



Technical Note

Generating Artificial Water Quality Data for
No-Trend Parameters in Reservoirs
(Chahnimeh No.1 in Sistan)B. Pirzadeh^{1*}, M. Afsari², S.A. Hashemi Monfared¹
and A.A. Ghaderi¹

Abstract

Detection and monitoring water resources is one of the principal steps in quality management of water resources. This is more critical in Sistan and Baluchestan province located in a hot and dry area with large deficiency in exploitable water resources. The aim of this study was to predict no-trend quality parameters in Chahnimeh No.1 using neural network and comparing it with Markov chain method. In the present study some parameters such as DO, temperature, Phytoplankton, Zooplankton, Ammonia, and Phosphorus have been considered. The mean error percentages in neural network method for these parameters were 5.5, 7.7, 12.8, 5.6, 52.4, and 4.1, respectively. In comparison, the mean error percentages of Markov chain scheme were respectively 11.2, 8.9, 5.3, 12.9, 33.9, and 8.4. The results showed that neural network method provided better results compared to Markov chain method.

Keywords: Radial Basis Function Model, Markov Chain, Sistan's Chahnimes, Water quality parameters.

Received: July 16, 2016

Accepted: November 8, 2016

یادداشت فنی

ساخت آمار مصنوعی پارامترهای کیفی آب بدون روند در
مخازن (چاه نیمه شماره ۱ سیستان)بهاره پیرزاده^{۱*}، مسعود افسری^۲، سیدآرمان هاشمی منفرد^۳
و عباسعلی قادری^۴

چکیده

شناسایی و پایش کیفیت منابع آب به منظور شناخت از کیفیت آب متناسب با مصارف مختلف به عنوان یکی از گام‌های اصلی مدیریت کیفیت منابع آب از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. برای استان سیستان و بلوچستان با توجه به قرارگرفتن در منطقه گرم و خشک با کمبود منابع آبی قابل استفاده این اصل مهمتر نیز جلوه می‌کند. هدف از این پژوهش پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب بدون روند در چاه‌نیمه‌های سیستان به وسیله شبکه عصبی شعاعی پایه^۱ (RBF) و مقایسه آن با زنجیره مارکف است. برای این منظور از داده‌های برداشت‌شده اکسیژن محلول، دما، فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون، آمونیاک و فسفر استفاده شده و روندیابی این پارامترها به دو روش نامبرده انجام گرفته است. میزان خطای میانگین شبکه عصبی RBF برای پارامترهای مذکور به ترتیب حدود ۵/۵، ۷/۷، ۱۲/۸، ۵/۶، ۵۲/۴ و ۴/۱ درصد و میزان خطای زنجیره مارکف به ترتیب حدود ۱۱/۲، ۸/۹، ۵/۳، ۱۲/۹، ۳۳/۹ و ۸/۴ درصد به‌دست آمد. در مجموع برای پارامترهای کیفی بررسی شده در این پژوهش، شبکه عصبی RBF نتایج بهتری نسبت به زنجیره مارکف ارائه داده است.

کلمات کلیدی: شبکه عصبی شعاعی پایه، زنجیره مارکف، چاه‌نیمه سیستان، پارامترهای کیفی آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۴/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۸/۱۸

1- Assistant Professor, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Email: b_pirzadeh@eng.usb.ac.ir

2-MSc. Graduate, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

*- Corresponding Author

۱-۴ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پاییز ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

دیگر بود به طوری که مدل ترکیبی شبکه عصبی موجکی قادر بود میزان میانگین مربعات خطا^۴ را برای یون نیترات در مقایسه با مدل شبکه عصبی و رگرسیون خطی چند متغییره بهبود بخشد (Rajae et al., 2015).

اغلب تحقیقات انجام شده که برخی از آنها ذکر شد، مربوط به پارامترهای رونددار است. با توجه به اهمیت مخازن چاه نیمه در استان سیستان و بلوچستان و از آنجاکه پیش بینی دورنمایی از آینده تغییرات سیستم برای اعمال مدیریت بهینه را ارائه می دهد، هدف این پژوهش ساخت آمار پارامترهای بدون روند کیفی آب در چاه نیمه شماره ۱ به دو روش شبکه عصبی RBF و زنجیره مارکف در نظر گرفته شده است.

۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

چاله های طبیعی بزرگی در استان سیستان و بلوچستان در فاصله ۵۰ کیلومتری شهرستان زابل قرار دارد که آب مازاد رودخانه هیرمند توسط کانالی به آن ها هدایت می شود که در مواقع کم آبی، آب آشامیدنی تمام منطقه سیستان و شهر زاهدان و نیز قسمتی از آب کشاورزی سیستان از این دریاچه مصنوعی تأمین می شود (Afsari, 2015). موقعیت چاه نیمه شماره ۱ در شکل ۱ آمده است.

۳- مواد و روش ها

مطالعات کیفی مخزن سدها با کیفیت نامطلوب جریان ورودی، از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Tafarajnoruz et al., 2007). توجه به اینکه پارامترهای کیفی اکسیژن محلول، فسفر و آمونیاک جهت تصفیه آب شهری مورد استفاده قرار می گیرند، دما به عنوان عامل اصلی حلالیت اکسیژن در آب است و فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون به عنوان یکی از شاخص های سلامت آب در نظر گرفته می شوند؛ لذا در این پژوهش به بررسی پارامترهای مذکور پرداخته شده است. داده های مورد استفاده در این پژوهش دو دسته اند. دسته اول داده ها با مراجعه به اداره آب منطقه ای زابل و به منظور صحت سنجی شبکه عصبی RBF و زنجیره مارکف جمع آوری گردیده که شامل نمونه های برداشت شده pH و EC در دو سال ۱۳۷۸-۸۸ بود که ماهانه برداشت شده بودند. دسته دوم، برای پیش بینی و تطویل آمار استفاده شد که شامل برداشت های میدانی پارامترهای کیفی آب در مدت یک سال است که به صورت فصلی از سه نقطه مختلف در اعماق ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر در چاه نیمه شماره ۱ برداشت شده است (Hashemi monfared et al., 2014).

بروز بار آلاینده در منابع آب به هر یک از دو صورت تصادفی و انسان ساخت باعث ایجاد بحران می شود و شبیه سازی رفتار کیفی مخازن را می طلبد (Alihamzeh and Mohammad Rezapour, 2014)؛ شدت و ضعف این آلودگی ها بسته به نوع مدیریت آب و نوع بهره برداری از آن متغیر است. از طرفی، مدیریت تقاضا و تأمین آب با در نظر گرفتن محدودیت های کمی و کیفی، کنترل آلودگی های مصرف کنندگان آب در راستای ارتقاء شاخص های کیفی منابع آب و حفظ محیط زیست از رویکردهای مدیریت منابع آب کشور می باشد (Publication No.330, 2008). سیمای توپوگرافیک دشت سیستان، عدم وجود موانع قابل ملاحظه ارتفاعی، پوشش گیاهی ضعیف و شیب ملایم دشت از سویی و استقرار شرایط متنوع سینوپتیکی جوی در تمام سال از سویی دیگر، دشت سیستان را به یکی از کانون های بحرانی اقلیمی تبدیل نموده است (Khosravi, 2010). از آنجایی که چاه نیمه ها در دشت سیستان از جمله مهمترین منابع آبی استان و منبع تأمین آب شرب شهرهای زاهدان و زابل به شمار می روند، در این پژوهش به پیش بینی پارامترهای کیفی در این منابع آبی مهم پرداخته شده است. در راستای پیش بینی تاکنون روش های متنوعی ابداع شده که از آن جمله می توان به شبکه عصبی و زنجیره مارکف اشاره کرد.

شبکه های عصبی تابع شعاع مدار و پس انتشار جهت پیش بینی کمینه دمای کرج استفاده شد که حاکی از توانایی آنها در پیش بینی کمینه دما با استفاده از ورودی های مؤثر بود. شبکه پایه شعاع مدار نتایج مطلوب تری نسبت به شبکه های پس انتشار ارائه داد (Shakiba, 2010). پیش بینی پارامترهای کیفی رودخانه کر با شبکه عصبی مصنوعی برای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و نسبت جذب سدیمی، ضرایب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۷۱، ۰/۴۵ و ۰/۹۸۷ را نشان داد (Ansarifard and Boustani, 2013). نتایج ساخت آمار مصنوعی با داده های ماهانه و سالانه اقلیمی و هیدرولوژیکی ایستگاه شهرکرد طی یک دوره ۴۴ ساله با سه روش شبکه عصبی مصنوعی، زنجیره مارکف و هلت وینترز نشان داد که در شبکه های پس انتشار در صورتی که از داده های ماهانه استفاده شود، بهترین نتایج را خواهیم داشت (Rezaee Harooni, 2014). نتایج پیش بینی پارامترهای کیفی آب در رودخانه کرج با استفاده از مدل های رگرسیون خطی چند متغییره^۲ و شبکه عصبی مصنوعی^۳ و تلفیق شبکه عصبی موجکی بر پایه نویز دایی حاکی از دقت و توانایی بالای مدل هیبرید شبکه عصبی موجکی نسبت به دو مدل

