

گزارش فنی

مقدمه

آب زیرزمینی

در مناطق خشک و نیمه خشک جهان (مانند ایران) که میانگین بارندگی سالانه آن، کفایت نیاز آبی را نمی‌دهد، حفظ و مدیریت منابع آب زیرزمینی اهمیتی بسیار بالا داشته و آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی و زمانی سفره‌ها و هم‌چنین، ساختار ریاضی تغییرپذیری، بمنظور مدیریت بهینه، داده‌هایی مهم در اختیار مدیران مربوطه قرار می‌دهد. یکی از دانش‌هایی که تغییرات زمانی و مکانی به همراه شبیه‌سازی را مورد مطالعه قرار می‌دهد، زمین‌آمار می‌باشد. مطالعات متعددی تغییرپذیری مکانی نوسان‌های سطح آب زیرزمینی را نشان داده است که دلایل چنین ناهمگنی‌هایی را می‌توان در عامل‌های متعدد و در مقیاس‌های متفاوت جستجو کرد. به عنوان مثال در افزایش مقیاس؛ تغییرپذیری مکانی هدایت هیدرولیکی رسوبات بستر کانال [۳]، توالی ژئومورفولوژی رودخانه [۵]، منحنی جریان [۳] و گرا دیان سطح آب زیرزمینی [۸] را می‌توان نام برد. کلین و همکاران [۶] در یکی از دشت‌های شمالی چین، مدل بهینه در مورد آب زیرزمینی را نمایی اشاره کرده و مسافت همبستگی مکانی و نسبت همبستگی به ترتیب معادل $21/93$ کیلومتر و $0/25$ قید شده است. با توجه به اهمیت آب زیرزمینی، هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی و پارامترهای تغییرنماهای مربوطه در دشتهای گناباد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، شامل دشتهای چهارگانه‌ی گناباد (بجستان، گیسور، گناباد و عمرانی) با میانگین باران سالانه‌ی ۱۶۵ میلی متر بوده که در استان خراسان رضوی واقع شده است.

تغییرات زمانی و مکانی سطح سفره‌ی آب

زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار

محسن حسینعلی زاده^۱ و علی یعقوبی^۲

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۷ تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱۷

چکیده

آب زیرزمینی، در طی همه‌ی قرون، منبع آبی مهمی بوده است. با توجه به این مهم، ضرورت آگاهی از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی این متغیر در مناطق گوناگون دارای اهمیت است. یکی از علوم نوینی که ما را در رسیدن به این امر یاری می‌کند، دانش زمین‌آمار است. در این مطالعه، تعداد ۷۶ داده‌ی سطح آب زیرزمینی چهار فصل سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ دشت‌های چهارگانه‌ی گناباد و ۷۱ داده‌ی سطح آب زیرزمینی فصل‌های زمستان ۸۱ و ۸۵ تهیه و به بررسی آمار توصیفی، وجود روند و نیم‌تغییرنمای داده‌ها برای هر فصل به گونه‌ی جداگانه پرداخته و نقشه‌های تخمین نیز تهیه شد. نتایج نشان داد که نوسان‌های سطح آب زیرزمینی تمامی فصل‌ها دارای روند و ناهمسانگردی بوده‌اند. افزون بر این، فصل‌های بهار، تابستان و پاییز مدل نمایی (دامنه‌ی تاثیر اصلی و فرعی ۲۰ و ۱۵ کیلومتر) و فصل‌های زمستان ۸۱ و ۸۲ و ۸۵ مدل کروی (دامنه‌ی تاثیر اصلی ۲۳ و ۲۸ کیلومتر و فرعی ۱۵ کیلومتر) را به خود اختصاص داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشتهای چهارگانه‌ی گناباد، زمین‌آمار، ناهمسانگردی و نیم‌تغییرنما.

