تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال یازدهم، شماره ۳،زمستان ۱۳۹٤
Volume 11, No. 3, Winter 2016 (IR-WRR)
۱۸۲-۱۸۶

یادداشت فنی

ارزیابی عملکرد مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی جهت تخمین غلظت نیترات در آبخوان کرج

الهه پورفرح آبادی[۱*] و مجید خلقی[۲]

چکیده

امروزه تکنیک‌های مدرن بر اساس مدل‌های زمین‌آمار برای به دست آوردن غلظت نیترات آب زیرزمینی در نقاط نامعلوم و تعیین نقاط جدید نمونه‌برداری به کار گرفته شده است. در این تحقیق، از مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی، جهت ارزیابی تغییرات مکانی غلظت نیترات در آبخوان کرج استفاده گردیده است. تخمین غلظت نیترات با استفاده از مدل‌های مذکور بر اساس نمونه‌های حاصل از ۱۷۹ حلقه چاه آب شرب در آبخوان کرج انجام پذیرفته است. بدین منظور، مقادیر غلظت نیترات در سال ۱۳۸۴ به عنوان متغیر اولیه و مقادیر غلظت نیترات در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ به عنوان متغیرهای کمکی مدل کوکریجینگ و متغیرهای ورودی به مدل نروفازی در نظر گرفته شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، پنج مدل نروفازی تهیه شده جهت پیش‌بینی غلظت نیترات سال ۱۳۸۴، در مقایسه با مدل‌های کوکریجینگ از کارایی و دقت بیشتری برخوردار است. همچنین از بین مدل‌های نروفازی بررسی شده، مدلی که غلظت نیترات سال ۱۳۸۳ را به عنوان متغیر ورودی در نظر گرفته است از شاخص‌های ارزیابی بالاتری نسبت به دیگر مدل‌های نروفازی برخوردار بوده است.

کلمات کلیدی: غلظت نیترات، کوکریجینگ، نروفازی، آبخوان کرج

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۳/۳

۱- کارشناس‌ارشد منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
*- نویسنده مسئول

Technical Note

Evaluation of Cokriging and Neurofuzzy Model Performance in Estimating the Nitrate Concentration in Karaj Aquifer

E. Poorfarahabadi [1] and M. Kholghi [2]*

Abstract

Recently, new techniques based on geostatistical methods have been used to estimate groundwater nitrate concentrations in unmeasured areas as well as to determine new sampling locations. In this study the Cokriging and Anfis models have been developed in interpolation step for nitrate parameter spatiovariation in Karaj aquifer. Nitrate concentrations have been estimated annually using samples derived from 179 drinking water wells. For this purpose, values of nitrate concentration in 1384 (2005) have been considered as the initial values. Nitrate concentration in 1379 to 1383 (200-2004) have been applied as the covariate for cokriging model and as the input parameters for neuro fuzzy model. The comparison between cokriging and Anfis results showed that in five neuro fuzzy models, the error function are less than the cokrihging model, especially for the data of 2004.

Keywords: Nitrate concentration, Cokriging, Neurofuzzy, Karaj aquifer

Received: January 12, 2015
Accepted: May 24, 2015

1- MSC graduate in Water Resources Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: e.poorfarahabadi@yahoo.com
2 Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Karaj.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

از جمله تحقیقات انجام گرفته در کاربرد مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی در زمینه کیفیت آب زیرزمینی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. Marsily and Ahmed (1987) روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ جهانی با تلفیق مدل رگرسیون خطی برای تخمین ضریب قابلیت انتقال و ظرفیت ویژه مقایسه نمودند و نشان دادند که روش کوکریجینگ با مینیمم انحراف معیار خطا روش مناسب‌تری نسبت به دیگر مدل‌های زمین آمار می‌باشد. Mertens and Huwe (2002) از روش فازی برای محاسبه نیترات در حوضه‌های کشاورزی استفاده کردند.