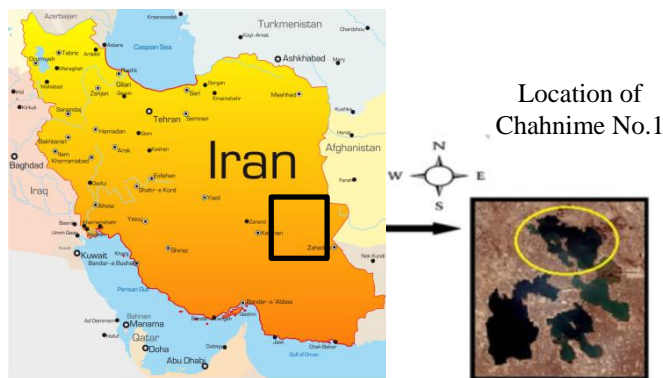


Fig.1 – Location of Chahnime Natural Reservoirs and Chahnime No.1

شکل ۱- موقعیت چاه‌نیمه‌ها و چاه‌نیمه شماره ۱

اندیس فصل (فصل، ماه، هفته، روز و ...)، r_j ضریب همبستگی داده‌های فصل j و $j+1$ و b_j ضریب رگرسیون بوده که از رابطه (۲) بدست می‌آید:

(۲)

$$b_j = r_j \left(\frac{S_{j+1}}{S_j} \right) \quad j = 1, 2, \dots, w \quad w = \text{تعداد فصلها}$$

در گام اول برای ساخت داده‌ها به روش مارکف، توزیع احتمال داده‌های مربوط به هر پارامتر در نرم‌افزار آماری (SPSS) تعیین شده که به عنوان مثال برای دما، این توزیع از نوع لاگ نرمال بدست آمد. در گام بعد اقدام به تولید اعداد تصادفی (متناسب با توزیع مربوط به داده‌های همان پارامتر) در نرم‌افزار متلب شد و اعداد تصادفی انتخاب شده، به عنوان احتمال وقوع در نظر گرفته شدند (Afsari, 2015).

۴- صحت‌سنجی و تحلیل نتایج

برای صحت‌سنجی از دو پارامتر اسیدیته (pH) و ضریب هدایت الکتریکی (EC) در مخزن چاه‌نیمه شماره ۱ استفاده و ۱۲ ماه از داده‌ها برای آموزش شبکه و ۱۰ ماه برای صحت‌سنجی استفاده شد. نتایج پارامتر pH درصد خطای نسبی برای مدل RBF و زنجیره مارکف را به ترتیب ۴/۹ و ۴/۸ درصد نشان داد (شکل ۲). این خطا برای پارامتر EC به ترتیب ۴۳/۴ و ۳۹/۷ درصد و ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۸ و ۰/۹ بدست آمد. درصد خطای مدل RBF می‌تواند بدلیل کم بودن تعداد داده‌های آموزش شبکه باشد. در مورد علت خطای روش مارکف نیز می‌توان به بی‌حافظه بودن این روش و استفاده از اعداد تصادفی اشاره کرد. این نتایج نشان می‌دهد که در مورد این دو پارامتر دو مدل توانایی ساخت آمار در گام‌های زمانی طولانی مدت را ندارند و برای ساخت آمار مفقود شده کوتاه‌مدت مناسب هستند.

در مجموع برای هر پارامتر ۸۴ داده در فصول و اعماق مختلف جمع‌آوری شده است.

