوردار بوده‌اند (بی‌نام 1387).

هدف از آزمون روند، بررسی وجود سیر افزایشی یا کاهش‌ی در سری زمانی داده‌ها است که از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک قابل انجام است. برای روش-های پارامتریک وجود فرضیاتی مانند نرمال بودن، ایستایی و استقلال داده‌ها لازم است. از آنجایی‌که سری‌های هیدرولوژیکی معمولاً چنین شرایطی ندارند و دارای داده‌های بریده هستند، لذا روش‌های ناپارامتریک کاربرد بیشتری دارند (میرعباسی نجف‌آبادی و دین-پژوه 1389). هرچند برخی محققان نشان دادند تفاوت معنی‌داری در نتایج اعمال دو روش پارامتریک و ناپارامتریک در خصوص روند بسیاری از عناصر

³ Sequential Mann-Kendall

اطلاعات ماهانه عمق دسترسی به آب زیرزمینی چاه‌ها از دفاتر و جداول مخصوص امور آب استان همدان استخراج و به محیط نرم‌افزار اکسل انتقال یافت. علاوه بر مقادیر ماهانه، میانگین‌های فصلی و سالانه آن‌ها هم محاسبه و در فایل‌های مخصوص جهت انجام عملیات روند، ذخیره گردید.

چاه (جدول 1) در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استفاده شد. همچنین در کمک به تحلیل توصیفی روند عمق دسترسی به آب زیرزمینی، تغییرات بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی خیرآباد، ناملیه و پیهان با طول دوره آماری مشترک نیز تعیین شد.

جدول 1- مشخصات چاه‌های پیرومتری دشت ملایر

ارتفاع محل چاه (متر)	مختصات جغرافیایی		نام چاه	ارتفاع محل چاه (متر)	مختصات جغرافیایی		نام چاه
	عرض (UTM)	طول (UTM)			عرض (UTM)	طول (UTM)	
1795/67	3788064	305179	فروز	1707/4	3811711	290277	کسب
1680/52	3799721	280215	کهریز	1756/2	3791314	298040	می‌آباد
1677/61	3805430	284384	نکیل‌آباد	1793/16	3784315	303918	قلعه خلیفه
1678/94	3797065	276116	جاده دهنو	1776/02	3791602	302979	جوراب
1763/25	3793631	291420	نمازگاه	1780/26	3796578	302432	ازناو
1679/31	3796130	274349	مهدی‌آباد	1744/21	3794750	299182	ناملیه
1686/53	3795969	267726	تگرکی	1715/25	3799670	292908	مهرآباد
1644/05	3802250	267800	میخواران	1678/59	3810100	275500	پیرغیب
1700/6	3797569	287577	توچغاز کرتیل‌آباد	1702/66	3798600	279248	حسین‌آباد ناظم
1765/24	3788394	301871	داویجان	1667/81	3805535	278940	شمال اسکنان
1740/73	3798870	297026	انبارسیمان	1689/6	3812828	280586	حسین‌آباد شاملو

اگر شرط $\frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1+1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$ برقرار باشد آن‌گاه فرض مستقل بودن داده‌ها در سطح معنی‌داری 10 درصد پذیرفته و آزمون من‌کنندال قابل استفاده است، در غیر این صورت بایستی از آزمون‌های دیگر استفاده نمود. نتایج ضریب خودهمبستگی داده‌ها نشان داد، داده‌ها مستقل نبوده و خودهمبستگی معنی‌داری بین داده‌ها وجود داشت. از آنجایی‌که شرط لازم برای استفاده از آزمون من‌کنندال، برقرار نبود، لذا از روش تخمین‌گر سن استفاده شد. تخمین‌گر سن روشی ناپارامتریک برای تحلیل سری‌های زمانی براساس تفاوت بین مقادیر مشاهداتی است. از طرفی نتایج روش تخمین‌گر سن در تحلیل سری‌های دارای فراوانی زیاد، داده‌های تکراری و وجود داده‌های جفت گمشده نسبت

پس از آماده‌سازی اولیه داده‌ها مطابق روش بکار رفته توسط میرعباسی نجف‌آبادی و دین‌پژوه (1389) با انجام آزمون معنی‌داری خودهمبستگی¹ مرتبه k ام داده‌ها در قالب رابطه (1)، نسبت به انتخاب روش تحلیل آماری روند ناپارامتریک تصمیم‌گیری شد.

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad [1]$$

که در آن r_k ضریب خودهمبستگی، x_i مقادیر مشاهداتی در زمان j ، میانگین داده‌های مشاهداتی، n تعداد داده‌های مشاهداتی و $k=1, 2, 000, \frac{n}{4}$ می‌باشد.

¹ Autocorrelation coefficient

صورت نوسان حول صفر خواهد بود. مقدار $U(t)$ از ابتدای سری زمانی به سمت انتهای آن محاسبه می‌شود. این روش مقادیر نسبی همه داده‌های سری زمانی (x_1, x_2, \dots, x_n) را مدنظر قرار می‌دهد. گام‌های زیر برای محاسبه $U(t)$ انجام شد.

1- مقادیر x_j بازای $(j=1, \dots, n)$ با مقادیر x_k بازای $(k=1, \dots, j-1)$ مقایسه شدند. در هر مقایسه تعداد مواردی که $x_j > x_k$ شمارش و با n_j نشان داده شد.

2- آماره t از رابطه زیر به دست آمد.

$$t_j = \sum_1^j n_j \quad [6]$$

3- میانگین و واریانس آماره از روابط زیر محاسبه گردید.

$$E(T) = \frac{n(n-1)}{4} \quad [7]$$

$$Var(t_j) = \frac{[j(j-1)(2j+5)]}{72} \quad [8]$$

4- مقادیر متوالی آماره $U(t)$ از رابطه زیر محاسبه شد.

$$U(t) = [t_i - E(t)] / \sqrt{Var(t_j)} \quad [9]$$

به‌طور مشابه مقادیر $U'(t)$ به‌صورت پسر و یعنی شروع محاسبات از انتهای سری زمانی انجام شد. این روش می‌تواند به‌طور موثر برای تعیین سال (های) آغاز روند به‌کار رود (حجام و همکاران 1387).

محل تقاطع دو خط $U(t)$ و $U'(t)$ زمان آغاز روند است. اگر خطوط مذکور در داخل محدوده بحرانی $\pm 1/96$ همدیگر را قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع نمایند حاکی از وجود روند در سری‌های زمانی است.