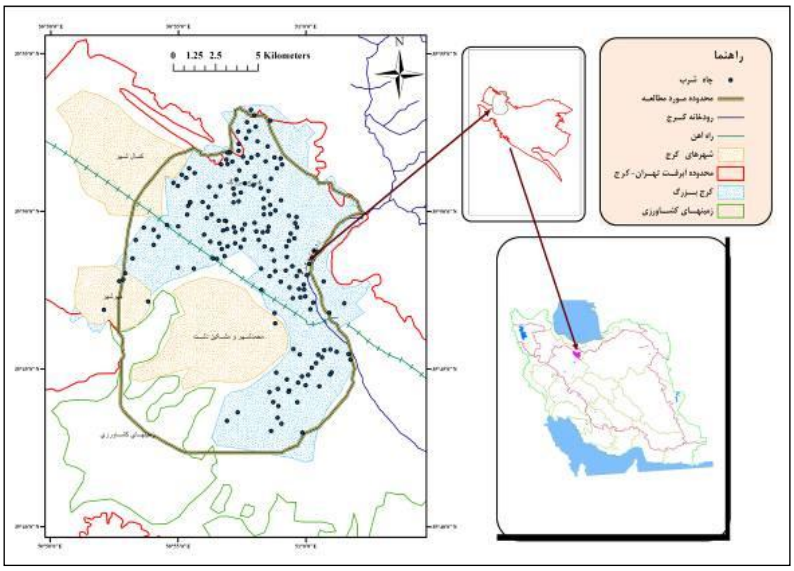
Amini et al. (2005) از ترکیب خوشه‌بندی فازی با درونیابی مکانی برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک در منطقه اصفهان استفاده کردند. آنها پس از خوشه‌بندی عناصر سنگین مقادیر تابع عضویت را به وسیله کریجینگ درونیابی کردند. Afrous et al. (2007) مدل‌های کریجینگ معمولی و نروفازی را برای تخمین سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل نروفازی دقت بیشتری نسبت به مدل کریجینگ برای تخمین سطح آب زیرزمینی داشته است. Shrestha et al. (2007) از یک مدل ترکیبی قطعی- فازی برای شبیه‌سازی انتقال نیترات در مقیاس حوضه آبریز بهره گرفتند. ایزدی و همکاران (۱۳۸۹) برای برآورد پارامترهای میزان نسبت جذب سدیم و کلر آب زیرزمینی از روش‌های آماری کریجینگ و کوکریجینگ بهره گرفتند. نتایج تحقیق آنها نشان داده است که مدل کوکریجینگ با در نظر گرفتن شوری آب به عنوان متغیر کمکی دقت بیشتری نسبت به روش کریجینگ در برآورد پارامترهای نسبت جذب سدیم و کلر داشته است. هاشمی و همکاران (۱۳۸۹) کیفیت آب زیرزمینی ۹ شهر استان اصفهان را با هدف شرب با استفاده از مدل سیستم استنتاج فازی ارزیابی نمودند. نتایج آنالیز آنها نشان داد که ۱۰ نمونه از آب‌های مورد مطالعه با سطح اطمینانی بین ۸۴ تا ۹۷ درصد در گروه مطلوب، ۹ نمونه با سطح اطمینان ۵۰ تا ۱۰۰ درصد در گروه قابل قبول و ۱۰ نمونه با سطح اطمینان ۵۰ تا ۹۵ درصد در گروه نامطلوب برای آشامیدن قرار گرفتند. Mousavi and Amiri (2012) از مدل نروفازی جهت تخمین غلظت نیترات در آب زیرزمینی محدوده‌ای از استان اصفهان استفاده کردند. در این تحقیق، با توجه به اهمیت غلظت نیترات در آب زیرزمینی جهت مصارف شرب، غلظت نیترات با استفاده از روش کوکریجینگ و روش سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه تطبیقی که یکی از کاربردی‌ترین روش‌های نروفازی است، تخمین زده شده است. همچنین با توجه به اینکه تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی محدود به کمیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد و از طرفی در زمینه کیفی به خصوص غلظت نیترات و مقایسه عملکرد مدل‌های مذکور تحقیقاتی انجام نشده است، ضرورت انجام این تحقیق صورت گرفته است. نتایج حاصل از مدل‌های توسعه داده شده با توجه به معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمال و میانگین خطای مطلق مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و مدل برتر انتخاب گردیده است.