۳-۱- ساخت آمار پارامترهای کیفی آب با استفاده از شبکه عصبی شعاعی پایه

در این پژوهش از شبکه عصبی RBF استفاده شده است. سه پارامتر مهم در عملکرد شبکه عبارتند از: max neuron, spread, goal که اگر مقدار بهینه برای این سه پارامتر بدست آید، شبکه قادر خواهد بود بهترین پیش‌بینی را انجام دهد. مقدار بهینه این سه پارامتر با سعی و خطا و با استفاده از نرم‌افزار متلب تعیین شده است. بطور مثال، مقدار goal و spread ثابت فرض شده و نتایج در حالتی که تعداد نرون‌ها ۳۵، ۴۰ و ۵۰، بررسی شده است. سپس با ثابت فرض نمودن تعداد نرون بهینه به دست آمده و spread، مقدار بهینه goal تعیین شده و روند تا یافتن مقادیر بهینه نهایی ادامه می‌یابد. مبنای انتخاب مقدار بهینه، میانگین مربعات خطای نسبی کمتر، بوده است (Afsari, 2015).

۳-۲- ساخت آمار با روش مارکف

برای تجزیه و تحلیل‌های آماری پیشامدهایی که مستقل نبوده و به پیشامدهای قبلی خود وابسته‌اند، از زنجیره مارکف استفاده می‌شود (Bakhtiari et al., 2014). مدل مارکف سالانه با توجه به زمان فصلی به صورت رابطه (۱) قابل بیان است (Afsari, 2015):

(۱)

$$x_{i,j+1} = \overline{x_{j+1}} + b_i \cdot (x_{i,j} - \overline{x_j}) + t_{i,j+1} \cdot S_{x_{j+1}} \cdot (1 - r_j^2)^{\frac{1}{2}}$$

\overline{x} میانگین مقادیر مشاهده شده، x مقادیر مشاهده شده، t فاکتور تناوب و s انحراف معیار مقادیر مشاهده‌ای است. i اندیس سال، j

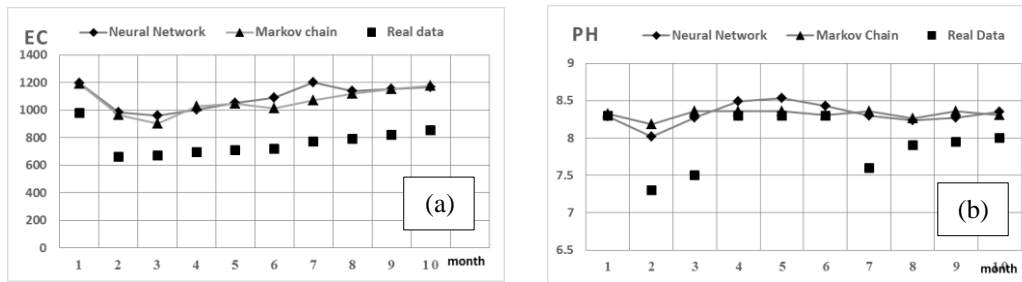


Fig.2 – Comparison of actual and predicted data for (a): EC and (b): pH within 10 months

شکل ۲- مقایسه آمار واقعی و ساخته شده برای پارامتر EC و pH در مدت ۱۰ ماه

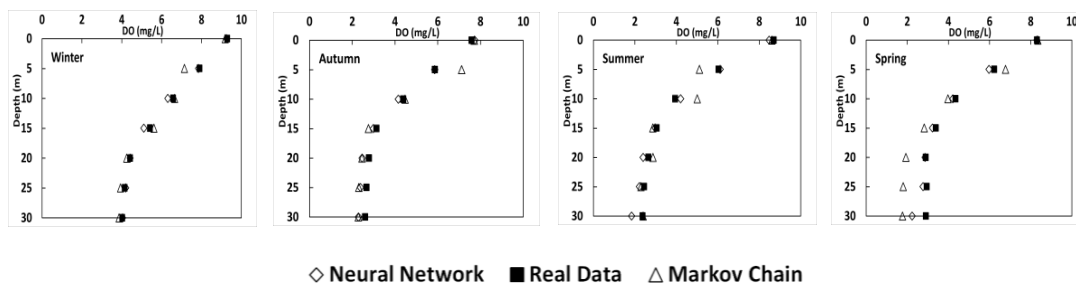


Fig.3 – Changes in DO in different depths and seasons (mg/L)
شکل ۳- تغییرات پارامتر اکسیژن محلول در اعماق و فصول مختلف (mg/L)

بهترین پیش‌بینی غلظت آمونیاک (شکل ۴) در عمق ۲۵ متر صورت گرفته و میانگین نسبی خطا برای شبکه عصبی RBF و زنجیره مارکف به ترتیب ۲۱/۲ و ۱۴/۵ درصد و ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹ و ۰/۸ به دست آمده است. آمونیاک بسیار ناپایدار است و با افزایش اکسیژن در محیط، به یون‌های نیتريت و نیترات تجزیه می‌شود به همین علت این دو مدل نتوانسته‌اند پیش‌بینی مطلوبی ارائه دهند.