برای پیش‌بینی روند آتی عمق دسترسی به آب زیرزمینی، ارتفاع سطح آب سفره به‌عنوان متغیر وابسته از روی متغیر مستقل زمان در قالب مدل رگرسیون چند جمله‌ای درجه 2 پیش‌بینی گردید. ملاک انتخاب هر یک از مدل‌ها، حداکثر شدن ضریب تعیین (R^2) طبق رابطه 10 در نظر گرفته شد (اسدالله فردی و همکاران 2011).

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (X_{oi} - \bar{X}_o)(X_{pi} - \bar{X}_p) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - \bar{X}_o)^2 - \sum_{i=1}^n (X_{pi} - \bar{X}_p)^2} \quad [10]$$

به روش من‌کنندال برتری دارد (حجام و همکاران 1387). برای تشخیص زمان آغاز روند، جهت و نوع هم آن از روش من‌کنندال متوالی استفاده شد (لیو و همکاران 2006، پارتال و کاهیا 2006).

در روش تخمین‌گر سن ابتدا شیب بین جفت داده‌های مشاهداتی (Q_i) از رابطه 2 محاسبه، سپس میانه (Q_{med}) سری زمانی یا شیب خط روند برحسب واحد متغیر (متر در واحد زمان) براساس تعداد داده‌های (n) فرد از رابطه 3 و زوج از رابطه 4 به دست آمد. در نهایت حدود اعتماد بالا و پایین به‌کمک یک آزمون دو دامنه در دو سطح اطمینان 0/05 و 0/01، از رابطه 5 محاسبه شد (پارتال و کاهیا 2006).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad [2]$$

که در آن x_j و x_k به ترتیب مقادیر مشاهداتی در زمان‌های j و k مشروط به این‌که $j > k$ باشد و i تعداد داده‌های مشاهداتی است.

$$Q_{med} = \frac{Q_{n+1}}{2} \quad [3]$$

$$Q_{med} = \frac{1}{2} \left(\frac{Q_n}{2} + \frac{Q_{n+2}}{2} \right) \quad [4]$$

$$M = 100(1 - \alpha)\% \quad [5]$$

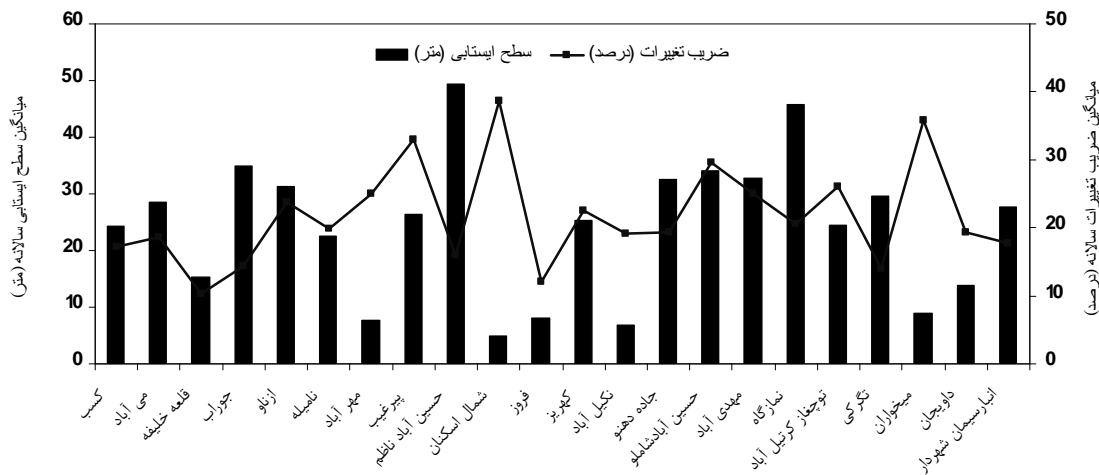
آماره a برای سطوح اطمینان 95 و 99 درصد به ترتیب $\pm 1/96$ و $\pm 2/58$ است. اگر مقدار M محاسبه شده بین دو محدوده یاد شده باشد، فرض صفر یا تصادفی بودن داده‌ها رد و حاکی از وجود یک روند معنی‌دار در سری زمانی است. در مقابل اگر M محاسباتی در خارج از دو محدوده یاد شده باشد فرض صفر پذیرفته و به‌سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ روندی در سطح اطمینان مورد نظر نسبت داد. مقادیر مثبت Q_{med} نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن بیان‌گر روند کاهش سری زمانی است.

برای تشخیص زمان آغاز روند، جهت و نوع آن از روش من‌کنندال متوالی استفاده شد (پارتال و کاهیا 2006). برای این‌کار مقادیر $U(t)$ و $U'(t)$ از روی سری داده‌ها به دست آمد. در اینجا $U(t)$ دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است. بنابراین رفتار توالی آن به-

نتایج و بحث

نتایج میانگین سالانه عمق دسترسی به آب زیرزمینی (متر) و ضریب تغییرات آن (درصد) که حاصل نسبت انحراف معیار به میانگین عمق دسترسی به آب زیرزمینی است برای هر یک از پیزومترها در دوره مطالعاتی در شکل 2 نشان داده شده است.

که در آن X_{oi} مقدار مشاهده شده سطح آب زیرزمینی سال i ام (متر)، X_{pi} مقدار برآورد شده i ام (متر)، \bar{X}_p میانگین مقدار برآورد شده (متر) \bar{X}_o میانگین مقدار مشاهده شده (متر) و n تعداد سالها می باشند. نزدیک بودن R^2 به یک بیانگر مناسب بودن جهت پیش-بینی وضعیت عمق دسترسی به آب زیرزمینی در آینده است. بدین ترتیب در صورت استمرار شرایط کنونی در آینده می توان روند سطح آب را پیش بینی و برای مدیریت آن تصمیم گیری کرد.



شکل 2- میانگین عمق آب زیرزمینی و ضریب تغییرات آن در چاه های پیزومتری

شیبها و معنی داری آنها در دو سطح اطمینان 95 و 99 درصد برای 12 سری زمانی ماهانه، 4 سری فصلی و یک سری سالانه تنظیم شده است.

جدول 2، در گام زمانی ماهانه، 18/28 درصد از چاهها فاقد روند معنی دار بودند. بیشترین مقدار روند مثبت در سطح معنی داری 99 درصد برابر 1/87 مربوط به چاه پیزومتری حسین آباد شاملو در ماه خرداد است. چاه های پیزومتری حسین آباد ناظم و ازناو نیز از نظر مقدار روند به ترتیب در مقام دوم و سوم قرار دارند. در مقابل، در چاه های پیزومتری تگرکی، نکیل آباد و در 9 ماه از چاه پیزومتری فروز برای عمق دسترسی به آب زیرزمینی، هیچ روند معنی داری به دست نیامد. در چاه تگرکی روند در اکثر ماه های سال منفی است که این به

بر اساس شکل 2، عمق دسترسی به آب زیرزمینی برای هر چاه پیزومتری به علت تغییر در وضعیت آب و هوا و مقدار آب استحصالی از منابع آب زیرزمینی در سال های مختلف متفاوت است. نوسانات عمق دسترسی به آب زیرزمینی علاوه بر عوامل فوق می تواند به تبعیت از موقعیت مکانی چاه های پیزومتری از نظر قرارگیری در مجاورت رودخانه، چاه کشاورزی و یا ضخامت لایه آبدار باشد که بر نوسانات درازمدت سطح آب درون پیزومترها تاثیر گذاشته است (شکل 2).