محدوده مورد مطالعه در این مقاله بخشی از آبرفت تهران-کرج می‌باشد که مساحتی بالغ بر ۲۱۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. شکل ۱ موقعیت آبخوان مورد مطالعه را در آبرفت تهران- کرج و کشور نمایش می‌دهد. همچنین در این شکل پراکندگی چاه‌های شرب متعلق به شرکت آب و فاضلاب غرب استان تهران که آمار غلظت نیترات در مقیاس سالانه از آنها در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴ در دسترس می‌باشد، نمایش داده شده است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق، غلظت نیترات با استفاده از روش کوکریجینگ و روش سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه تطبیقی که یکی از کاربردی‌ترین روش‌های نروفازی است، تخمین زده شده است. جهت کاربرد مدل کوکریجینگ در این تحقیق از نرم‌افزار+GS[1] نسخه ۱-۱-۵ که یکی از نرم‌افزارهای موجود در زمینه علم زمین آمار است، استفاده گردیده است. همچنین از نرم‌افزار Matlab جهت محاسبه مدل نروفازی استفاده شده است.

از آنجا که اولین شرط جهت انجام مدل‌های درون‌یابی نرمال بودن توزیع داده‌های ورودی به مدل می‌باشد بنابراین با استفاده از آزمون ناپارامتری Kolmogrov-Smirnov نرمال بودن توزیع مقادیر نیترات بررسی گردید. بررسی آزمون نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها نرمال نمی‌باشد. بنابراین چندین تابع نرمال‌سازی مورد آزمون قرار گرفت و در نهایت لگاریتم داده‌های نیترات برای مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. شکل ۲ هیستوگرام فراوانی داده‌های غلظت نیترات (سال ۱۳۸۴) را قبل و بعد از نرمال‌سازی نمایش می‌دهد. همچنین نتایج آزمون ناپارامتری K-S نیز در این شکل نمایش داده شده است. مقادیر غلظت نیترات در سال ۱۳۸۴ به‌عنوان متغیر اولیه و مقادیر غلظت نیترات در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ به‌عنوان متغیرهای کمکی برای مدل کوکریجینگ و متغیرهای ورودی برای مدل نروفازی در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در آبرفت تهران-کرج و کشور

جدول ۱- مشخصات برترین مدل واریوگرام متقاطع برای داده‌های تبدیل شده غلظت نیترات

Cross-variogram		مدل	*Nugget C0*	*Sill C0+C*	*Effective Range*	R^2	*RSS*
غلظت نیترات سال	همسانگرد	Spherical	۰/۰۰۰۱	۰/۰۷۴۹	۱۰۰۲۰	۰/۸۳۲	۰/۰۰۱۰۸۶
۱۳۸۳	ناهمسانگرد	Exponential	۰/۰۱۳	۰/۱۲۹۸	۷۹۶۲۰-۴۰۹۲۰	۰/۳۳۳	۰/۰۲۳۹
غلظت نیترات سال	همسانگرد	Spherical	۰/۰۰۰۱	۰/۰۷۵۲	۱۲۶۷۰	۰/۸۹	۰/۰۰۰۶۶۳
۱۳۸۲	ناهمسانگرد	Exponential	۰/۰۰۱۳	۰/۰۹۴۸	۴۲۱۲۰-۲۰۲۸۰	۰/۵۳۴	۰/۰۱۵۰۹
غلظت نیترات سال	همسانگرد	Spherical	۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۴۳	۸۸۵۰	۰/۸۲۷	۰/۰۰۰۳۴۱۸
۱۳۸۱	ناهمسانگرد	Exponential	۰/۰۰۸۳	۰/۰۹۲	۶۱۰۵۰-۵۰۴۶۰	۰/۴۶۳	۰/۰۰۰۸۷۲۴
غلظت نیترات سال	همسانگرد	Spherical	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵۸۹	۹۹۴۰	۰/۸۱۹	۰/۰۰۰۷۵۰۱
۱۳۸۰	ناهمسانگرد	Exponential	۰/۰۰۰۵	۰/۰۸۷۴	۴۳۲۹۰-۲۳۹۷۰	۰/۴۴۵	۰/۰۱۷۴۹
غلظت نیترات سال	همسانگرد	Spherical	۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۴۴	۹۱۱۰	۰/۷۸۱	۰/۰۰۰۴۹۰۵
۱۳۷۹	ناهمسانگرد	Exponential	۰/۰۰۹۷	۰/۰۷۱۶	۷۹۸۰۰-۳۰۴۸۰	۰/۳۶۶	۰/۰۰۸۹۳۳

