

بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش زمین آماری مناسب (طی یک دوره آماری 10 ساله، 1375-1385)

صدیقه محمدی^{1*}، علی سلاجقه²، محمد مهدوی³ و رضا باقری⁴

1- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پست الکترونیک: mohamadisedigeh@yahoo.com

2- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

3- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

4- استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافت کرمان

تاریخ پذیرش: 89/10/18

تاریخ دریافت: 88/11/03

چکیده

از آنجا که خصوصیات آب‌های زیرزمینی در مقیاس مکانی و زمانی عمل کرده، نمی‌توان این خواص را در طول زمان و مکان ثابت فرض کرد. بنابراین این تحقیق به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان در یک دوره آماری ده‌ساله (85-1375) به کمک بهترین روش تخمین‌گر زمین‌آماري انجام شد. در این راستا، ابتدا منابع آماری موجود سطح آب زیرزمینی دشت (شامل 67 حلقه چاه مشاهده‌ای)، جمع‌آوری و بانک اطلاعاتی تهیه شد. پس از کنترل کیفیت و صحت آمار و اطمینان از همگنی و نرمال بودن آنها، از روشهای مختلف میان‌یابی شامل روش کریجینگ (OK)، لوگ کریجینگ (OK-LOG)، کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی (OK-CO) و روش عکس فاصله (IDW) با توان‌های یک تا 5 استفاده شد و بعد انتخاب بهترین روش میان‌یابی با استفاده از دو معیار MAE, MBE بعمل آمد. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی در ابتدا و انتهای دوره مطالعه تهیه و نهایتاً نقشه هم‌افت سفره در محیط نرم‌افزاری Arc-GIS 9.1 ترسیم شد. نتایج نشان داد که واریوگرام مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی داده‌ها و روش عکس فاصله به توان 5 در ابتدای دوره و عکس فاصله به توان 4 در انتهای دوره بهترین روش میان‌یابی عامل سطح آب می‌باشد. نتایج بدست‌آمده از پهنه‌بندی، حکایت از افت سطح آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت دارد. به‌طوری‌که حداکثر این افت معادل 32 متر در خروجی شمالی دشت (دامنه مؤثر چاه 17 و 62) و خروجی غربی دشت (دامنه مؤثر چاه 8) است. همچنین نتایج حکایت از بالآمدگی آب در محدوده شهر کرمان، حداکثر معادل 7 متر، در دامنه مؤثر برخی از چاه‌ها (شماره 50 و 52)، به‌علت واقع شدن آنها در زون آب برگشت شهری و فاضلاب شهر کرمان داشت.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، سطح آب زیرزمینی، زمین‌آمار، دشت کرمان.

مقدمه

زیرزمینی فقط 6 درصد آب‌های موجود کره زمین را تشکیل می‌دهد، حال آن‌که این حجم بسیار ناچیز 98٪ آب شیرین قابل استفاده بشر را تأمین می‌کند

آب زیرزمینی بعد از یخچال‌ها، بزرگترین ذخیره آب شیرین زمین محسوب می‌شود. قابل توجه است که آب

کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی نبوده، بنابراین از زمین‌آمار به‌عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود. این تکنیک برای اولین بار حدود نیم قرن پیش برای شناسایی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی توسط یک مهندس معدن به نام کریج آغاز شد (مدنی، 1373). هر چند تکنیک زمین‌آمار، قدمت چندانی ندارد، اما توسعه روشهای مختلف زمین‌آماري باعث شده تا برخی از مطالعات راجع به سطح آب زیرزمینی، در رابطه با مقایسه انواع روشهای زمین‌آماري و حتی گاهی ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای (که مربوط به نقاط نمونه‌برداری فاکتورهای کمی آب زیرزمینی هستند) انجام شود (Dick & Gerand, 2006؛ صفری، 1381؛ میثاقی و همکاران، 1381؛ مشعل و همکاران، 1386). مطالعات متعدد دیگری نیز به‌منظور بررسی تغییرات کمی آب زیرزمینی توسط این تکنیک انجام شده است؛ *Kelin et al.*, (2005)، در مطالعه خود با تکنیک زمین‌آمار کریجینگ معمولی نقشه‌های هم‌تراز سطح آب زیرزمینی را برای شمال دشت چین تهیه کردند. یافته‌های آنها افت سفره آب زیرزمینی به میزان 6 متر را در مقایسه با سال 1990 نشان می‌دهد. همچنین آنها اذعان داشتند که دامنه تأثیر سطح آب زیرزمینی به ترتیب معادل 21/93 کیلومتر (با مدل واریوگرام نمایی) می‌باشد. در تحقیقی *Vijay & Remadevi (2006)*، نشان دادند که در تخمین سطح آب زیرزمینی روش کریجینگ نسبت به روش فاصله معکوس دقت بالاتری دارد. ترابی (1378) در مطالعه دشت کاشان به این نتیجه رسید که متوسط سطح ایستابی در طی سالهای 1344 تا 1376 حدود 16 متر افت داشت. دادرسی سبزواری (1385) در مطالعه تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، خطوط هم‌تغییر سطح آب زیرزمینی

(Todd, 2005). براساس ارزیابی‌های دانشمندان، در نیمه دوم قرن 21 به دلیل تغییرات آب و هوایی مقدار ذخایر آبی جهان 20 درصد کاهش می‌یابد و کشورهای زیادی با مشکل کمبود آب شیرین مواجه خواهند شد (Appelo & Postma, 2005).