تغییر غلظت فیتوپلانکتون از سطح آب تا عمق ۲۵ متر در شکل ۵ نشان می‌دهد که اگر چه اعداد پیش‌بینی شده به وسیله مدل RBF و زنجیره مارکف همپوشانی خوبی با داده‌های واقعی ندارند، ولی نحوه تغییرات را به خوبی شناسایی کرده است.

مقایسه مقادیر زئوپلانکتون در عمق‌های مختلف به دو روش شبکه عصبی RBF و زنجیره مارکف در جدول ۲ نشان می‌دهد که به طور کلی بهترین پیش‌بینی برای این پارامتر در عمق ۱۰ متر به وسیله مدل RBF و در عمق ۱۵ متر به وسیله زنجیره مارکف صورت گرفته است. با توجه به نتایج حاصله برای پارامتر زئوپلانکتون، بهترین

پس از صحت‌سنجی مدل، به پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب در عمق در سه موقعیت مختلف از مخزن چاه نیمه شماره ۱ پرداخته شده است. برای پارامتر اکسیژن محلول (شکل ۳) در عمق ۵ متر، ضریب همبستگی مدل RBF و زنجیره مارکف به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۴ و درصد نسبی خطا به ترتیب ۱/۶ و ۱۳/۷ می‌باشد. در عمق ۱۰ متر همبستگی زنجیره مارکف نسبت به عمق ۵ متر بیشتر و درصد خطای آن کمتر شده ولی با این وجود باز هم مدل RBF رفتار بهتری در ساخت آمار نشان داده است. در دیگر اعماق نیز این روند تکرار شده و مدل RBF جواب‌های نزدیک به واقع‌تری ارائه داده است. برای دما، هر دو روش شبکه عصبی RBF و تا حدودی زنجیره مارکف توانسته‌اند همپوشانی خوبی با داده‌های واقعی ایجاد کنند. طبق جدول ۱ برای دما فقط در فصل پاییز مدل RBF توانسته درصد خطای کمتری داشته باشد و در بقیه فصول زنجیره مارکف نتایج بهتری ارائه داده، اما در مجموع میانگین درصد خطای زنجیره مارکف بیشتر از شبکه عصبی RBF می‌باشد که نشان‌دهنده قدرت بالای مدل RBF در امر پیش‌بینی است.

وسیله شبکه عصبی RBF و زنجیره مارکف در مخزن شماره ۱ چاه نیمه سیستان پرداخته شده است. پارامترهای مورد مطالعه عبارت بودند از اکسیژن محلول، دما، فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون، آمونیاک و فسفر. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که مدل RBF و زنجیره مارکف برای پارامترهایی که مقدار و غلظت آنها وابسته به پارامترهای دیگر نیست (مثل دما و DO) پیش‌بینی خوبی ارائه می‌دهد؛ این در حالیست که برای پارامتری مثل آمونیاک که غلظت آن وابسته به اکسیژن محلول در آب است، این دو مدل نمی‌توانند همپوشانی خوبی با داده‌های واقعی ایجاد کنند و خطای مدل بالا خواهد رفت. همچنین، به دست آمدن مقادیر منفی در مدل مارکف برای پارامتر آمونیاک در فصل پاییز نشان‌دهنده یکی از ضعف‌های این مدل در داده‌سازی است.

پیش‌بینی در فصل تابستان صورت گرفته و در مجموع می‌توان گفت در مورد این پارامتر، شبکه عصبی RBF به مراتب بهتر از زنجیره مارکف عمل کرده است.