نتایج بررسی روش تخمین گر سن برای عمق دسترسی به آب زیرزمینی هر چاه پیزومتری طی سال های مختلف در جدول 2 آورده شده است. جدول 2 نتایج بررسی روند سطح آب زیرزمینی (Q_{med}) در چاه های پیزومتری دشت ملایر را برای هر یک از 22 چاه پیزومتری نشان می دهد. این جدول بر اساس میانه

جدول ۲- نتایج تخصیص گرسن (Gross) در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه چاه‌های مورد مطالعه (متر در واحد زمان)

نام چاه پرومتری	ماهانه											
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
کبک	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
سبک	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
فدایخانه	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
حوراب	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
ازگل	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
نابله	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
مهرک	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
پورغیا	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
حسن لک نغم	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
شمال اسکان	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
فرور	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
کهنر	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
نگل لک	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
حله دمنر	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
حسن لک نامر	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
مهدی لک	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
نمازک	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
نورجنازکریل لک	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
نگرکی	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
مخارون	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
داوچکان	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
ابارسیگان شهریار	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰

مشی‌داری در سطح آ درصدها، مشی‌داری در سطح ب درصدها

درصد آن‌ها دارای شیب مثبت و $4/2$ درصد آن‌ها دارای شیب منفی هستند.

در مقیاس زمانی فصلی از بین 88 مقدار Q_{med} به دست آمده، $80/7$ درصد دارای روند مثبت معنی‌دار و $19/3$ درصد فاقد روند معنی‌دار که $14/8$ درصد آن‌ها دارای شیب مثبت و $4/5$ درصد آن‌ها دارای شیب منفی هستند.

در مقیاس زمانی سالانه از بین 22 مورد Q_{med} محاسباتی، روند $81/8$ درصد موارد معنی‌دار با شیب مثبت و $18/2$ درصد موارد فاقد معنی‌داری بود که روند $13/6$ درصد عدم معنی‌دار با شیب مثبت و $4/6$ مابقی دارای شیب منفی بود. مثبت بودن مقادیر شیب تخمین‌گر سن به مفهوم افت عمق دسترسی به آب زیرزمینی و منفی بودن آن به معنای بالا آمدن عمق دسترسی به آب زیرزمینی است. بیشترین تعداد شیب‌های منفی در هر سه مقیاس زمانی مربوط به چاه پیزومتری تگرکی است که در غرب دشت قرار دارد.

و تغییرات اقلیمی از 432 میلی‌متر در سال 1365 به 311 میلی‌متر در سال 1382 کاهش یافته است.

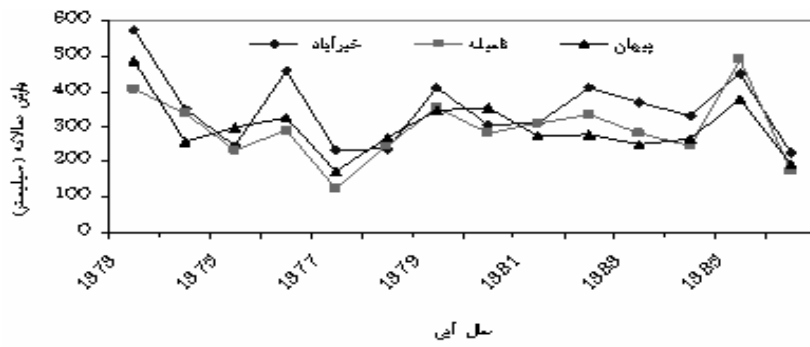
مطالعه زارع ابیانه و همکاران (1388) علاوه بر کاهش بارندگی نشان داد منطقه همدان از جمله ملایر تقریباً در هر ده سال، یک دوره دو سالانه خشکسالی با شدت خفیف و در دوره‌های 30 سال، یک خشکسالی شدید را شاهد بوده است. لذا بروز خشکسالی با شدت‌های مختلف، برداشت بی‌رویه آب به واسطه رشد جمعیت و توسعه شهری نقش مهمی در افت سطح آب زیرزمینی داشته است.

برای تعیین زمان آغاز روند، از روش من‌کنندال متوالی (آزمون گرافیکی من‌کنندال) استفاده شد. بدین منظور دو آماره $U(t)$ و $U'(t)$ از رابطه 9 محاسبه و در شکل 4 ترسیم شد. در این شکل زمان شروع روند و پایان آن به خوبی قابل تشخیص است.