ایران از نظر جغرافیایی در منطقه‌ای از جهان واقع شده که متوسط بارندگی آن 250 میلی‌متر (یک سوم متوسط بارندگی سالانه جهان) است (علیزاده، 1381). به‌طور کلی قسمت اعظم این کشور، خشک و کم‌آب است و آب مورد نیاز روستاها، صنایع و شهرها از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. حتی در مناطقی که بارندگی زیاد است و منابع آب سطحی وجود دارد برای جبران کمبود آب از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. در حال حاضر، در کشور به دلیل برداشت بیش از حد مجاز آب از سفره‌های زیرزمینی، بسیاری از قنات‌ها خشک و یا در حال نابودی است. منابع آب زیرزمینی به دلیل برداشتهای بی‌رویه به شدت رو به کاهش است. کاهش حجم آب‌های زیرزمینی از یک‌سو و فعالیت‌های انسان از سوی دیگر، موجب کاهش کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی و تخریب اراضی با گذشت زمان می‌گردد (هاشمی‌نژاد و کریمی، 1385). دشت کرمان جزء مناطق خشک و کویری ایران است و از لحاظ اقلیمی از شرایط مطلوبی برخوردار نیست و رودخانه و منابع آب سطحی قابل اعتمادی در این دشت وجود ندارد. بنابراین تنها منبع آبی مورد اعتماد جهت شرب و کشاورزی در این دشت سفره آب زیرزمینی است. در این دشت مسائل ناشی از آب تنها به‌علت کمبود منابع آب نیست، بلکه بیشتر به توزیع زمانی و مکانی ناموزون آن مربوط می‌گردد. از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی عاملهای

تشکیل می‌دهد. شکل 1 موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

برای انجام این تحقیق، در ابتدا اقدام به جمع‌آوری منابع آماری موجود سطح آب زیرزمینی دشت، به تعداد 67 حلقه چاه مشاهده‌ای، تهیه بانک اطلاعاتی و انتخاب پایه زمانی مشترک (سال آبی 75-1374 تا 85-1384) شد. پس از کنترل کیفیت و صحت آمار، آزمون همگنی با روش آزمون توالی¹ (مهدوی، 1381) و آزمون نرمالیت در محیط نرم‌افزاری SPSS انجام شد. به دلیل چولگی مثبت داده‌های غیرنرمال از روشهای لگاریتم‌گیری نسبت به نرمال کردن داده‌ها اقدام شد (مهدوی، 1378).

پس از برازش مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها و تعیین عاملهای آن در ابتدا و انتهای دوره آماری، مقایسه تکنیک‌های مختلف زمین‌آماری شامل روش کریجینگ (OK)، لوگ کریجینگ (OK-LO)، کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی (OK-CO) و روش عکس فاصله (IDW) با توان‌های یک تا 5، جهت درون‌یابی، با استفاده از نرم‌افزار زمین‌آماری انجام شد. لازم به ذکر است که منحنی واریوگرام از مهمترین عملیات زمین‌آمار است که از طریق معادله زیر قابل محاسبه است؛

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x+h) - z(x)]^2$$

که در آن:

$\gamma(h)$: مقدار واریوگرام برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند.

$n(h)$: تعداد جفت نمونه‌های بکار رفته به‌ازاء یک

فاصله مشخص مانند h

$Z(x)$: متغیر مشاهده شده در نقطه x

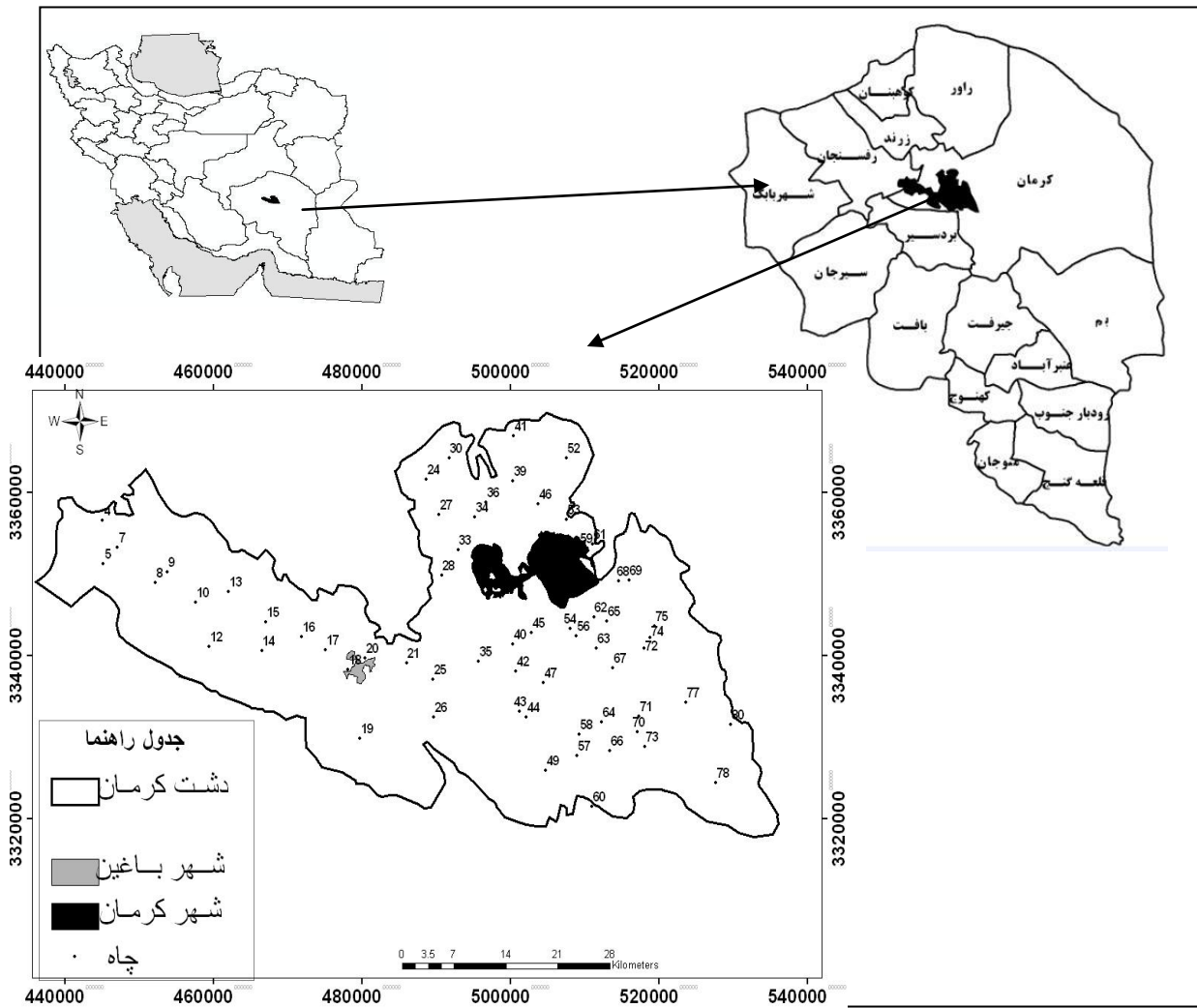
را با روش کریجینگ و در محیط نرم‌افزاری surfer ترسیم کرد. مشعل و همکاران (1386) در تحقیق خود با استفاده از داده‌های رقوم سطح آب اندازه‌گیری شده دشت اراک در 46 نقطه و برای 3 سال مختلف (مرطوب، متوسط و خشک) در بررسی زمین‌آماری خود مدل واریوگرام گوسی را به‌عنوان بهترین مدل واریوگرام برای این داده‌ها معرفی کردند.