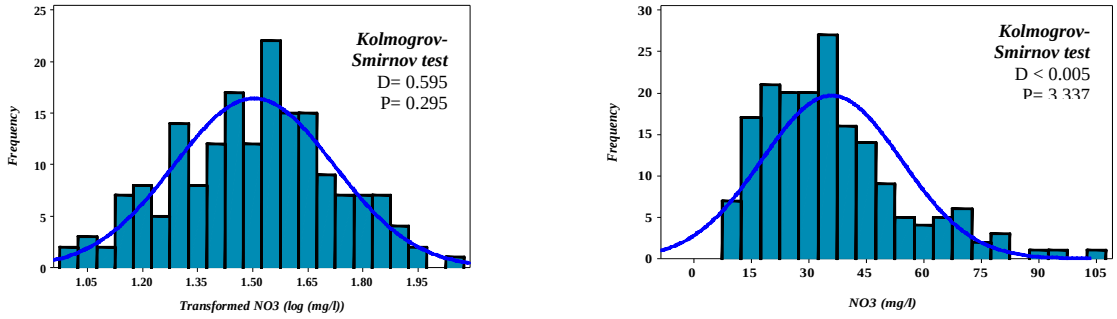
۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- نتایج مدل کوکریجینگ

همانطور که بیان گردید، مقادیر غلظت نیترات در سال ۱۳۸۴ به‌عنوان متغیر اولیه و مقادیر غلظت نیترات در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ به‌عنوان متغیرهای کمکی برای مدل کوکریجینگ در نظر گرفته شده‌اند و ۵ مدل کوکریجینگ حاصل بررسی شده است. واریوگرام هر مدل به تفکیک محاسبه شده است. همچنین نتایج مشخصات بهترین مدل‌های برازشی واریوگرام متقاطع در دو حـــالت همسانگرد[۲] و ناهمسانگرد[۳] بودن داده‌ها برای مدل‌هایی که به‌ترتیب سال‌های ۷۹ تا ۸۳ (NO_{3t-1}, NO_{3t-2}, NO_{3t-4} , NO_{3t-5}) NO_{3t-3}, به عنوان متغیر کمکی می‌باشند، در جدول ۱ گزارش شده است. همچنین جهت ارزیابی بهتر مدل کوکریجینگ از روش ارزیابی متقابل[۴] استفاده شده است. در این روش برای کلیه نقاط مشاهده‌ای در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف و با استفاده از بقیه‌ی نقاط مشاهده‌ای آن نقطه برآورد می‌گردد. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد، با توجه به معیارهای ارزیابی RSS و R^2 برترین مدل کوکریجینگ مدلی است که غلظت نیترات سال ۱۳۸۲ را به عنوان متغیر کمکی در نظر می‌گیرد.