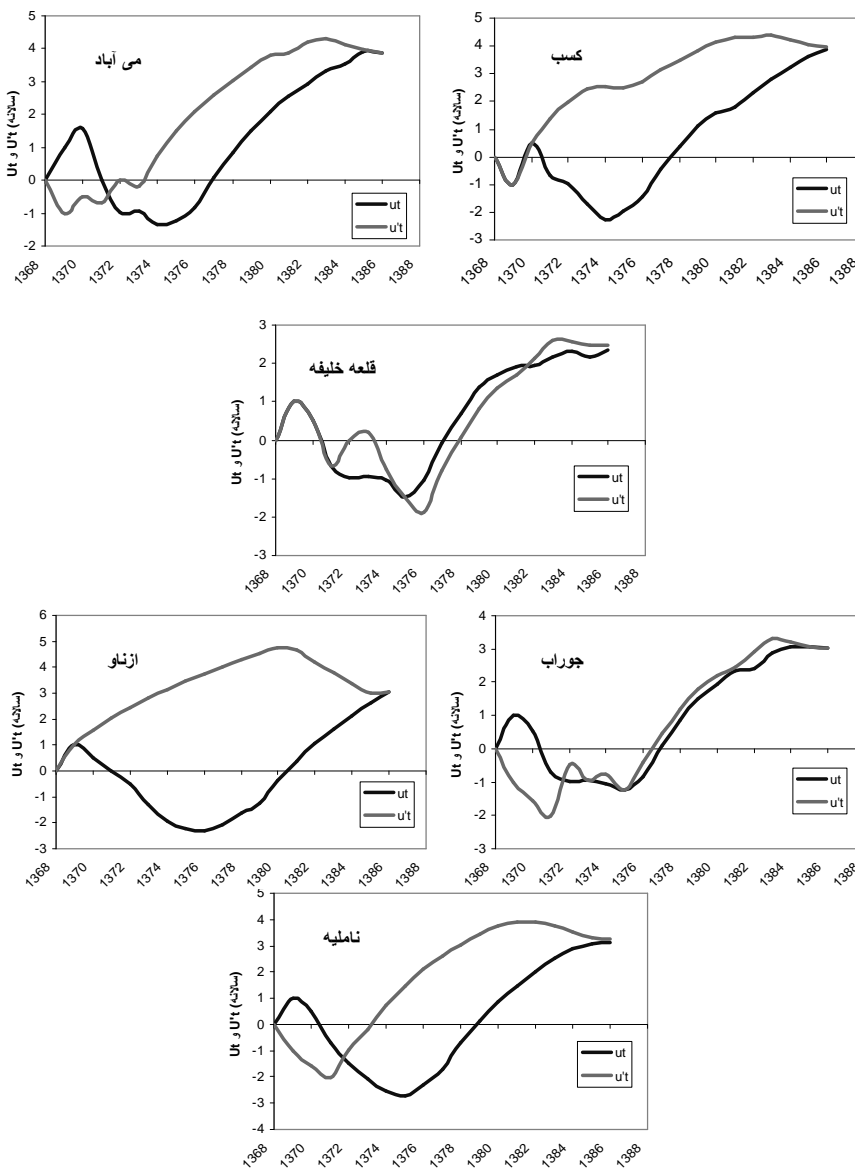
معنای کاهش عمق دسترسی به آب زیرزمینی است. همان‌گونه که از جدول 2 ملاحظه می‌گردد در مقیاس فصلی و سالانه نیز بیشترین مقدار روند معنی‌دار مربوط به چاه‌های پیزومتری حسین‌آباد شاملو، پیرغیب و مهدی‌آباد است. کمترین مقدار روند معنی‌دار مربوط به چاه‌های پیزومتری مهرآباد، شمال اسکنان و داویجان است. از طرفی چاه‌های پیزومتری قلعه‌خلیفه، نکیل‌آباد و تگرکی فاقد هرگونه روند معنی‌دار در مقیاس زمانی فصلی و سالانه بودند. ضمن آن‌که چاه تگرکی تنها چاه پیزومتری دارای روند منفی غیر معنی‌دار در سه فصل پاییز، زمستان، بهار و در گام زمانی سالانه بود که بیانگر افزایش مقدار آب زیرزمینی است.

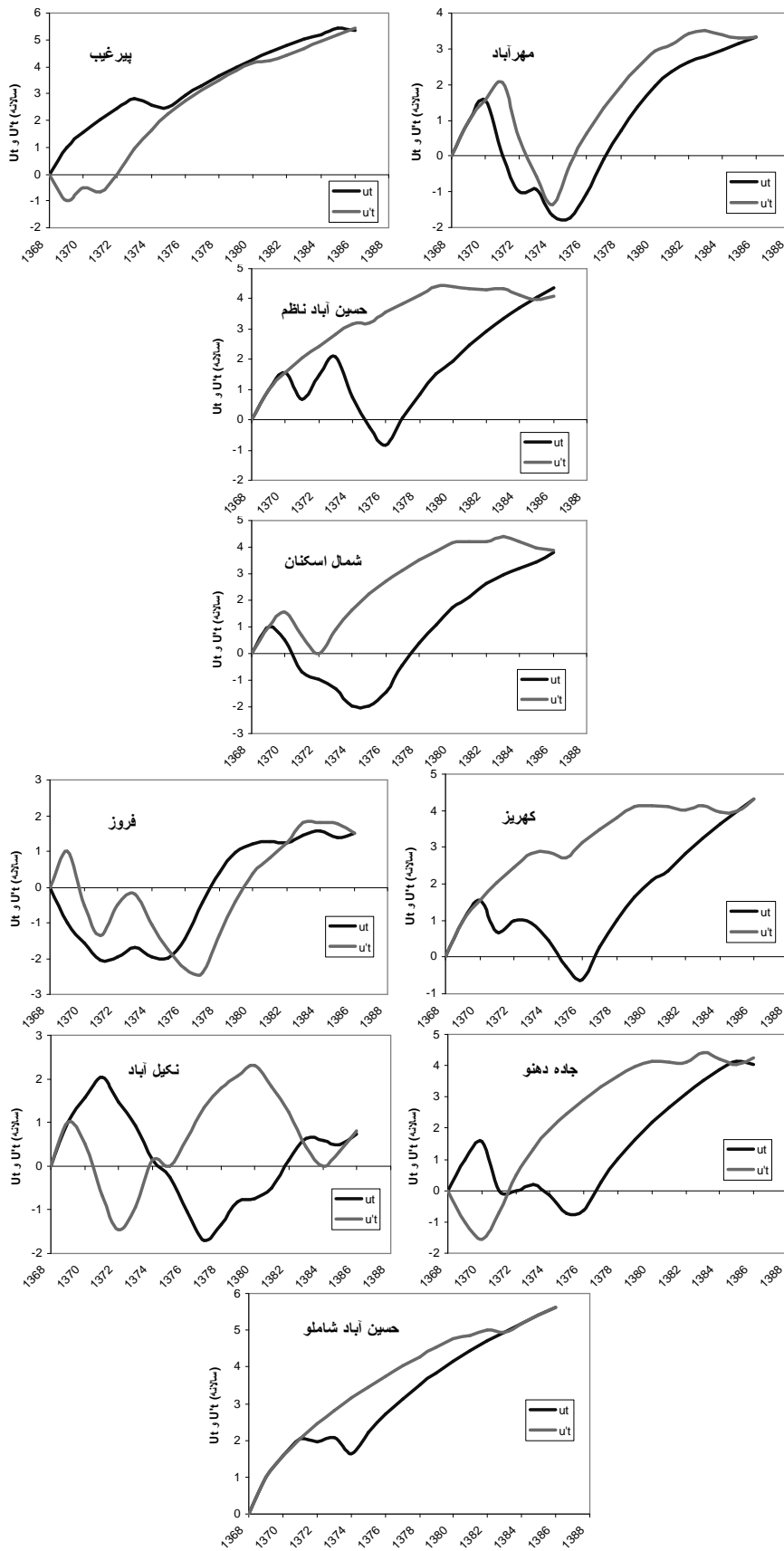
نتایج کلی حاصل از جدول 2 را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

