

# شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از پارامترهای کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

مسعود نوشادی<sup>۱</sup> حمیدرضا سالمی<sup>۲</sup> محسن احمدزاده<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۴/۵/۱ پذیرش ۸۶/۷/۱)

## چکیده

رودخانه زاینده‌رود با طول حدود ۳۵۰ کیلومتر در جهت کلی غرب به شرق جریان دارد. این رودخانه از کوه‌های زاگرس (واقع در استان چهارمحال و بختیاری) سرچشمه گرفته و به تالاب گاوخونی (واقع در شرق اصفهان) ختم می‌گردد. این رودخانه نیازهای آبی کشاورزی، شهری و صنعتی را تأمین می‌کند. در این مقاله برخی پارامترهای کیفی آب شامل هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، اسیدیته، بی‌کربنات و کلراید در طول رودخانه زاینده‌رود (از ابتدا تا انتها) با سیستم شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفته و تغییرات کیفیت آب در طول این رودخانه بررسی شده است. با توجه به اندازه‌گیری‌ها و پیش‌بینی‌های حاصل از شبکه عصبی، هدایت الکتریکی افزایش قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان داده و این روند در مورد میزان کل جامدات محلول نیز صادق است. در مورد بی‌کربنات روند کلی مقادیر شبیه‌سازی شده تقریباً همانند سالهای گذشته بوده و دارای تغییرات عمده‌ای نبوده و برابر با میانگین درازمدت می‌باشد. در مورد کلراید روند افزایشی مقادیر شبیه‌سازی شده به خصوص در ایستگاههای بالادست وجود دارد و این روند در ایستگاههای پایین دست به میانگین درازمدت آنها شبیه است. پارامترهای آماری مورد استفاده برای مقایسه داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های کیفیت آب توسط شبکه عصبی برای پارامترهای هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، اسیدیته و بی‌کربنات در حد خیلی خوب و برای کلراید در حد خوبی صورت گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** کیفیت آب، شبکه عصبی مصنوعی، شبیه‌سازی، پیش‌بینی، زاینده‌رود.

## Simulation and Prediction of Some Water Quality Parameters in the Zayanderoud River Using Artificial Neural Networks

Masoud Noushadi<sup>1</sup>

Hamid Reza Salemi<sup>2</sup>

Mohsen Ahmadzadeh<sup>3</sup>

(Received Jul. 23, 2004 Accepted Sep. 26, 2007)

### Abstract

The Zayanderoud River stretches over 350 Km along a roughly west-east direction, originates in the Zagros Mountains on the west of Isfahan, and discharges into the Gavkhoni Swamp on the east of Isfahan. The Zayanderoud River supplies for the irrigation, domestic, and industrial water demands in Isfahan Province. In this paper, some water quality parameters of this river including EC, TDS, pH, HCO<sub>3</sub>, and Cl were simulated at different stations using artificial neural networks. The results showed an ascending trend for EC and TDS along the river. The trend in simulated HCO<sub>3</sub> was found to be similar to that over the past few years and was equal to the long-term average. The trend for Cl was ascending at upstream stations and also similar to the long-term average at downstream stations. In general, the simulations of water quality parameters EC, TDS, pH, and HCO<sub>3</sub> were evaluated to be highly satisfactory and the one for Cl satisfactory.

**Keywords:** Water Quality, ANN, Simulation, Prediction, Zayanderoud.

1. Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, noshadi@shirazu.ac.ir
2. Academic Member, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center
3. M.Sc. Student in Desert Region Management, College of Agriculture, Shiraz University

- ۱- استادیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، noshadi@shirazu.ac.ir
- ۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
- ۳- کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

فاضلاب می‌باشند [۳]. از طرفی، کیفیت آب یکی از مهم‌ترین مسائل در پایین‌دست رودخانه، خصوصاً برای استفاده در زمینهای کشاورزی موجود در منطقه است.