استفاده از روشهای نامناسب درون‌یابی و ناآگاهی از مدل واریوگرامی مناسب می‌تواند برآوردهای ناصحیحی در نقشه‌های پهنه‌بندی عاملهای مورد بررسی به‌کمک روشهای زمین‌آماری به دنبال داشته باشد که این امر منجر به خسارتهای جبران‌ناپذیری در مدیریت، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزیها خواهد شد. بنابراین در این تحقیق اقدام به بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان در یک دوره آماری ده ساله (85-1375) به‌کمک بهترین روش تخمین‌گر زمین‌آماری شد که در این راستا مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌های سطح آب زیرزمینی (به‌همراه عاملهای مربوطه مدل) نیز تعیین می‌شود.

مواد و روشها

محدوده مطالعاتی دشت کرمان با کد 4906 بین طول‌های جغرافیایی 56 درجه و 18 دقیقه تا 57 درجه و 37 دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی 29 درجه و 47 دقیقه تا 30 درجه و 31 دقیقه شمالی قرار دارد. که بخشی از حوزه آبریز مرکزی ایران است و در جنوب‌غرب دشت لوت واقع شده است. وسعت این دشت 5420 کیلومتر مربع می‌باشد که 3200 کیلومتر مربع آن را سطوح آبرفتی و 2220 کیلومتر مربع دیگر را نواحی کوهستانی و کوهپایه‌ای

$Z(x+h)$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

برای آن از روی نقاط مجاور، مقداری برآورد می‌گردد. سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط شبکه بصورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد. با داشتن این دو مقدار می‌توان در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، انحراف (MBE) و دقت (MAE)² در هر روش را بدست آورد، که از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

واریوگرام دارای سه مشخصه اصلی است که شامل آستانه $(C1+C0)$ ، شعاع تأثیر (R) و اثر قطعه‌ای (C0) است (حسینی پاک، 1377).

برای بررسی دقت روشهای میان‌یابی و انتخاب بهترین روش میان‌یابی روشهای مختلفی وجود دارد که یکی از مهمترین این روشها تکنیک اعتبارسنجی حذفی می‌باشد. این تکنیک بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای به‌طور موقت حذف شده و

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))$$

$Z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر؛

$Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر؛

n : تعداد داده‌ها؛

MAE : میانگین مطلق خطا (دقت)؛

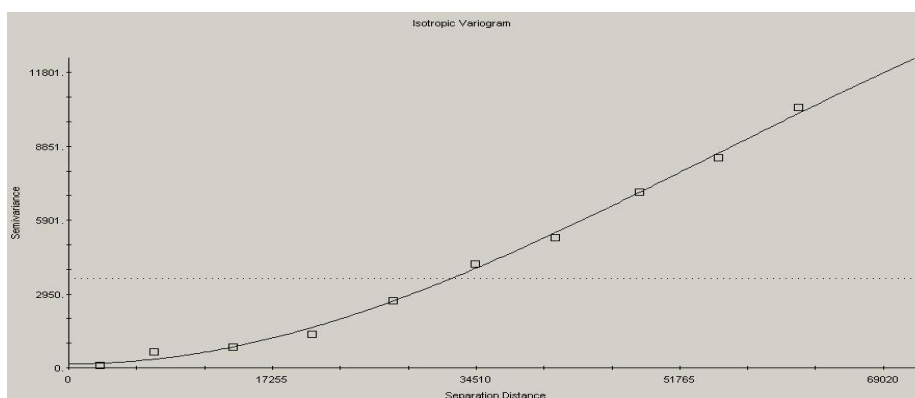
MBE : میانگین خطای انحراف.

که این دو عامل، معیاری مناسب برای برآورد دقت و انحراف تخمین است (Issak & Srivastava, 1989).