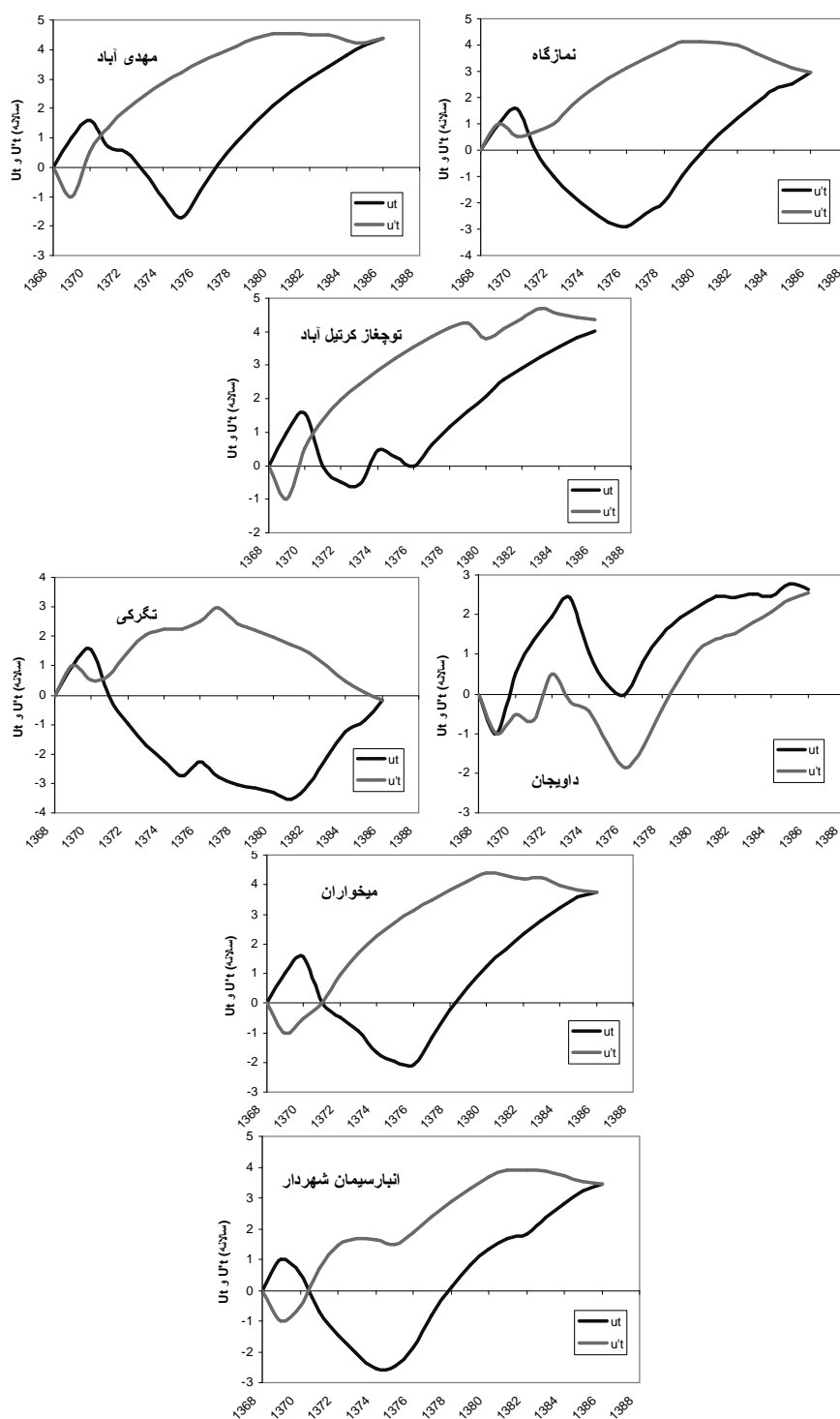
در مقیاس زمانی ماهانه از بین 264 مقدار تخمین‌گر سن (Q_{med}) محاسبه شده، $79/5$ درصد دارای شیب مثبت معنی‌دار و $20/5$ درصد عدم معنی‌داری که $16/3$ حجم ذخایر یک آبخوان نتیجه بیلان مولفه‌های ورودی جریان و مولفه‌های خروجی جریان است. بارش از عوامل موثر بر بیلان مولفه‌های ورودی است. به عبارت دیگر تغییرات افزایشی یا کاهش‌ی بارش‌های حادث شده در سطح دشت در توجیه روند منفی یا مثبت یک آبخوان اهمیت دارد. لذا روند بارش دشت از طریق سه ایستگاه باران‌سنجی خیرآباد، ناملیه و پیهان در سطح دشت نیز بررسی گردید (شکل 3). آماره Q_{med} برای ایستگاه‌های خیرآباد، ناملیه و پیهان در مقیاس سالانه به ترتیب $-1/94$ ، $-1/50$ و -4 به دست آمد. منفی بودن آماره Q_{med} به معنی کاهش بارندگی در سطح حوضه است که بر تغذیه سفره تاثیر گذاشته و افت سطح آب زیرزمینی را به دنبال داشته است. در تایید کاهش مقدار بارندگی‌های دشت ملایر، می‌توان به گزارش زارع ابیانه و همکاران (1390) استناد نمود که مقدار بارندگی‌ها به علت خشکسالی‌های چند ساله اخیر



شکل 3- روند تغییرات بارش در ایستگاه‌های دشت ملایر







شکل 4- روند سطح آب زیرزمینی ترسیم شده از روش من کندانال گرافیکی در 22 حلقه چاه پیزومتری