برای پارامتر فسفر در عمق ۵ متر مدل‌های شبکه عصبی RBF و زنجیره مارکف نتایج یکسانی ارائه کرده‌اند، ولی ضریب همبستگی بسیار کمی با داده‌های واقعی دارند. در عمق ۱۰ متر خطای هر دو مدل افزایش یافته و به طور کلی در اعماق ۱۵ و ۲۵ متر و در سطح آب شبکه عصبی RBF نتایج بهتری ارائه نموده و در عمق ۲۰ متر زنجیره مارکف درصد خطای نسبی کمتری دارد.

۵- خلاصه و جمع‌بندی

در این پژوهش به پیش‌بینی پارامترهای کیفی بدون روند آب به

Table 1- Comparison of the mean error and correlation coefficient for temperature in different seasons

Temperature	Markov Chain		RBF Neural Network	
	Mean error	Correlation coefficient	Mean error	Correlation coefficient
Spring	5.322	0.983	6.314	0.952
Summer	7.375	0.723	8.148	0.924
Autumn	13.355	0.56	6.475	0.947
Winter	9.741	0.905	9.919	0.767

جدول ۱- مقایسه میانگین خطا و ضریب همبستگی برای پارامتر دما در فصول مختلف

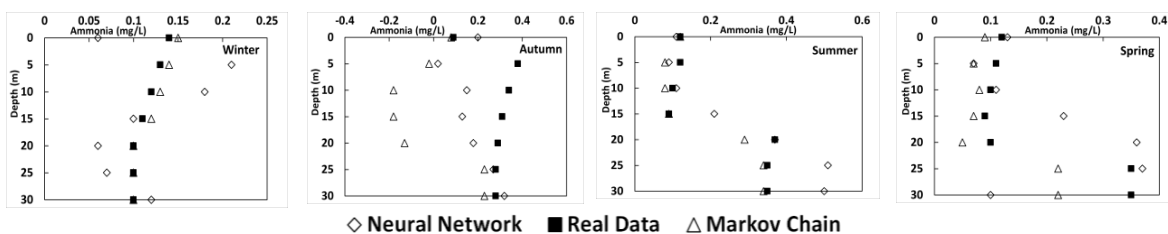


Fig. 4- Changes in Ammonia concentrations in different depths and seasons (mg/L)
شکل ۴- تغییرات پارامتر آمونیاک در اعماق و فصول مختلف (mg/L)

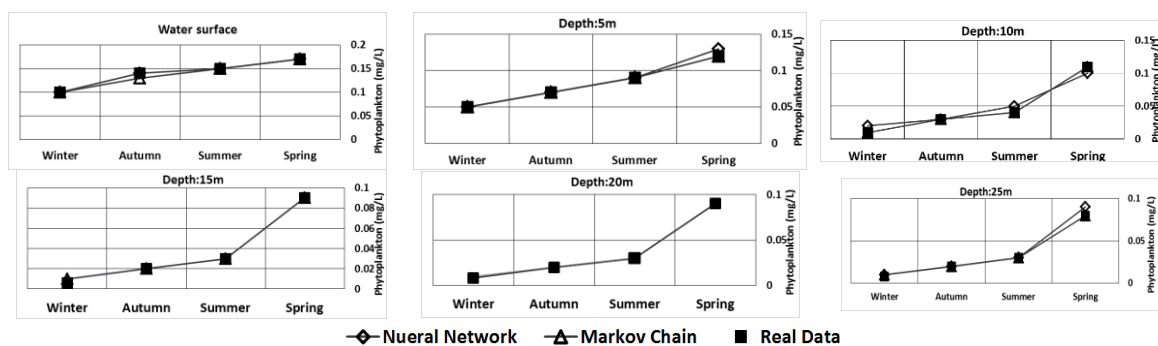


Fig. 5- Changes in phytoplankton concentrations in different depths (mg/L)
شکل ۵- تغییرات غلظت فیتوپلانکتون در اعماق مختلف (mg/L)

Table 2- Comparison of zooplankton and phosphorus in depth using neural network and Markov chain methods

جدول ۲- مقایسه مقادیر زئوپلانکتون و فسفر در عمق به روش‌های شبکه عصبی RBF و زنجیره مارکف