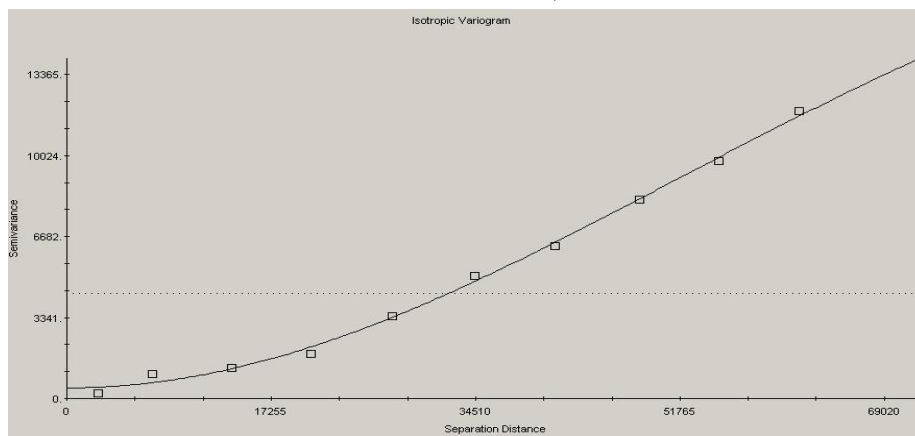
پس از انتخاب بهترین روش میان‌یابی مربوط به سطح آب زیرزمینی، نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی در ابتدا و انتهای دوره آماری مورد مطالعه در محیط نرم‌افزاری GS+ ترسیم شد. با توجه به اینکه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی حاصل از این نرم‌افزار زمین‌آماري قابل تجزیه و تحلیل، انجام عملیات محاسباتی و نیز قدرت همپوشانی نقشه‌ها نمی‌باشد. بنابراین لازم بود این نقشه‌ها در نرم‌افزاری که قدرت تجزیه و تحلیل و نیز عمل همپوشانی نقشه‌ها وجود داشته باشد، تهیه گردد. بدین منظور با استفاده از مدل مناسب ساختار فضایی و عاملهای آن در مدل و بهترین روش میان‌یابی (که در نرم‌افزار GS+ تعیین شده بود) نسبت به رسم نقشه پهنه‌بندی مکانی عامل سطح زیرزمینی دشت در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.1 اقدام شد. در نهایت از تفاضل این دو نقشه، نقشه هم‌افت آب زیرزمینی دشت بدست آمد.

جدول 1- مشخصات واریوگرام مناسب برازش شده سطح آب در هر یک از سالهای آماری

| سال | مدل واریوگرام | اثر قطعه‌ای C0 (مترمربع) | آستانه C0+C (مترمربع) | دامنه تأثیر R (متر) | پایداری ساختار فضایی C/C0+C (درصد) | هستگی r^2 (درصد) | مجموع مربعات باقیمانده RSS |
|------|---------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| 1375 | گوسن | 160 | 21420 | 77500 | 0/993 | 0/997 | 3/083E+004 |
| 1385 | گوسن | 440 | 21980 | 72100 | 0/98 | 0/997 | 2/048E+003 |



شکل 2- واریوگرام سطح آب زیرزمینی در سال 1375



شکل 3- واریوگرام سطح آب زیرزمینی در سال 1385

مناسب و تعیین عاملهای آن شد که نتایج بدست آمده در جدول 1 و شکل‌های 2 و 3 ارائه شده است.

نتایج

پس از آنالیز تجربی داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آنها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و در صورت لزوم اقدام به نرمال کردن داده‌ها اقدام به برازش واریوگرام

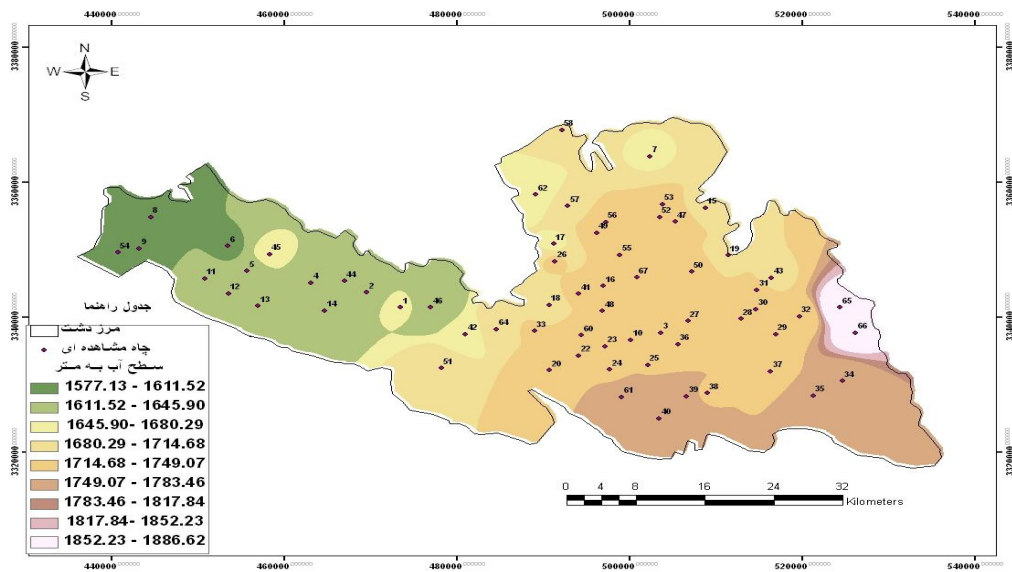
به کمک تکنیک اعتبارسنجی حذفی، از مقادیر MAE و MBE جهت ارزیابی روشهای مختلف میان‌یابی استفاده شد که نتایج بدست آمده در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2- مقادیر MAE و MBE هریک از روشهای میان‌یابی سطح آب زیرزمینی در دوره آماری