۱- نویسنده‌ی مسئول و دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه تهران

Alizadeh_m2001@yahoo.com

۲- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی سد و شبکه‌ی دانشگاه بیرجند

گردآوری و بررسی داده‌ها

پس از تهیه داده‌های موجود آب زیر زمینی، داده‌های سال آبی ۸۳-۸۲، به صورت ۴ فصل مجزا به همراه داده‌های فصل‌های زمستان ۸۱ و ۸۵ مورد بررسی قرار گرفتند.

بررسی داده‌ها در این پژوهش مراحل زیر را در بر می‌گیرد:

- پلات QQ نرمال

با استفاده از این نمودار، نرمال بودن داده‌ها بررسی می‌شود [۲]. چنانچه نرمال کردن داده‌ها به دلیل وجود داده‌های صفر امکان‌پذیر نباشد (فصل زمستان ۸۲)، به حذف داده‌های پرت پرداخته شده، آنگاه تبدیل لگاریتمی انجام شد تا توزیع نرمال شود [۱]. تشخیص داده‌های پرت به وسیله هیستوگرام و ابر تغییرنا و هم‌چنین، ویژگی‌های آماری نظیر چولگی و کشیدگی داده‌ها صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل روند^۱

روند یکی از مولفه‌های جهت دار موثر در تخمین بوده و وجود آن به علت یک عامل فیزیکی (بافت خاک، حوادث طبیعی و...) بوده و تغییرات آن به صورت یک تابع ریاضی قابل شبیه‌سازی است. دلیل عمده حذف روند، رسیدن به فرضیه ایستایی است که پس از حذف روند، تغییرات در دامنه‌ی کوتاه و تدریجی قابل شبیه‌سازی است [۷]. تشخیص روند با استفاده از برنامه‌ی جانبی زمین آمار^۲ و مرحله‌ی بررسی داده‌ها^۳ و حذف آن با استفاده از معجزه‌گر زمین آماری^۴ و مرحله‌ی حذف روند^۵ صورت گرفت.

آمار کلاسیک

در این پژوهش، برخی از ویژگی‌های آماری به تفکیک بررسی شد.

تجزیه و تحلیل زمین آماری

تجزیه و تحلیل زمین آماری ۵ مرحله به شرح زیر را در بر می‌گیرد:

- 1 - Trend Analysis
- 2 - Geostatistical Analyst Extension
- 3 - Data Explore
- 4 - Geostatistical Wizard
- 5 - Detrending

الف: انتخاب روش زمین‌آماری: در این پژوهش، از بین روش‌های کریجینگ (ساده^۶، معمولی^۷، جهانی^۸، شاخص^۹، احتمالاتی^{۱۰} و عطف^{۱۱}) به انتخاب روش کریجینگ جهانی (به علت وجود روند و پایه‌ی قوی‌تر نسبت به کریجینگ معمولی) پرداخته شد [۷]. نوع تبدیل بمنظور نرمال کردن و درجه‌ی روند در این مرحله در نظر گرفته شد.

ب: حذف روند: در تجزیه و تحلیل زمین‌آماری، ابتدا روند از داده‌ها، حذف شده و پس از پیش‌بینی دوباره، اضافه می‌شود [۷]. در این پژوهش، حذف روند برای تمامی فصل‌ها صورت گرفت. ج: شبیه‌سازی نیم‌تغییرنا^{۱۲}: برازش مدل‌های گوناگون نیم‌تغییرنا، با در نظر گرفتن روند، ناهمسانگردی و پارامترهای مدل نیم‌تغییرنا (اثر قطعه‌ای^{۱۳}، دامنه‌ی تاثیر^{۱۴} و سقف^{۱۵})، تعداد و طول گام‌های گوناگون با توجه به شاخص‌های ارزیابی مدل انجام شد.

د: همسایگی جستجو: به دلیل وجود ناهمسانگردی در تمامی فصل‌ها، بیضوی جستجو، مورد استفاده قرار گرفت.

ه: ارزیابی مقاطع^{۱۶}: با توجه به شاخص‌های ارزیابی مدل (میانگین خطای پیش‌بینی، میانگین جذر خطای پیش‌بینی و...) به انتخاب بهترین مدل نیم‌تغییرنا پرداخته شد.