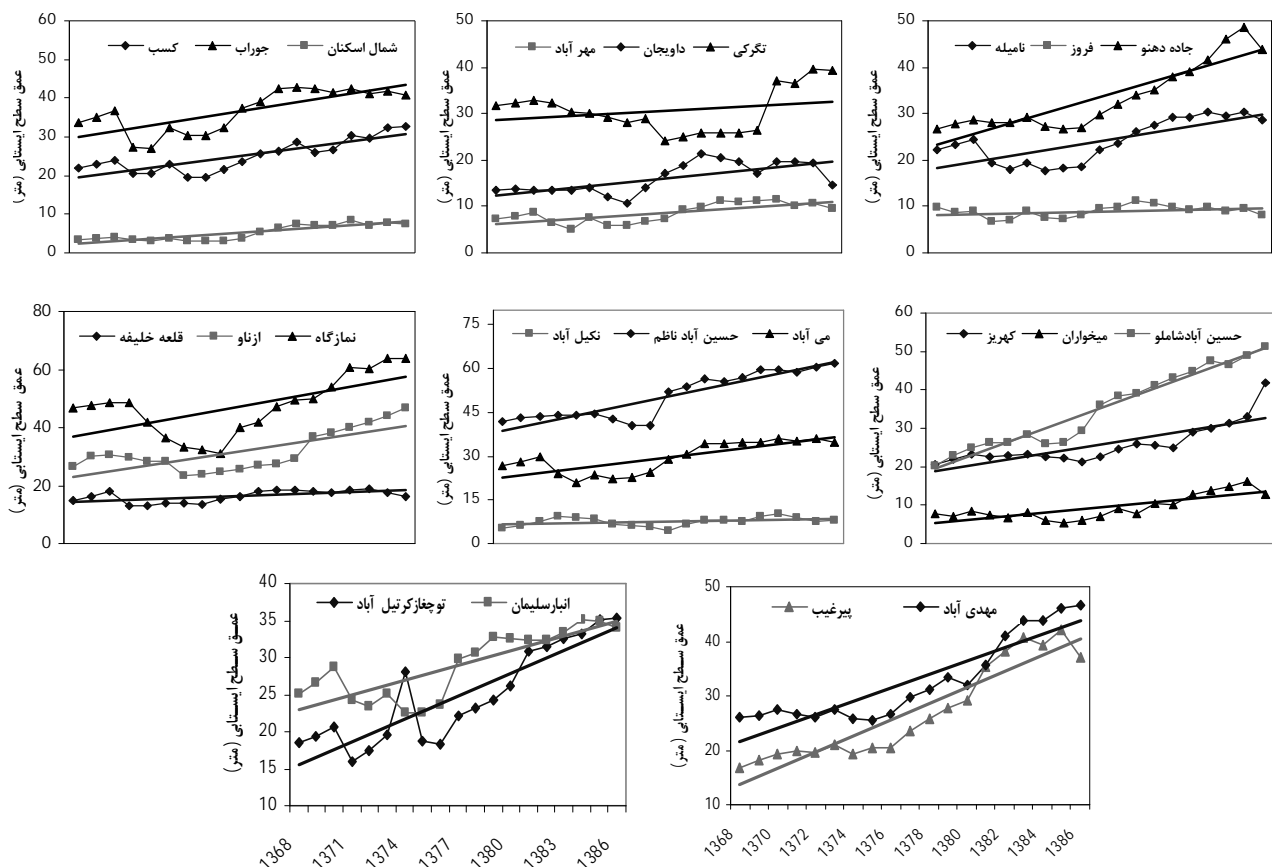
توچغاز کرتیل آباد سایر چاه‌ها طی دوره زمانی مورد مطالعه حداقل یک دوره روند را گذرانده‌اند. همچنین در تمامی چاه‌های پیزومتری تقریباً از نیمه دوم دهه 1380 دوره جدید روند شروع شده است. با توجه به نمودارهای ترسیم شده معلوم گردید محل تقاطع دو

نتایج تحلیل توصیفی آزمون گرافیکی دوره‌های روند در شکل 4 نشان می‌دهد، بیشترین دوره‌های روند مربوط به چاه پیزومتری جوراب با چهار دوره روند 72-73، 73-75، 75-81 و چاه نکیل آباد با سه دوره 69-74، 74-83 و 83-86 است. به همین ترتیب به جز چاه

2 در جهت افت عمق دسترسی به آب زیرزمینی است که بیانگر وضعیت نامطلوب حاکم بر آبخوان دشت ملایر است.

شکل 5 روند تغییرات سالانه آب زیرزمینی را براساس افت سطح آب نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل مشاهده می‌شود با توجه به خط برازش داده شده، برای همه چاه‌ها روند افت وجود دارد اما شدت روند در هر چاه متفاوت است. همان‌طور که در قبل اشاره شد، شدت افت و خیزهای سطح آب در سفره می‌تواند به علت کاهش بارندگی، تغییر در الگوی ریزش‌های جوی از برف به باران به علت گرمایش جهانی و منطقه‌ای، فعالیت‌های نابخردانه بشر و فشار بیش از حد بر منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر باشد. تاثیر عوامل فوق بر تغییرات سطح آب زیرزمینی در گزارشات محمدی و شمسی‌پور (1382) و کردوانی (1370) نیز آمده است.

خط $U(t)$ و $U'(t)$ در بیشتر ایستگاه‌ها، داخل محدوده $\pm 1/96$ است که موید ناگهانی بودن زمان شروع تغییرات است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نمودارها نشان داد روند تغییرات عمق دسترسی به آب زیرزمینی در چاه تگرگی منفی است. منفی بودن روند در چاه تگرگی مطابق شکل 5 در راستای نتایج جدول 2، یعنی منفی بودن آماره Q_{med} برای چاه تگرگی بود که بیانگر بالا آمدن عمق دسترسی به آب زیرزمینی است. لیکن همان‌گونه که شکل 4 نشان می‌دهد روند در تمامی چاه‌ها به‌جز در کوتاه مدت دارای شیب مثبت است. مثبت بودن روند در شکل 4 با تفاوت‌های جزئی با مثبت بودن آماره مقادیر Q_{med} در اکثر چاه‌ها (جدول 2) همخوانی دارد. از طرفی مثبت بودن آماره Q_{med} و افزایشی بودن شیب روند در شکل 4 به معنای افت عمق دسترسی به آب زیرزمینی و در مجموع کاهش حجم ذخایر آبخوان دشت ملایر است. در مجموع رفتار روند چاه‌های پیژومتری در شکل 4 و مقادیر جدول



شکل 5- روند سری زمانی تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی در 22 حلقه چاه پیژومتری

آب زیرزمینی در کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز می‌تواند موثر باشد. دانشور و همکاران (1390) بروز روند مثبت تغییرات غلظت تمامی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل را گزارش نمودند. مطالعه آنان نشان داد روند مثبت غلظت متغیرهای کیفی در ماه کم آب بیش از ماه پر آب است. بنابراین می‌توان اظهار داشت، افزایش عمق دسترسی به آب زیرزمینی، افزایش غلظت عناصر موجود در آب زیرزمینی را به دنبال خواهد داشت.

در این پژوهش سعی شد تا موضوع پیش‌بینی روند در آینده مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور، مقادیر عمق دسترسی به آب زیرزمینی آبخوان دشت ملایر در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی روی محور عمودی و سال‌های مورد نظر در محور افقی قرار گرفته و سپس مدل چندجمله‌ای درجه 2 به‌عنوان مدلی مناسب برازش و معادلات آن استخراج گردید (جدول 3). در تمامی مدل‌های جدول 3، x زمان بر حسب سال شمسی و y ارتفاع سفره آب زیرزمینی نسبت به سطح زمین بر حسب متر است. همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد، مدل‌های پیشنهادی در جدول 3 به‌شرط حفظ شرایط موجود، قادر به تخمین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال‌های آتی می‌باشند. به‌طوری‌که با لحاظ سال مربوطه به‌عنوان متغیر x ، می‌توان مقدار سطح آب زیرزمینی (y) همان سال را برآورد نمود.