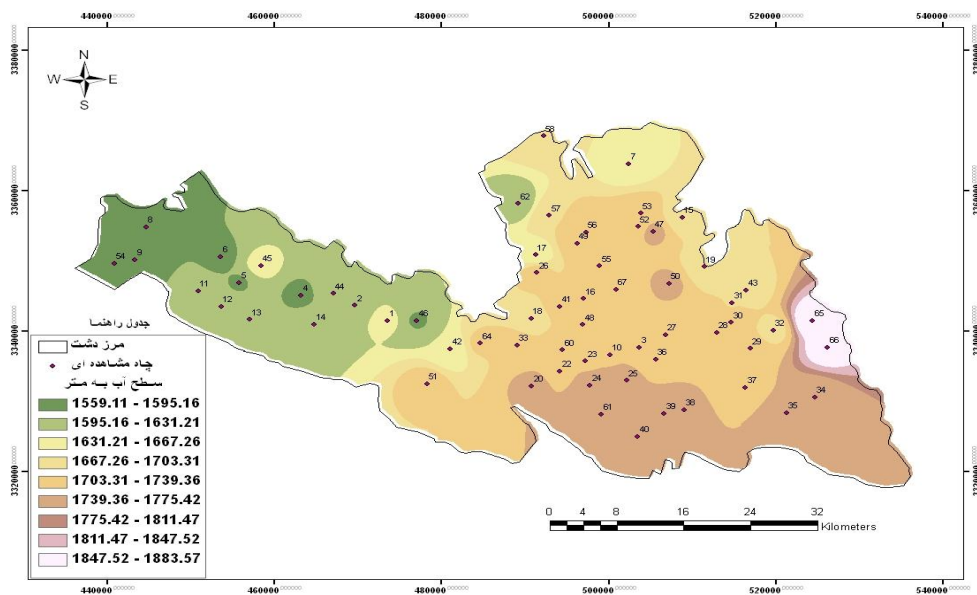
| روش | سال 1375 | | | | سال 1385 | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای | میانگین تخمینی | MBE | MAE | میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای | میانگین تخمینی | MBE | MAE |
| kriging | 1704/334 | 1704/316 | -0/01784 | 18/14209 | 1693/983 | 1693/902 | -0/08055 | 24/75136 |
| idw-1 | 1704/334 | 1705/81 | 1/475703 | 17/12939 | 1693/983 | 1696/276 | 2/292672 | 22/90855 |
| idw-2 | 1704/334 | 1704/845 | 0/510563 | 15/05113 | 1693/983 | 1695/324 | 1/341125 | 21/21069 |
| idw-3 | 1704/334 | 1704/559 | 0/225422 | 14/22011 | 1693/983 | 1695/075 | 1/091922 | 20/69736 |
| idw-4 | 1704/334 | 1704/502 | 0/167859 | 14/05358 | 1693/983 | 1695/014 | 0/031031 | 20/6105 |
| idw-5 | 1704/334 | 1704/457 | 0/122828 | 14/0637 | 1693/983 | 1694/94 | 0/957234 | 20/78773 |
| cokriging | 1704/334 | 1703/879 | -0/45512 | 14/93125 | 1693/983 | 1693/573 | -0/40988 | 20/86528 |

شکل 5 و تفاضل این دو نقشه (نقشه هم‌افت سفره) که مربوط به پهنه‌بندی زمانی می‌باشد در شکل 6 ارائه شده است. لازم به ذکر است موقعیت چاه‌های پیژومتری مورد مطالعه نیز در این نقشه‌ها نمایش داده شده است.

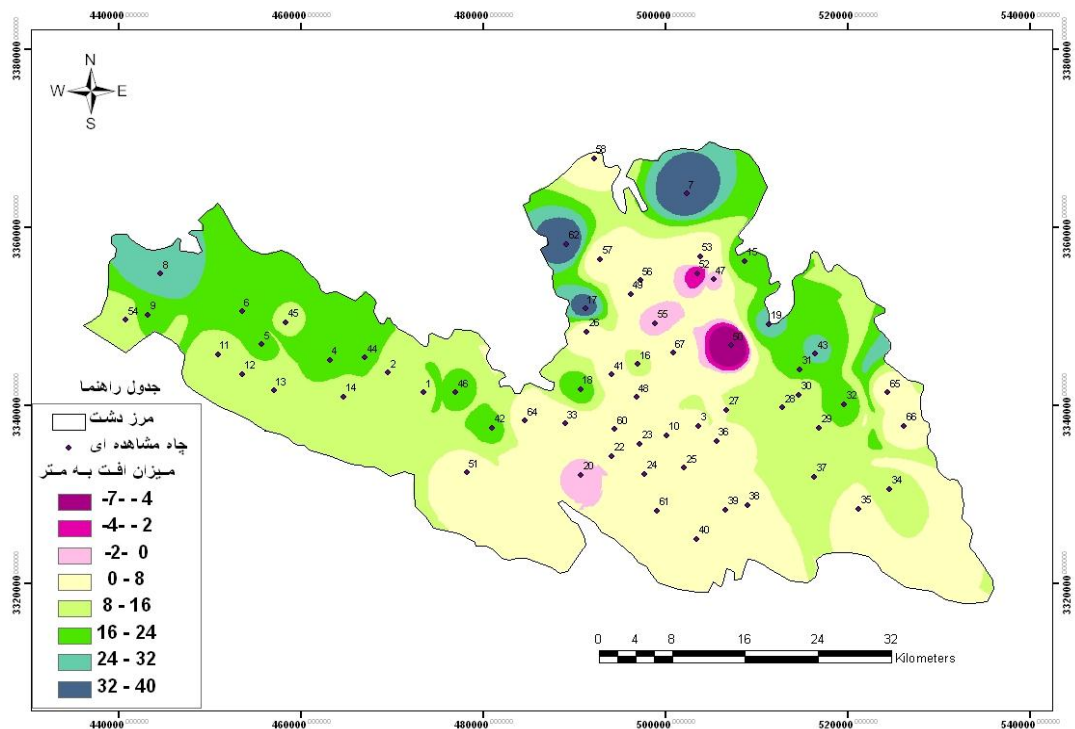
پس از انتخاب روش مناسب میان‌یابی با استفاده از نرم‌افزار GS+، جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی از نرم‌افزار Arc GIS 9.1 استفاده شد که نتایج مربوط به نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی سال 1375 در شکل 4، نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی سال 1385 در