در زمینه مدیریت کیفیت آب، مدل‌های بسیار زیادی مانند HEC-5Q، QUAL2K، QUAL2E و WASP، گسترش یافته است. این مدل‌ها نیازمند پارامترهای ورودی زیادی مانند داده‌های هیدرولوژی، هواشناسی، مقاطع عرضی رودخانه یا سد، سرعت جریان و ... هستند که یا دسترسی به آنها مشکل است و یا اندازه‌گیری آنها محتاج صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. ابریشم‌چی در سال ۱۳۷۳ در بررسی مدل‌های ریاضی کیفیت آب رودخانه‌ها به این نتیجه رسید که عموماً داده‌های موجود برای مدل‌های ریاضی کافی نبوده و اغلب داده‌ها مناسب مدل‌های ریاضی نیستند [۸].

در این میان مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) که با الهام از عصبهای بیولوژیکی عمل می‌نمایند، به‌عنوان گزینه‌ای برتر مورد تحقیق و بررسی قرار گرفتند. این مدل‌ها می‌توانند با حداقل تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده و با دقت قابل قبولی تغییرات متغیر مورد نظر را پیش‌بینی نمایند [۹ و ۱۰]. جذابیت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌خاطر توانایی آنها در حل مسائل غیرخطی و حجیم که حل آنها با دقت زیاد میسر نیست، می‌باشد.

#### ۱-۱- منابع آلوده‌کننده رودخانه زاینده‌رود

منابع آلوده‌کننده رودخانه زاینده‌رود شامل فاضلابهای شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی است. جمعیتی حدود ۲ میلیون نفر در حاشیه رودخانه زاینده‌رود زندگی می‌کنند که با مصرف سرانه ۱۰۰ لیتر در روز حجم فاضلاب ورودی به زاینده‌رود حدود ۲۰۰۰۰۰ متر مکعب در روز و عمدتاً نیز به صورت تصفیه نشده هستند. بنابراین یک عامل آلودگی رودخانه زاینده‌رود، فاضلاب شهری می‌باشد. سایر آلاینده‌های عمده رودخانه زاینده‌رود عبارت‌اند از: پسابهای کشاورزی، زهکش ذوب‌آهن، پساب کارخانه پلی‌اکریل، پساب نیروگاه حرارتی اسلام‌آباد، فاضلاب تصفیه‌خانه جنوب اصفهان، فاضلاب کارخانه رنگرزی و تکمیل پارچه زهره، زهکش رودشت و زهکش سگری [۳].

پسابهای کشاورزی عمدتاً شامل ازت، فسفر، سموم کشاورزی و املاح محلول (نمکها) می‌باشند که در طول رودخانه زاینده‌رود وارد آن می‌گردند. این آلاینده‌ها علاوه بر رودخانه زاینده‌رود، آبهای زیرزمینی را نیز آلوده می‌کنند. از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۳ جمعاً

کیفیت منابع آب بر اثر عوامل طبیعی و انسانی در هر منطقه دچار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌شوند. این تغییرات عمدتاً منفی بوده و بهره‌برداری از منابع آب را به شدت محدود می‌سازد. با توجه به محدودیت منابع آب، جلوگیری از فعالیتهای انسانی که موجب آلودگی آب می‌شود بسیار ضروری است. از نقطه نظر آلودگی شیمیایی، برخی از منابع آلوده‌کننده مانند فاضلابهای انسانی و مواد زائد کشاورزی و حیوانی به آسانی تجزیه شده و کاهش می‌یابند ولی برخی از آنها مانند برخی ترکیبات پلاستیکی، سرب و جیوه بسیار پایدار هستند [۱].