شکل 5 ادامه روند کاهش سطح آب زیرزمینی را برای آینده دشت ترسیم می‌کند، هرچند ممکن است در چاه‌هایی مانند فروز و تگرکی به‌صورت موردی روندی در جهت مخالف را داشته باشد. اما از آنجایی‌که تمامی چاه‌های یک سفره با یکدیگر ارتباط هیدرولیکی دارند لذا روند کلی سفره را می‌توان کاهش دانست. به اعتقاد زارع ایبانه و همکاران (1390) کاهش بارندگی، بروز خشکسالی‌های پیوسته در چند سال اخیر و برداشت‌های بی‌رویه و غیر مجاز، در کاهش حجم ذخایر سفره و بروز روند منفی عمق دسترسی به آب زیرزمینی آبخوان دشت ملایر بی‌تاثیر نبوده است. به‌علاوه یانگ و همکاران (2003) ایران را در زمره کشورهای دارای کسری آب بعد از سال 2000، آکامو و همکاران (2000) در گروه کشورهای دچار تنش آبی در سال 2025 و اسماکتین و همکاران (2004) ایران را کشوی دارای تنش آبی زیاد دانسته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه در راستای شرایط توصیف شده از سوی محققین فوق است که با توجه به‌شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران و تلاش‌های اخیر در راستای خودکفایی در تولید محصولات استراتژیک با فشار بیشتر بر منابع آب (روحانی و همکاران 1387) می‌تواند توجیه‌گر روند کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور باشد. البته خشکسالی‌های چند سال اخیر نیز در این خصوص نقش قابل توجهی داشته است (محمدی و شمسی‌پور 1382). روند منفی حجم ذخایر

جدول 3- مدل رگرسیونی بهینه در پیش‌بینی سطح آب پیژومترها در مقیاس سالانه و فصلی

ضریب تعیین	مدل رگرسیون	دوره	مقیاس
0/903	$y = 0/0561x^2 - 153/8 x + 105404$	سالانه	سالانه
0/902	$y = 0/0586x^2 - 160/58 x + 110082$	پائیز	فصلی
0/897	$y = 0/0543x^2 - 148/82x + 101999$	زمستان	
0/891	$y = 0/0562x^2 - 153/95 x + 105515$	بهار	
0/891	$y = 0/0551x^2 - 150/98 x + 103413$	تابستان	

نتیجه‌گیری

زیرزمینی مشابه روند بارش در جهت کاهش حجم ذخایر سفره آب زیرزمینی باشد.

روند رشد صنایع کوچک مانند کارگاه‌های سبزه خشک‌کنی به‌عنوان یکی از قطب‌های انگور و کشمش کشور، وجود معادن کانی نظیر معدن سرب آهنگران و معدن سیلیس ازندریان و توسعه شهر ملایر گامی در صنعتی شدن منطقه است. توسعه صنایع در حال رشد (صوبوحی و سلطانی 1387) باعث افزایش دی‌اکسید کربن و تشدید پدیده گلخانه‌ای، توسعه شهر و افزایش جمعیت شهری (رنجیر سعادت آبادی و همکاران 1384) سبب افزایش شدت جزیره گرمایی، انتظار افزایش دما (شیرغلامی و قهرمان 1383)، کاهش بارندگی، افزایش تداوم و شدت خشکسالی‌ها (زارع ایبانه و همکاران 1388) در کنار فشار برداشت آب بیشتر از منابع آب زیرزمینی (امور آب استان همدان 1387، روحانی و همکاران 1387) موجب افت معنی‌دار آب زیرزمینی می‌شود. روند منفی معنی‌دار افت آب زیرزمینی می‌تواند مشکلاتی برای بخش کشاورزی و صنایع نوپای شهر ملایر در پی داشته باشد. هرچند به‌نظر می‌رسد برخی از تصمیم‌گیران، به‌دلیل نگرانی‌های اقتصادی، سعی در ایجاد شغل و ایجاد امنیت غذایی از راه توسعه صنایع و افزایش سطح زیرکشت هستند. اما رشد سریع جمعیت و منابع زیربنایی و در نتیجه نیاز به آب و هم‌چنین محدودیت منابع آب منجر به استفاده از سایر راه-کارهای تامین آب خواهد شد. بنابراین اقدامات و سیاست‌گذاری‌ها باید به‌صورتی باز و مستقیم با چالش‌های کمبود آب برخورد کنند و با تدابیری صحیح و آگاهانه امنیت بلند مدت منابع آبی کشور و دشت ملایر را تامین نمایند.

مقایسه تغییرات آماره تخمین‌گر سن Q_{med} بین سری‌های زمانی نشان می‌دهد، شدت روند تغییرات سالانه‌ی عمق دسترسی به آب زیرزمینی با شدت روند تغییرات فصلی و ماهانه، متفاوت است که در بررسی علل تغییرات سالانه، شناخت روند فصلی و ماهانه لازم به‌نظر می‌رسد. این تفاوت می‌تواند ناشی از تغییرات زمانی برداشت‌ها و تغییرات زمانی بارش‌ها در طول یک سال باشد. چرا که یک سال پر بارش می‌تواند متشکل از چندین ماه و یا چند فصل کم بارش باشد و در مقابل یک سال کم بارش نیز می‌تواند شامل چند ماه یا فصل پر باران باشد که در گام زمانی سالانه به‌دلیل تجمعی بودن بارش‌ها قابل تشخیص نباشد. به‌همین ترتیب چنین شرایطی در تغییرات حاکم بر یک سفره نیز به‌دلیل تفاوت در مقدار بارش‌ها و تفاوت در مقدار برداشت‌ها تاثیر دارد. لیکن روند کلی تغییرات در هر سه مقیاس زمانی در جهت افت سطح آب درون چاه‌های پی‌زومتری و به تبع کاهش حجم ذخایر آبخوان دشت ملایر است. از جمله دلایل افت سطح آب زیرزمینی، می‌توان به افزایش برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و کاهش نزولات جوی اشاره داشت. به‌عنوان نمونه افزایش تعداد چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات از 512 مورد در سال 1365 به 1736 مورد در سال 1382 از جمله عواملی است که موجب کاهش سطح آب زیرزمینی در آبخوان مورد مطالعه شده است (زارع ایبانه و همکاران 1390). به-همین ترتیب کاهش نزولات جوی (شکل 4) و گاهاً تغییر شکل بارش از برف به باران روند کلی سطح آب

منابع مورد استفاده

ایزدی ع، داوری ک، علیزاده، ا و قهرمان ب، 1387. کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد 2، شماره 2. صفحه‌های 133-145.