شکل 4- پهنه‌بندی مکانی سطح آب زیرزمینی (متر) دشت کرمان در سال 1375



شکل 5- پهنه‌بندی مکانی سطح آب زیرزمینی (متر) دشت کرمان در سال 1385



شکل 6- نقشه هم‌افت (متر) آب زیرزمینی دشت کرمان

بحث

مقدار آستانه نیز از 21420 در سال 75 به 21980 در سال 85 رسیده است. یافته‌های بدست‌آمده از ارزیابی روشهای مختلف میان‌یابی با استفاده از تکنیک اعتبارسنجی حذفی در مورد عامل سطح آب زیرزمینی نشان داد که روش عکس فاصله با توان 5 در ابتدا و این روش با توان 4 در انتهای دوره آماری به‌عنوان بهترین روش میان‌یابی می‌باشد. همچنین بررسیها نشان داد که روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی H نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد و از دقت نسبتاً بالایی برخوردار است که این مهم با تحقیقات مشعل و همکاران (1386) مطابقت داشت. یافته‌های مربوط به این بخش با نتایج Vijay & Remadevi (2006) مغایرت داشت که احتمالاً به دلیل متفاوت بودن شرایط حاکم بر این دو منطقه است.

نتایج بدست‌آمده از آنالیز واریوگرافی مربوط به سطح آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای دوره آماری نشان‌دهنده این است که مناسبترین مدل واریوگرام برازش شده به ساختار فضایی این داده‌ها مدل گوسی می‌باشد که این مدل بر خلاف مدل‌های نمایی و کروی رفتاری سهمی‌گون دارد، این مهم با یافته‌های صفری (1381) در دشت چمچمال و مشعل و همکاران (1386) در دشت اراک همسویی داشت. دلیل این مطابقت را می‌توان درجه پیوستگی بالای عامل سطح آب زیرزمینی دانست. همچنین نتایج بدست‌آمده نشان داد که شعاع تأثیر این عامل از 77500 متر در سال 75 به میزان 72100 متر در سال 85 رسیده که نشان‌دهنده روند نزولی دامنه تأثیر این عامل در محدوده چاه‌های پیژومتری دشت است. همچنین

نتایج بدست آمده از بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی سطح آب زیرزمینی دشت نشان داد که در بخش شرق و جنوب شرق (ورودی دشت)، سطح آب زیرزمینی بالا می‌باشد، به طوری که بیشترین سطح تراز آب در محدوده شعاع تأثیر پیزومترهای 65 و 66 می‌باشد. بتدریج به سمت خروجی دشت در ناحیه شمال دشت و نیز خروجی غربی دشت شاهد کاهش سطح آب زیرزمینی هستیم، به طوری که کمترین میزان سطح آب زیرزمینی در محدوده پیزومترهای 8، 9 و 54 در خروجی غربی دشت و نیز در محدوده پیزومترهای 17 و 62 در خروجی شمالی دشت می‌باشد. مقایسه نقشه‌های تراز آب زیرزمینی در طول دوره آماری نشان می‌دهد که به مرور شاهد افت سطح تراز آب زیرزمینی در سطح آبخوان دشت می‌باشیم، به طوری که این افت در تمام نقاط دشت به ویژه در منطقه خروجی شمالی (بخصوص در دامنه مؤثر پیزومترهای 62 و 17) و خروجی غربی دشت چشمگیر است.

مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی ابتدا و انتهای دوره آماری نشان می‌دهد که روند افت شدید سطح تراز آب زیرزمینی در سطح دشت قابل توجه است، به طوری که متوسط سطح تراز آب زیرزمینی در ورودی دشت از 1869/4 متر در سال 75 به 1865/5 متر در سال 85 (افت 3/9 متر) و در نواحی خروجی دشت در خروجی شمالی دشت از 1663 متر به 1631 متر (افت 32 متر) و در خروجی غربی دشت از 1594/4 به 1577/1 متر (افت 17/28 متر) می‌رسد. لازم به ذکر است که افت سطح آب زیرزمینی در سایر قسمت‌های دشت نیز بطور چشمگیری دیده می‌شود. به طوری که در نواحی مرکزی دشت، متوسط سطح تراز آب زیرزمینی از 1731/9 متر به 1721/3 متر (افت 10/5 متر) می‌رسد. با عنایت به موارد ذکر شده

بطور کلی افت تراز آب زیرزمینی در این دشت با روند رو به رشدی ادامه دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سهم عمده کاهش ذخایر آبی دشت در درجه اول به عوامل انسانی مربوط است؛ و در درجه دوم به اضافه برداشت و افت سطح آب زیرزمینی، که روند رو به رشد تعداد چاه‌های بهره‌برداری و به دنبال آن افزایش برداشت و تخلیه از سفره آب زیرزمینی سبب افت مستمر سطح آب زیرزمینی در دوره آماری مورد مطالعه شده است. البته خشکسالی‌های اخیر در این راستا مزید بر علت شده و از یک سو باعث کاهش میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی از منابع آب سطحی شده و از سوی دیگر باعث هجوم انسان به بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی شده است. این نتایج با مطالعات خلیل پور (1381) در دشت قم، کتیبه (1382) در آبخوان آب باریک بم، لشکری پور (1384) در دشت مشهد، ملایی و همکاران (1386) در دشت ورامین، و صادقی (1386) در دشت اراک مطابقت داشت. دلیل این مطابقت را می‌توان به شکننده و آسیب‌پذیر بودن اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به فعالیت‌های انسانی و سایر عوامل تنش‌زا (از جمله خشکسالی) ربط داد. در این راستا به منظور متعادل نمودن مخزن پیشنهاد می‌گردد که از هر گونه اضافه برداشت بدون تمهیدات لازم به ویژه در بخش‌های خروجی دشت جداً جلوگیری بعمل آید. به طوری که ادامه وضع بهره‌برداری فعلی خسارتهای فراوانی را برای کشاورزان منطقه در پی خواهد داشت.