و: نقشه‌های کریجینگ و خطای استاندارد پیش‌بینی: پس از پایان مراحل بالا، نقشه‌های کریجینگ جهانی، خطای استاندارد پیش‌بینی و حدود اطمینان پیش‌بینی برای هر فصل، به گونه‌ی جداگانه تهیه شد.

تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی

پس از تهیه نقشه‌های کریجینگ فصل‌های گوناگون به بررسی تفاوت زمانی آن‌ها پرداخته شد.

- 6 - Simple
- 7 - Ordinary
- 8 - Universal
- 9 - Indicator
- 10 - Probability
- 11 - Disjunctive
- 12 - Variography
- 13 - Nugget Effect
- 14 - Range
- 15 - Sill
- 16 - Cross Validation

نمود قطعی

نیم‌تغییرنمای سطحی، دارای ناهمسانگردی شمال‌غربی - جنوب شرقی و دارای شدت‌های ناهمسانگردی متفاوت بوده است (شکل ۲). شدت ناهمسانگردی با توجه به طول منحنی جستجو و جدول (۲) در مورد زمستان (۸۱، ۸۲ و ۸۵) نسبت به سایر فصل‌ها بیش‌تر است.

یکی از مزایای روش‌های زمین‌آماري پیش‌بینی، در نظر گرفتن عدم قطعیت در پیش‌بینی است. بنابراین، اگر بخواهیم در مکان‌هایی که هیچ داده‌ای نداریم، به پیش‌بینی بپردازیم، باید به دلیل نا آگاهی، نمود قطعیت را در پژوهش لحاظ کرد [۴] که در این‌جا نیز برای تمامی فصل‌ها لحاظ گردید.

نتایج

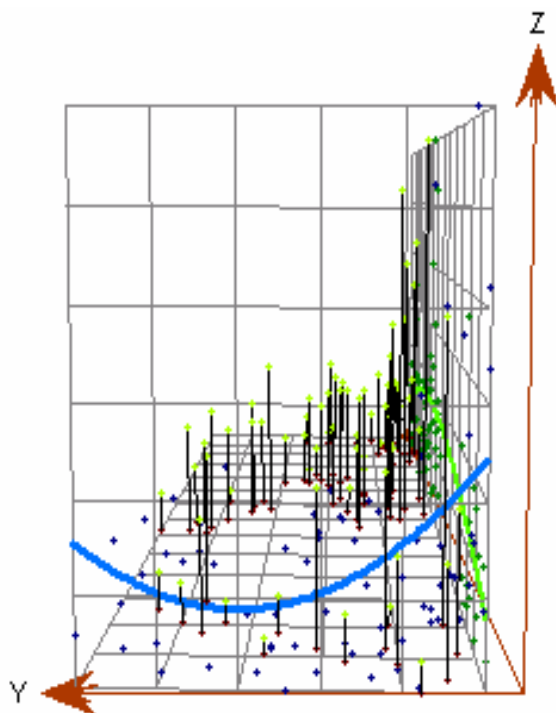
بررسی داده‌ها

آمار کلاسیک

برخی از ویژگی‌های آماری سطح آب زیرزمینی (پیش و پس از نرمال کردن) در جدول (۱) آورده شده است.

روند

برای تمامی ۶ فصل روندی در جهت شمالی - جنوبی وجود دارد (شکل ۱).



شکل ۱- شبیه‌سازی روند (زمستان ۸۱)

تجزیه و تحلیل زمین‌آماري

با توجه به وجود روند، از مدل نیم‌تغییرنمای جهانی (پیش‌بینی)، با در نظر گرفتن نوع تبدیل و درجه‌ی روند، از بین مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و حلقوی با توجه به ناهمسانگردی و پارامترهای ارزیابی مدل برای هر فصل به‌گونه‌ی جداگانه، بهترین مدل نیم‌تغییرنما با پارامترهای بهینه‌ی آن معلوم شد (جدول ۲، شکل ۲).