Depth (m)	Parameter Method	Zooplankton (mg/L)			Phosphor (mg/L)				
		Correlation coefficient	Mean of real data	Mean of predicated data	Mean error	Correlation coefficient	Mean of real data	Mean of predicated data	Mean error
5	RBF Model	0.962	0.07	0.072	4.2	0.577	0.045	0.042	5
	Markov chain	0.92	0.07	0.065	8.3	0.577	0.045	0.042	5
10	RBF Model	1	0.057	0.057	0	0.722	0.05	0.05	10.4
	Markov chain	0.228	0.057	0.047	14.3	0.717	0.05	0.047	14.2
15	RBF Model	0.947	0.045	0.047	5	1	0.052	0.052	0
	Markov chain	1	0.045	0.045	0	0.87	0.052	0.047	10
20	RBF Model	0.904	0.042	0.04	6.25	0.87	0.057	0.062	10
	Markov chain	0.904	0.042	0.04	6.25	0.944	0.057	0.055	5
25	RBF Model	0.944	0.035	0.037	12.5	1	0.062	0.065	3.57
	Markov chain	0.973	0.035	0.024	41.7	.87	0.062	0.057	8.3

۶- مراجع

Alihamzeh M and Mohammad Rezapour Tabari M (2014) Qualitative behavior identification of surface reservoir in case of sudden injection of contaminant load. *Iran-Water Resources Research* 10(1):39-50

Ansarifard M, Boustani F (2013) Prediction of water quality parameters in rivers by using artificial neural network. *International conference on environmental planning & management (In Persian)*

Bakhtiari B, Shahraki N, Ahmadi MM (2014) Estimation probability of daily precipitation by using Markov chain models in different climates of Iran. *Iran-Water Resources Research* 10(2):44-55 (In Persian)

Hashemi Monfared SA, Mirbagheri SA, Sadrnejad SAA (2014) Three-dimensional, integrated seasonal separate advection-diffusion model (ISSADM) to predict water quality patterns in the Chahnimeh reservoir. *Environmental Modeling & Assessment* 19(1):71-83

Khosravi M (2010) Temporal and spatial analysis of the stability of the Hamoon lakes. *Iran-Water Resources Research* 6(3):68-79 (In Persian)

Publication No. 330 (2008) Executive instruction for water quality monitoring in dams reservoirs. Ministry of energy

همچنین، نتایج نشان داد که شبکه عصبی RBF با توجه به درصد خطای کمتر و ضریب همبستگی بیشتر نسبت به زنجیره مارکف، روش مناسب‌تری برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب است و زنجیره مارکف به دلیل بدون حافظه بودن و استفاده از اعداد تصادفی، در برخی موارد آماری تولید می‌کند که درصد خطای زیاد و ضریب همبستگی کمی با داده‌های اصلی دارند. در مجموع، با توجه به صحت‌سنجی دو مدل و همچنین داده‌های ساخت آمار شده، این نتیجه حاصل شد که، با توجه به این که پارامترهای کیفی آب بی‌روند هستند و دوره بازگشت ندارند، نمی‌توان تطویل آمار را برای این پارامترها در طولانی‌مدت توسط این دو مدل انجام داد، اما برای ساخت آمار مفقود در کوتاه‌مدت و در برداشت‌های میدانی می‌توان این دو مدل را به کار برد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Radial Basis Function (RBF)
- 2-Multiple Linear Regression (MLR)
- 3-Artificial Neural Network (ANN)
- 4-Root-Mean-Square Error (RMSE)
- 5-potential of Hydrogen (pH)
- 6-Electrical Conductivity (EC)

- chain and comparison with artificial intelligence, MSC thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (In Persian)
- Tafarajnoruz A, Rezaeir Banis N, Izadjoo F, Asghari Pari A, Shafaei Bajestan M (2007) Water quality modelling of Kondok reservoir using Hec-5Q. 7th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran (In Persian)
- Shakiba H (2010) Investigation and forecasting monthly and annual temperature using ANN (case study: Karaj). MSC thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (In Persian)
- Afsari M (2015) Construction of artificial water quality parameters with no trend in reservoirs by means of Markov chain and comparison with artificial neural network. MsC thesis, University of Sistan and Baluchestan
- Rajaei T, Rahimi Benmaran R, Jafari H (2015) Prediction of quality parameters (NO₃, DO) of Karaj river using ANN, MLR, and denoising-based combined wavelet-neural network based on models. Iran. J. Health & Environment 7(4):511-530 (In Persian)
- Rezaei Harooni A (2014) Construction of artificial parameters no data basins by means of Markov