بی‌نام، 1387. گزارش منابع آب زیرزمینی استان همدان. امور آب استان همدان. صفحه 53.

جعفری ملک آبادی ع، افیونی م، موسوی س ف و خسروی ا، 1383. بررسی غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی استان اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال 8، شماره 3. صفحه‌های 69-82.

حجام س، خوش‌خوی و شمس‌الدین وندی ر، 1387. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، جلد 40، شماره 64. صفحه‌های 157-168.

دانشور وثوقی ف، دین پژوهی، اعلی م ت و قربانی م ع، 1390. تجزیه و تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال. نشریه مهندسی عمران و محیط زیستف جلد 40، شماره 3. صفحه‌های 13-23.

رنجبر سعادت‌آبادی ع، علی‌اکبری بیدختی ع و صادقی حسینی س ع ر، 1384. آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین. محیط شناسی. شماره 39. صفحه‌های 59-68.

رحمانی ا، خلیلی ع و لیاقت ع م، 1387. بررسی کمی تاثیر بر عملکرد محصول جو در آذربایجان شرقی به روش رگرسیون چند متغیره. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم، شماره 44. صفحه‌های 25-36.

روحانی ن، یانگ ه، امین سیچانی س، افیونی م، موسوی س ف و کامکار حقیقی ع ا، 1387. ارزیابی مبادله محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. شماره 12. صفحه‌های 417-433.

زارع ایبانه ح، یزدانی و و اژدری خ. 1388. مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم در استان همدان. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره 69. صفحه‌های 49-35.

زارع ایبانه ح، بیات ورکشی م، معروفی ص و ایلدرومی ع، 1390. شبیه‌سازی عمق دسترسی به آب زیرزمینی دشت ملایر براساس داده‌های هواشناسی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 43. صفحه‌های 17-28.

شیرغلامی ه و قهرمان ب. 1383. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال نهم، شماره 1. صفحه‌های 23-9.

صبوحی ر و سلطانی س، 1387. تحلیل روند عوامل اقلیمی در شهرهای بزرگ ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره 12. صفحه‌های 303-321.

عبداللهی ج، ارزانی ح، باغستانی ن و میرعسگرشاهی ف، 1385. بررسی آثار بارندگی و عمق دسترسی به آب زیرزمینی بر پوشش، تراکم و تولید گونه اشنان در منطقه چاه افضل اردکان یزد. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. شماره 13. صفحه‌های 74-81.

عزیزی ق، 1382. ارزیابی خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. پژوهش‌های جغرافیایی شماره 64. صفحه‌های 131-143.

- عزیزی ق و روشنی م، 1387. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کنندال. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 64. صفحه‌های 28-13.
- قاسمی ع، زارع ابیانه ح، معروفی ص، سپهری ن و حسن‌نژاد م ص، 1386. بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت همدان - بهار در سال‌های 84 و 85، صفحه‌های 1-7. دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. خرداد ماه. دانشگاه تهران.
- کردوانی پ، 1370. ژئوهیدرولوژی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- میرعباسی نجف آبادی ر و رهنما م ب، 1386. شبیه سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل MODFLOW و بررسی اثرات سد تنگویی بر آن. مجله پژوهش آب ایران. شماره اول. صفحه‌های 9-1.
- میرعباسی نجف آبادی ر و دین پژوهی، 1389. تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه دانش آب و خاک. جلد 24، شماره 4. صفحه‌های 768-757.
- محمدی ح و شمسی پور ع ا، 1382. تاثیر خشکسالی های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشتهای شمال همدان. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 45. صفحه‌های 115-130.
- نادریان فر م، انصاری ح، ضیائی ع ن و داوری ک، 1390. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت شرایط اقلیمی مختلف در حوضه آبریز نیشابور. مهندسی آبیاری و آب ایران، جلد 1، شماره 3. صفحه‌های 22-37.
- Alcamo J, Herichs T and Rosch T, 2000. World water in 2025: Global modeling and scenario analysis for the world commission on water for the century. Center for Environmental Systems Research, Report A0002, University of Kassel, Germany.
- Asadollahfardi G, Taklify A. and Ghanbari A, 2010. Application of artificial neural network to predict TDS in Talkheh Rud River. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 138(4): 363-370.
- Douglas EM, Vogel RM and Kroll CN, 2006. Trends in flood and low flows in the United States: impact of spatial correlation. Journal of Hydrology 240: 90-105.
- Imandel K, Farshad AA and Mirabdoollah L, 2000. Increasing trend of nitrate contamination of Tehran southwest ground water aquifer of Iran. Iranian J. Publ. Health. 29(1-4): 43-54.
- Jhajharia D, Shrivastava SK, Sarkar D and Sarkar S, 2009. Temporal characteristics of pan 7evaporation trends under the humid conditions of north east India. Agric for Meteorol 149:763-770.
- Kahya E and Kalayc S, 2004. Trend analysis of stream flow in Turkey. Journal of Hydrology 289: 128-144.
- Karabulut M, 2009. Precipitation trends in Kahramanmaras along with Gaziantep and Adyaman during the period of 1963-2005. Ekoloji 18(71): 15-24.

- Liu G, Widger RA and Jin YC, 2006. Trend analysis of road salt impacts on groundwater salinity at a long-term. Pp. 1-13. Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Charlottetown, Prince Edward Island.
- Nayak P, Satyaji Rao YR and Sudheer KP, 2006. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach. *Water Resources Management* 2(1): 77-99.
- Partal T and Kahya E, 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data, *Hydrological Processes* 20: 2011–2026.
- Pasquini AI, Lecomte KL, Piovano EL and Depetris PY, 2006. Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*. 158(1): 127-139.
- SeSeoGulları B, Eris E and Kahya E, 2007. Trend analysis of sea levels along Turkish coasts. Pp. 152-160. Proc. of AGU Hydrology Days. 19 March. Istanbul, Turkey.
- Smakthin V, Revenga C and Doll P, 2004. Taking into account environmental water requirements in global scale water resources assessments. *Comprehensive assessment of Water Management in agriculture research report 2*, IWMI, Colombo, Srilanka.
- Vinnikov Y and Robock A, 2002. Trends in moments of climatic indices. *Geophysical Research Letters* 29 (2):141-144.
- Yang H, Reichert P, Abbaspour K and Zehnder AJB, 2003. A Water resources threshold and its implication for food security. *Environ Sci and Technol* 37: 3048-3054.