۳-۲- نتایج مدل نروفازی[۵]

مدل نروفازی با شبکه بندی ورودی‌ها مدل دیگری است که در این تحقیق جهت تخمین غلظت نیترات سال ۱۳۸۴ به کار گرفته شده است. در این مدل از تعداد شبکه‌های مختلف برای متغیرهای ورودی نظیر (۴، ۳ و ۲) و همچنین توابع عضویت متفاوت شامل توابع مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسی استفاده شده است. متغیرهـــای ورودی شـامل متغیرهای ثابت موقعیت جغرافیایی x و y و غلظت نیتـــرات



(الف) (ب)

شکل ۲- هیستوگرام فراوانی مقادیر غلظت نیترات الف (قبل از نرمال سازی)، ب (بعد از نرمال‌سازی)

جدول ۲- مقایسه نتایج مدل‌های نروفازی برتر به تفکیک ورودی‌های مختلف

ورودی مدل	تابع عضویت	تفکیک شبکه	R^2		RMSE		MAE		NMSE	
			کالیبراسیون	صحت‌سنجی	کالیبراسیون	صحت‌سنجی	کالیبراسیون	صحت‌سنجی	کالیبراسیون	صحت‌سنجی
غلظت نیترات سال ۱۳۷۹	ذوزنقه	۲	۰/۷۲۷۸	۰/۶۸۳۰	۰/۱۲۴۹	۰/۱۲۸۹	۰/۰۹۵۱	۰/۰۹۲۸	۰/۲۷۰۰	۰/۳۱۳۵
غلظت نیترات سال ۱۳۸۰	زنگوله ای	۲	۰/۶۹۱۸	۰/۶۱۸۶	۰/۱۳۱۹	۰/۱۴۵۷	۰/۰۹۹۴	۰/۱۱۰۲	۰/۲۹۷۲	۰/۴۱۳۳
غلظت نیترات سال ۱۳۸۱	ذوزنقه	۲	۰/۷۳۵۳	۰/۷۱۷۹	۰/۱۱۷۴	۰/۱۳۵۸	۰/۰۸۹۵	۰/۱۰۵۱	۰/۲۶۲۵	۰/۲۸۱۲
غلظت نیترات سال۱۳۸۲	گوسی	۲	۰/۷۷۷۱	۰/۶۹۲۷	۰/۱۱۲۷	۰/۱۳۱۹	۰/۰۹۱۰	۰/۱۰۴۷	۰/۲۲۱۱	۰/۳۲۱۸
غلظت نیترات سال ۱۳۸۳	ذوزنقه	۲	۰/۸۰۵۵	۰/۷۴۰۱	۰/۱۰۸۵	۰/۱۱۳۸	۰/۰۸۲۶	۰/۰۸۳۷	۰/۱۹۲۹	۰/۲۸۳۴

سال‌های ۷۹ تا ۸۳ (NO_{3t-5}, NO_{3t-4}, NO_{3t-3}, NO_{3t-2} , NO_{3t-1}) می‌باشد. در جدول ۲ نتایج حاصل از برترین مدل‌های انتخاب شده به ازای ورودی‌های مختلف غلظت نیترات گزارش شده است. همانطور که در این جدول ملاحظه می‌گردد، از بین مدل‌های نروفازی توسعه داده شده، مدل با ورودی غلظت نیترات سال ۱۳۸۳ دارای معیارهای ارزیابی مناسب‌تری نسبت به مدل‌های دیگر بوده و به عنوان بهترین مدل نروفازی انتخاب می‌گردد.

۳-۳- مقایسه نتایج مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی

مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی توسعه داده شده به ترتیب برای داده‌های تبدیل‌شده و واقعی بر اساس معیارهای ارزیابی در مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی در جدول ۳ گزارش شده است. همانطور که در این جدول ملاحظه می‌گردد، مدل‌های نروفازی به ازای ورودی غلظت نیترات در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ از دقت مناسب‌تری نسبت به مدل‌های کوکریجینگ برخوردار می‌باشند. بـه طور کلی از بیـــن مدل‌های نروفازی، مدل با ورودی غلظت نیترات سال ۱۳۸۳ در مرحله کالیبراسیون و صحت‌سنجی دارای شاخص‌های ارزیابی مناسب‌تری نسبت به دیگر مدل‌های نروفازی می‌باشد.