جدول ۱ - آمار توصیفی آب زیرزمینی پیش و پس از نرمال کردن

فصل	ویژگی	کمینه	پیشینه	میانگین	انحراف معیار	تعداد	چولگی	کنیدگی
بهار		۵	۱۵۹	۴۳/۱۱	۳۰/۱	۷۶	۱/۵۷	۵/۸۶
بهار*		۱/۶	۵/۰۶	۳/۵۳	۰/۷۱	۷۶	-۰/۳۰	۲/۹۴
تابستان		۵	۱۵۹	۴۳/۱۹	۳۰/۱۱	۷۶	۱/۵۷	۵/۸۴
تابستان*		۱/۶	۵/۰۶	۳/۵۳	۰/۷۱	۷۶	-۰/۳۰	۲/۹۴
پاییز		۵	۱۵۹	۴۳/۲۵	۳۰/۱۱	۷۶	۱/۵۷	۵/۸۳
پاییز*		۱/۶	۵/۰۶	۳/۵۳	۰/۷۱	۷۶	-۰/۳۰	۲/۹۶
زمستان ۸۲		۰	۱۵۹	۴۲/۴۰	۳۰/۸۱	۷۶	۱/۴۸	۵/۵۹
زمستان ۸۲*		۱/۶	۵/۰۶	۳/۵۴	۰/۷	۷۴	-۰/۳۰	۲/۹۴
زمستان ۸۱		۵/۳	۱۵۹	۴۲/۱	۲۹/۹	۷۱	۱/۶۹	۶/۴۴
زمستان ۸۱*		۱/۶	۵/۰۷	۳/۵۱	۰/۷	۷۱	-۰/۳	۲/۹۰
زمستان ۸۵		۵/۷	۱۵۹/۷	۴۳/۱	۲۹/۸	۷۱	۱/۶۶	۶/۴۰
زمستان ۸۵*		۱/۷۴	۵/۰۷	۳/۵	۰/۷	۷۱	-۰/۳	۲/۹۰

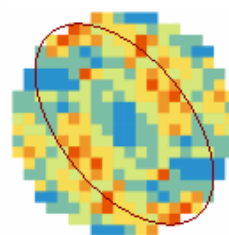
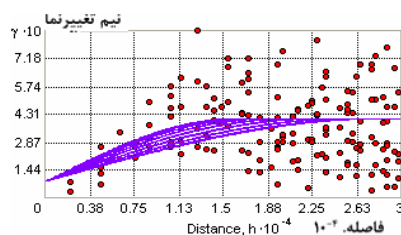
* - پس از نرمال کردن

جدول ۲- پارامترهای مدل‌های بهینه، به تفکیک چهار فصل سال

پارامترهای ارزیابی مدل			جهت ناهمسانگردی ^۱	اثر قطعه ای	سیل جزئی ^۲	نیم‌میانگردی ناهمسانگردی	شعاع (m)		مدل	فصل	پارامتر
R-M-S***	M-S**	M*					اصلی ^۱	فرعی ^۲			
۲۱/۷۲	-۰/۱۲	-۰/۱۲	شمال غربی - جنوب شرقی	۰	۰/۴۲	۱/۳	۱۵۶۳۷	۲۰۷۳۲	نمایی	بهار	زمستان
۲۱/۸۸	-۰/۱۲	۰/۰۰		۰	۰/۴۲	۱/۳	۱۵۲۸۰	۲۰۳۷۳	نمایی	تابستان	
۲۲/۴۰	-۰/۱۱	۰/۰۵		۰	۰/۴۲	۱/۳	۱۵۴۵۹	۲۰۶۳۴	نمایی	پاییز	
۲۱/۸۷	-۰/۱۶	-۰/۵۰		۰/۰۳	۰/۴۰	۱/۵	۱۵۵۴۴	۲۳۱۹۳	کروی	۸۲	
۲۴/۶	-۱/۹۹	-۰/۴۴		۰/۰۸	۰/۳۴	۱/۸	۱۵۵۴۳	۲۸۴۲۶	کروی	۸۱	
۲۹/۳	-۰/۴۱	-۰/۰۹		۰/۰۸	۰/۳۲	۱/۸	۱۵۸۴۴	۲۸۵۵۰	کروی	۸۵	