بررسی نقشه هم‌افت آب زیرزمینی دشت نشان می‌دهد که در طول دوره آماری مورد بررسی بیشترین میزان افت آب زیرزمینی در خروجی شمالی دشت در دامنه مؤثر چاه مشاهده‌ای 17 و 62 و نیز در دامنه مؤثر چاه مشاهده‌ای

نتایج بدست آمده از بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی سطح آب زیرزمینی دشت نشان داد که در بخش شرق و جنوب شرق (ورودی دشت)، سطح آب زیرزمینی بالا می‌باشد، به طوری که بیشترین سطح تراز آب در محدوده شعاع تأثیر پیزومترهای 65 و 66 می‌باشد. بتدریج به سمت خروجی دشت در ناحیه شمال دشت و نیز خروجی غربی دشت شاهد کاهش سطح آب زیرزمینی هستیم، به طوری که کمترین میزان سطح آب زیرزمینی در محدوده پیزومترهای 8، 9 و 54 در خروجی غربی دشت و نیز در محدوده پیزومترهای 17 و 62 در خروجی شمالی دشت می‌باشد. مقایسه نقشه‌های تراز آب زیرزمینی در طول دوره آماری نشان می‌دهد که به مرور شاهد افت سطح تراز آب زیرزمینی در سطح آبخوان دشت می‌باشیم، به طوری که این افت در تمام نقاط دشت به ویژه در منطقه خروجی شمالی (بخصوص در دامنه مؤثر پیزومترهای 62 و 17) و خروجی غربی دشت چشمگیر است.

مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی ابتدا و انتهای دوره آماری نشان می‌دهد که روند افت شدید سطح تراز آب زیرزمینی در سطح دشت قابل توجه است، به طوری که متوسط سطح تراز آب زیرزمینی در ورودی دشت از 1869/4 متر در سال 75 به 1865/5 متر در سال 85 (افت 3/9 متر) و در نواحی خروجی دشت در خروجی شمالی دشت از 1663 متر به 1631 متر (افت 32 متر) و در خروجی غربی دشت از 1594/4 به 1577/1 متر (افت 17/28 متر) می‌رسد. لازم به ذکر است که افت سطح آب زیرزمینی در سایر قسمت‌های دشت نیز بطور چشمگیری دیده می‌شود. به طوری که در نواحی مرکزی دشت، متوسط سطح تراز آب زیرزمینی از 1731/9 متر به 1721/3 متر (افت 10/5 متر) می‌رسد. با عنایت به موارد ذکر شده

برای کل دشت از نقشه پهنه‌بندی مکانی سطح آب زیرزمینی دشت استفاده شود، زیرا استفاده از هیدروگراف‌ها در ارزیابی تغییرات مکانی سطح آب، معرف کل دشت می‌باشد. در صورتی که ممکن است تغییرات سطح آب زیرزمینی در برخی مناطق دشت از روند کلی حاکم بر دشت پیروی نکرده و آنومالی‌هایی (مانند بالآمدگی آب در محدوده شهر کرمان) در برخی نقاط دشت دیده شود.

در کل می‌توان نتیجه گرفت که افت بیش از حد آب زیرزمینی در قسمت عمده‌ای از سطح دشت، طی دوره آماری مورد مطالعه، نمایانگر وابستگی بیش از حد قطب کشاورزی منطقه مطالعاتی به منابع آب زیرزمینی است. مدیریت فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری و صنعتی (که در بخش‌هایی از دشت باعث بالآمدگی آب در سطح سفره شده‌اند) و استفاده از آنها در بخش کشاورزی، نه تنها از روند شدید افت سطح سفره و وابستگی کشاورزی منطقه به منابع آب زیرزمینی جلوگیری خواهد کرد، بلکه از مشکلات و خطرات ناشی از بالآمدگی آب برای ساکنان منطقه شهری کرمان نیز خواهد کاست.

منابع مورد استفاده

- ترابی، ع.، 1378. بررسی روند شور شدن آبهای زیرزمینی شمال دشت کاشان. مجله بیابان، 4 (2): 22-1.
- حسنی پاک، ع.ا.، 1377. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، 314 صفحه.
- خلیلی‌پور، ا.، 1381. بررسی روند کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت قم و تأثیر آن بر بیابانزایی منطقه. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، 130 صفحه.
- دادرسی سبزواری، ا.، 1385. تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و بررسی نقش آن در تخریب سرزمین. اولین همایش

7 معادل حداکثر 40 متر است. در سایر بخشهای دشت نیز میزان افت قابل ملاحظه به‌ویژه در سطح وسیعی از نیمه غربی دشت، افت حداکثر 16 متر و خروجی غربی دشت در دامنه تأثیر چاه مشاهده‌ای 8 حداکثر 32 متر و در سایر نقاط خروجی غربی دشت، افت حداکثر 24 متر مشاهده می‌شود. در بخشهای مرکزی و نیز ورودی آب زیرزمینی دشت، وضعیت بهتری نسبت به سایر بخشها حاکم است و حداکثر میزان افت مشاهداتی حدود 8 متر است و در نیمه شرقی دشت افت متوسطی نسبت به سایر بخشها داریم.

همچنین بررسی نقشه هم افت آب زیرزمینی حکایت از بالآمدگی آب در دامنه مؤثر چاه‌های مشاهده‌ای 50 و 52 حداکثر به میزان 7 متر و در دامنه مؤثر چاه‌های مشاهده‌ای 47، 55، و 20 حداکثر به میزان 2 متر دارد. در ردیف‌های 50، 47، 52 و 55 روند تغییرات سطح آب بعکس سایر چاه‌های مشاهده‌ای نه تنها افت سطح آب مشاهده نمی‌شود، بلکه بعکس، سطح آب این چاه‌ها در طول زمان به علت واقع شدن آنها در زون آب برگشت شهری و فاضلاب شهر کرمان خیز داشته و سطح آب بالآمدگی قابل توجهی دارد. بنابراین لازم است در شعاعی از مرکز شهر کرمان تعدادی چاه جهت اندازه‌گیری سطح آب در نظر گرفته شود. اندازه‌گیری مستمر و ماهانه این چاه‌ها و نمونه‌برداری و تجزیه کامل شیمیایی و بررسی آلاینده‌ها و فلزات سنگین می‌تواند در مطالعات آینده در تهیه مدل‌های کمی و کیفی و طرح‌های مختلف کارساز باشد. لازم به ذکر است با گسترش شبکه پیزومتری تاکنون شبکه نسبتاً مناسبی در سطح دشت وجود دارد.