٤- خلاصه و جمع‌بندی

در این تحقیق از روش‌های کوکریجینگ و نروفازی جهت تخمین غلظت نیترات سال ۱۳۸۴ در قسمتی از آبخوان کرج استفاده گردیده است. مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی به ازای غلظت نیترات در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ به عنوان متغیرکمکی در روش کوکریجینگ و ورودی به مدل نروفازی توسعه داده شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل‌های تدوین شده با استفاده از روش نروفازی برای تخمین غلظت نیترات در قسمتی از آبخوان کرج در مقایسه با مدل‌های بـه ست آمده از روش کوکریجینگ از دقت بالاتری برخوردار است. به طوری که بهترین مدل نروفازی در مرحله صحت‌سنجی برای داده‌های تبدیل شده دارای شاخص‌های ارزیابی NMSE, MAE, RMSE به ترتیب برابر ۰/۱۱۳۸، ۰/۰۸۳۷ و ۰/۲۸۳۴ می‌باشد. در حالی‌که بهترین مدل کوکریجینگ در مـــرحله

جدول ۳- مقایسه نتایج مدل‌های کوکریجینگ و نروفازی به تفکیک ورودی‌های مختلف

ورودی مدل	مدل	داده‌ها	داده‌های تبدیل شده			داده‌های واقعی		
			RMSE	MAE	NMSE	RMSE	MAE	NMSE
غلظت نیترات سال ۱۳۷۹	کوکریجینگ	کالیبراسیون	۰/۱۶۲۵	۰/۱۳۱۴	۰/۴۳۳۳	۱۶/۱۲۳۵	۱۳/۲۱۹۱	۰/۴۳۳۳
		صحت سنجی	۰/۱۴۰۰	۰/۱۱۳۲	۰/۴۲۸۹	۱۴/۰۸۷۰	۱۱/۳۸۶۳	۰/۴۲۸۹
	نروفازی	کالیبراسیون	۰/۱۲۴۹	۰/۰۹۵۱	۰/۲۷۰۰	۱۲/۵۶۱۶	۹/۵۶۸۵	۰/۲۷۰۰
		صحت سنجی	۰/۱۲۸۹	۰/۰۹۲۸	۰/۳۱۳۵	۱۲/۹۶۴۸	۹/۳۳۷۸	۰/۳۱۳۵
غلظت نیترات سال ۱۳۸۰	کوکریجینگ	کالیبراسیون	۰/۱۵۲۶	۰/۱۲۳۸	۰/۳۸۲۱	۱۵/۳۵۴۵	۱۲/۴۵۹۲	۰/۳۸۲۱
		صحت سنجی	۰/۱۳۸۲	۰/۱۱۰۴	۰/۴۱۷۸	۱۳/۹۰۳۸	۱۱/۱۱۰۸	۰/۴۱۷۸
	نروفازی	کالیبراسیون	۰/۱۳۱۹	۰/۰۹۹۴	۰/۲۹۷۲	۱۳/۲۶۸۶	۹/۹۹۸۶	۰/۲۹۷۲
		صحت سنجی	۰/۱۴۵۷	۰/۱۱۰۲	۰/۴۱۳۳	۱۴/۶۶۲۴	۱۱/۱۰۷۸	۰/۴۱۳۳
غلظت نیترات سال ۱۳۸۱	کوکریجینگ	کالیبراسیون	۰/۱۵۵۷	۰/۱۲۴۶	۰/۳۹۷۷	۱۵/۶۶۵۲	۱۲/۵۳۶۰	۰/۳۹۷۷
		صحت سنجی	۰/۱۴۰۲	۰/۱۱۲۴	۰/۴۳۰۱	۱۴/۱۰۷۷	۱۱/۳۰۳۲	۰/۴۳۰۱
	نروفازی	کالیبراسیون	۰/۱۱۷۴	۰/۰۸۹۵	۰/۲۶۲۵	۱۱/۸۰۷۰	۸/۹۹۹۲	۰/۲۶۲۵
		صحت سنجی	۰/۱۳۵۸	۰/۱۰۵۱	۰/۲۸۱۲	۱۳/۶۶۵۲	۱۰/۵۷۰۴	۰/۲۸۱۲
غلظت نیترات سال ۱۳۸۲	کوکریجینگ	کالیبراسیون	۰/۱۵۹۰	۰/۱۲۷۵	۰/۴۱۴۷	۱۵/۹۹۵۸	۱۲/۸۲۹۱	۰/۴۱۴۷
		صحت سنجی	۰/۱۳۵۸	۰/۱۰۶۹	۰/۴۰۳۳	۱۳/۶۵۹۶	۱۰/۷۵۷۱	۰/۴۰۳۳
	نروفازی	کالیبراسیون	۰/۱۱۲۷	۰/۰۹۱۰	۰/۲۲۱۱	۱۱/۳۳۳۸	۹/۱۵۳۱	۰/۲۲۱۱
		صحت سنجی	۰/۱۳۱۹	۰/۱۰۴۷	۰/۳۲۱۸	۱۳/۲۶۹۳	۱۰/۵۲۷۹	۰/۳۲۱۸
غلظت نیترات سال ۱۳۸۳	کوکریجینگ	کالیبراسیون	۰/۱۵۴۱	۰/۱۲۵۰	۰/۳۸۹۶	۱۵/۵۰۵۰	۱۲/۵۷۱۸	۰/۳۸۹۶
		صحت سنجی	۰/۱۳۱۰	۰/۰۹۸۰	۰/۳۷۵۶	۱۳/۱۸۲۵	۹/۸۵۴۸	۰/۳۷۵۶
	نروفازی	کالیبراسیون	۰/۱۰۸۵	۰/۰۸۲۶	۰/۱۹۲۹	۱۰/۹۱۰۶	۸/۳۱۳۹	۰/۱۹۲۹
		صحت سنجی	۰/۱۱۳۸	۰/۰۸۳۷	۰/۲۸۳۴	۱۱/۴۵۰۱	۸/۴۱۷۴	۰/۲۸۳۴