*: میانگین خطای پیش‌بینی ** میانگین استاندارد شده‌ی خطای پیش‌بینی *** ریشه‌ی دوم میانگین خطای پیش‌بینی

۱- Major Range -۲ Minor Range -۳ Partial Sill = Sill - Nugget -۴ Anisotropy



شکل ۲- مدل نیم‌تغییرنمای سطحی و ناهمسانگردی (راست) و نیم‌تغییرنما (چپ) (زمستان ۱۳۸۵)

مدل کروی را به خود اختصاص داده است. مدل نمایی دارای دامنه‌ی تاثیر نامعلوم است و از جمله علت‌های پیدایش این حالت، می‌توان به وجود روندی یا بزرگی دامنه‌ی تاثیر نسبت به ابعاد محدوده‌ی زیر پوشش نمونه‌برداری اشاره نمود [۲]. شعاع اصلی و فرعی در مدل نمایی (بهار، تابستان و پاییز) به ترتیب حدود ۲۰ و ۱۵ کیلومتر بوده و این نمایشگر نبود تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی در این فصل‌ها می‌باشد. نتایج در این بخش با کلین و همکاران [۶] که مدل نمایی را در مورد سطح آب زیرزمینی، مدلی بهینه با مسافت همبستگی مکانی معادل ۲۱/۹۳ کیلومتر در نظر گرفته اند، شباهت دارد.

در حالی‌که در زمستان (۸۲) شعاع اصلی به ۲۳ کیلومتر و زمستان (۸۱ و ۸۵) به ۲۸ کیلومتر افزایش یافته که نشان‌دهنده‌ی تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی با فصل‌های دیگر بوده و تغییرات مکانی کم‌تر یا همبستگی مکانی قوی‌تری را نسبت به آن‌ها دارا می‌باشد که این نتیجه حاکی از این است که برای تخمین

تهیه‌ی نقشه‌های مکانی و زمانی

نقشه‌های کریجینگ جهانی تمامی فصل‌ها به همراه نقشه‌های تفاوت زمانی فصل‌های گوناگون نیز تهیه شد. با توجه به نقشه‌ی تغییرات زمانی بین بهار تا زمستان، بیش‌ترین تغییرات زمانی بهار- زمستان بین دشت‌های گناباد و بجستان رخ داده است.

نبود قطعیت

در مورد بهار و زمستان به ترتیب بیش‌ترین نبود قطعیت به چاه‌های شماره‌ی ۱۷ و ۱۸ اختصاص داشته و میانگین خطای تخمین در هر دو فصل به ترتیب برابر ۴۹ و ۴۰ می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

وجود روند با تابع درجه‌ی دوم در تمامی فصل‌ها حاکی از وجود یک عامل ثابت موثر با تغییرات بلنددامنه در تغییرات سطح سفره، در راستای شمالی- جنوبی می‌باشد. از لحاظ مدل‌های نیم‌تغییرنما، بهار، تابستان و پاییز مدل نمایی و زمستان (۸۱، ۸۲ و ۸۵)