همچنین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات مربوط به منابع آب زیرزمینی بجای استفاده از هیدروگراف واحد

- منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد، ص 667 تا 678.
- سازمان آب منطقه‌ای کرمان. 1379. گزارش مطالعاتی بررسی کیفیت و آلودگی آبهای زیرزمینی دشت کرمان، 300 صفحه.
- صادقی، س.، سلیمانی، ک.، مهدوی، م. و قدیمی، ف.، 1386. بررسی روند شور شدن آبهای زیرزمینی دشت اراک. سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص 362-365.
- صفری، م.، 1381. تعیین شبکه بهینه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی با کمک روشهای زمین‌آماری. مطالعه موردی: دشت چمچمال. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس.
- علیزاده، ا.، 1386. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، 808 صفحه.
- کتیبه، ه.، 1382. بررسی‌های هیدروشمیایی آبخوان آب باریک بم. ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ص 95-85.
- کشکولی، ح.ع.، برومند نسب، س. و حسینی، ی.، 1385. بهینه‌سازی تخمین هدایت هیدرولیکی جهت نصب زهکش در ارضی کشاورزی با استفاده از روش کریجینگ و مقایسه آن با روش پلی‌گون‌بندی تیسن. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ص 64-54.
- لشگری پور، غ.، 1384. افت سطح آب زیرزمینی و پیامد نشست زمین در دشت مشهد. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص 132-124.
- مدنی، ح.، 1373. مبانی زمین‌آمار، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر. 659 صفحه.
- مشعل، م.، درویشی، ا. و قلیچ ثابت، ح.، 1386. ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی با استفاده از روشهای زمین‌آماری در دشت اراک. سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کرمان، جلد دوم، ص 884-888.
- ملایی، م.، حسین زاده، م. و فاطمی، س.ح.، 1386. بررسی وضعیت کمی آبهای زیرزمینی دشت ورامین در دوره آماری 5 ساله آبی، همایش آب‌های زیرزمینی، دانشگاه آزاد بهبهان، ص 110-124.
- مهدوی، م.، 1381. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، 364 صفحه.
- مهدوی، م.، 1378. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، 401 صفحه.
- مهدوی، م.، 1374. هیدروژئولوژی. انتشارات دانشگاه تهران، 161 صفحه.
- میثاقی، ف. و محمدی، ک.، 1381. برآورد سطح آب زیرزمینی با استفاده از روشهای متداول درون‌یابی و مقایسه آن با تکنیک زمین‌آمار. چکیده مقالات بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص 588 تا 590.
- هاشمی‌نژاد، ه. و کریمی، ا.، 1385. بررسی افت کیفیت آبهای زیرزمینی در واحدهای هیدرولوژیکی نجف‌آباد و اصفهان - برخوار در طی سالهای 76-83. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد، ص 1829 تا 1839.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 2005. *Geochemistry, groundwater and Pollution*. 2D edition, A.A.BALKEMA Publishers. 265 pp.
- Dick, J.B. and Gerard, B.M.H., 2006. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. *Geoderma*, 138: 86-95.
- Issak, E.H. and Srivastava, R.M., 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, 561pp.
- Kulin, H., Huang, Y., Li, H., Li, B., Chen, D. and Robert, E.W., 2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Environment International*, 31:893-903.
- Todd, D.K., 2005. *Groundwater Hydrology*. Third Edition, John Wiley & Sons.
- Vijay, K. and Remadevi, H., 2006. Kriging of Groundwater Levels (a case study). *Journal of Spatial Hydrology*, 1:81-92.

An investigation on spatial and temporal variations of groundwater level in Kerman plain using suitable geostatistical method (During a 10-year period)

Mohamadi, S.^{1*}, Salajegheh, A.², Mahdavi, M.³ and Bagheri, R.⁴

1*- Corresponding Author, PhD Student in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email:mohamadisedigeh@yahoo.com

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Assistant Professor, Islamic Azad University, Baft Branch, Kerman, Iran.

Received: 23.01.2010

Accepted: 08.01.2011

Abstract

Due to the variation of ground water properties in temporal and spatial scale, these properties can not be assumed constant over time and space. This research was conducted to assess spatial and temporal variations of ground water table in Kerman plain during a 10-year period (1375-1385) by using the best geostatistical estimator. Firstly, available statistical resources related to the ground water table of this plain (including 67 wells) were collected. After controlling for quality, accuracy and normality of the data, different interpolation techniques were used including kriging (with and without logarithm), cokriging, inverse distance (with exponents of 1 to 5). The best technique was selected based upon MAE and MBE criteria and provided spatial zonation maps in the beginning and end of the period. Spatial zoning maps were prepared at the beginning and end of the study and ultimately, iso-falling map was provided in Arc GIS 9.1 package. Our findings showed that Gaussian variogram model was the best for spatial structure of these data and inverse distance method with exponents of 5 and 4 were the best interpolation methods in the beginning and end of the period, respectively. Zonation maps showed a falling trend of the ground water level in majority of the plain. Maximum falling data (32 meters), was recorded respectively for the northern outlet of the plain with an effective range of 17 and 62 pizometers and western outlet with an effective range of 8 pizometers. Also, the results showed an upward trend of water, as 7 meters, in effective range of some wells with 50 and 52 pizometers in Kerman city due to being located in sewage and waste water zone of the city.

Key words: spatial variation, ground water table, geostatistics, Kerman plain.