صحت‌سنجی دارای شاخص‌های ارزیابی NMSE, MAE, RMSE به ترتیب برابر ۰/۱۳۱، ۰/۰۹۸و ۰/۳۷۵۶ برای داده‌های تبدیل شده حاصل گردیده است.

پی نوشت‌ها

1- Geostastics for the Enviromental Sciences
2- Isotrope
3- Anisotrope
4- Cross validation
5- Neurofuzzy Model

۵- مراجع

ایزدی ع، دلقندی م، فراستی م (۱۳۸۹) کاربرد روشهای کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین مکانی پارامترهای کیفی آبهای زیرزمینی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، ایران، ۱-۲ اسفند.

هاشمی س ا، موسوی س ف، طاهری س م، قره‌چاهی ع (۱۳۸۹) ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی ۹ شهر استان اصفهان برای مصارف شرب با استفاده از سیستم استنتاج فازی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۶، شماره ۳.

Afrous A, Hosseini S.M, Goudarzi Sh (2007) Assesment of the Ordinary Kriging and Neuro-Fuzzy appraoches in interpolation of the groundwater level. Journal of Groundwater:978-984.

Amini M, Afyuni M, Fathianpour N, Khademi H, Fluhler H (2005) Continuous soil pollution mapping using fuzzy logic and spatial interpolation. Geoderma 124 (3–4):223–233.

Marsily G.D, Ahmed Sh (1987) Application of Kriging techniques in groundwater hydrology. Journal of the Geology Society of India 29(1):57-79.

Mertens M, Huwe B (2002) Fun-Balance: a fuzzy balance approach for the calculation of nitrate leaching with incorporation of data imprecision. Geoderma 109:269–287.

Mousavi S.F, Amiri M.J (2012) Modelling nitrate concentration of groundwater using adaptive neural-based fuzzy inference system. Journal of Soil and Water Res 7(2):73-83.

Shrestha R.R, Bardossy A, Rode M (2007) A hybrid deterministic–fuzzy rule based model for catchment scale nitrate dynamics. Journal of Hydrology 342:143– 156.