منابع

- ۱- ایوبی، ش.ا. و حسینعلی زاده، م. ۱۳۸۶. تغییرپذیری مکانی فرسایش پذیری خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار و GIS. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۶۰، شماره ۲، ص ۳۶۹-۳۸۱.
- ۲- حسنی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران.
- 3- Cardenas, M.B. and Zlotkik, V.A. 2003. Three-dimensional model of modern channel bend deposits. *Water Resources Research* 39 (6).
- 4- Christopher, D., Lloyd. 2007. *Local Models for Spatial Analysis*. Queen's University Belfast. CRC Press. Taylor and Francis Group
- 5- Gooseff, M.N., Anderson, J.K., Wondzell, S.M., LaNier, J. and Haggerty, R. 2005. A modelling study of hyporheic exchange pattern and the sequence, size, and spacing of stream bedforms in mountain stream networks, Oregon, USA. *Hydrological Processes*. 19 (15), 2915–2929.
- 6- Kelin, H., Yuangfang, H., Hong, L., Baoguo, L., Deli, C. 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, 896 – 903.
- 7- Kevin, J. and Konstantin, K. 2001. Using GIS by ESRI (Using ARC GIS, Geostatistical Analyst) 1-306.
- 8- Storey, R.G., Howard, K.W.F. and Williams, D.D. 2003. Factors controlling riffle-scale hyporheic exchange flows and their seasonal changes in a gaining stream: a three-dimensional groundwater flow model. *Water Resources Research* 39 (2), 1034.

سطح آب زیرزمینی در زمستان نسبت به فصل های دیگر به تعداد چاه کمتری نیاز است.

با توجه به ضریب ناهمسانگردی، سیل جزئی و اثر قطعه‌ای، فصل زمستان از سایر فصول متمایز می‌باشد. تمامی فصل‌ها نیز در جهت شمال غربی - جنوب شرقی دارای ناهمسانگردی می‌باشند. با توجه به نیم تغییرنماهای تجربی و سطحی موجود، مقدار ناهمسانگردی در مورد زمستان (۸۱، ۸۲ و ۸۵) نسبت به فصل های دیگر بیش تر بوده است که هر دو نوع ناهمسانگردی، اعم از هندسی و ناحیه‌ای را نیز به خود اختصاص داده‌است. با توجه به نقشه‌ی تغییرات زمانی بهار و زمستان، بیش‌ترین سطح منطقه دامنه‌ی تغییرپذیری (۱۷- تا ۱۳ متر) را به خود اختصاص داده است.

با توجه به مطالب بالا، اگر خواسته باشیم شبکه‌ی نمونه‌برداری سطح آب زیرزمینی را در نظر بگیریم، با رعایت دو سوم شعاع، می‌توان شبکه‌ای به ابعاد ۱۰ در ۱۵ کیلومتر را در نظر گرفت که در بخش گسترده‌ای از غرب محدوده‌ی مورد مطالعه با فاصله‌های بیش از مقدار ذکر شده مواجه هستیم که نبود قطعیت بالایی را به همراه نبود همبستگی مکانی مناسب داراست. از نظر نبود قطعیت در مورد بهار، چاه شماره‌ی ۱۷ (شمال غرب محدوده) و زمستان چاه شماره‌ی ۱۸ (جنوب شرق محدوده) بیش‌ترین نبود قطعیت را به خود اختصاص داده که این ناشی از اریب بودن تخمین در حواشی محدوده‌ی مورد مطالعه است.

*Abstract (Technical Note)***Spatiotemporal Variability of Ground Water Using Geostatistic**M. Hosseinalizadeh¹ and A. Yaghubi²

Over centuries, ground water has been an important source of water. So, awareness about its temporal and spatial variability, in different zones, is necessary, and Geostatistics is a vital technique for this purpose. In this study, 76 wells (water year of 1382-1383) and 71 wells related to Gonabad plains were prepared and their descriptive statistic, trend and semivariogram were separately evaluated for each season. Then, prediction maps were organized. Temporal variability of water table for each season and its spatial variability for different places were calculated. South-north trend and southeast-northwest anisotropy were observed for all seasons. Every season except winter had exponential model with major and minor range of 20 and 15 km, respectively. Winter in different years had spherical model with major (23 to 28 Km) and minor (15 km) range too. The highest uncertainty belonged to some places that have the greatest distance from each other.

Keywords: *Ground Water, Gonabad Plains, Semivariogram, Geostatistics and Semivariogram.*

¹ - Ph.D. Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, Alizadeh_m2001@yahoo.com.

² - Graduate Student of Civil, University of Birjand, Iran.