استان اصفهان شامل دو حوضه آبریز زاینده‌رود و اردستان است که قسمت اعظم استان را حوضه آبریز زاینده‌رود در بر می‌گیرد. رودخانه زاینده‌رود از چشمه دیمه در ارتفاعات زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و پس از اضافه شدن ۱۳۵۰ میلیون متر مکعب در سال از حوضه کارون (به وسیله تونل‌های اول و دوم کوه‌رنگ) و طی مسافت ۳۵۰ کیلومتر، در ۱۳۰ کیلومتری اصفهان به باتلاق گاوخونی ختم می‌گردد [۲-۷]. رودخانه زاینده‌رود اصلی‌ترین منبع آب استان اصفهان است که پس از دریافت سرشاخه‌های مختلف خود و تأمین آب برای مصارف گوناگون از سد زاینده‌رود، سد انحرافی چم آسمان، بند ذوب‌آهن، سد انحرافی نکوآباد و سد انحرافی آبشار، به باتلاق گاوخونی می‌ریزد. در طول این مسیر برداشت‌های مختلفی به منظور استفاده در صنعت، کشاورزی و شرب صورت می‌گیرد و پس از مصرف، مقداری از آنها به صورت پساب، مجدداً وارد رودخانه زاینده‌رود می‌شود. با توجه به آمارهای وزارت کشاورزی در سال ۱۳۷۷ تا ۷۸ سطح اراضی کشاورزی استان اصفهان حدود ۳۹۰۰۰۰ هکتار بوده که ۲۲۰۰۰۰ هکتار آن در حوضه آبریز زاینده‌رود واقع است. سالانه بیش از ۴۸۰۰ میلیون متر مکعب آب برای آبیاری این اراضی مصرف می‌شود که با توجه به راندمان پایین آبیاری (به‌طور متوسط ۳۶ درصد) مقدار زیادی از آن که دارای آلودگی نسبتاً زیادی نیز می‌باشد، مجدداً به رودخانه زاینده‌رود برمی‌گردد. از طرف دیگر، تالاب گاوخونی و دشت‌های اطراف آن زیستگاه مناسبی برای بسیاری از پرندگان ارزشمند آبی می‌باشد. مهاجر، پرندگان خشکی‌زی و جانوران نادر است. بنابراین حفظ کمیت و کیفیت منابع آب حوضه زاینده‌رود، نه تنها بر توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی بلکه بر حفاظت گونه‌های با ارزش گیاهی و جانوری اثرگذار خواهد بود [۳].

آب برگشتی از مزارع کشاورزی و فاضلابهای صنعتی و شهری، از منابع آلاینده رودخانه زاینده‌رود به‌شمار می‌روند. آب برگشتی، اغلب به‌شکل مستقیم به رودخانه تخلیه می‌گردد و تنها تعداد بسیار محدودی از کارخانه‌های صنعتی دارای امکانات تصفیه

<sup>1</sup> Artificial Neural Network

۹۹۶۵۹۲ تن انواع کود شیمیایی شامل اوره (۴۰۰/۱۸۷ تن)، نترات آمونیم (۱۱۱۵۱۶ تن)، فسفات (۲۱۳۵۶ تن)، سولفات دو پتاس (۴۳۲۴۴۶ تن)، سوپر فسفات تریپل (۲۸۶۶۸ تن) و سولفات آمونیم (۲۴۱۹ تن) مصرف گردیده است. همچنین در طول سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۸ جمعاً ۴۰۶۶/۸ تن سم شامل علفکشها (۱۶۹۹/۲ تن) قارچکشها (۳۸۵/۲ تن)، حشرهکشها (۱۶۰۹/۱ تن) و کنهکشها (۳۷۳/۳ تن) استفاده شده است [۱۱]. بدیهی است که کسری از این کودها به صورت روانابهای سطحی، از طریق فرسایش خاکهای زراعی و جریانهای برگشتی مجدداً وارد رودخانه می‌گردند و کسری نیز به صورت فرونشست عمقی به آبهای زیرزمینی می‌پیوندند. بنابراین مواد شیمیایی کشاورزی می‌تواند نقش عمده‌ای در آلودگی رودخانه زاینده‌رود داشته باشند.

زهکش ذوب آهن حاوی پسابهای صنعتی، پساب کارخانه پلی‌اکریل حاوی پسابهای صنعتی و انسانی، پساب نیروگاه حرارتی اسلام‌آباد حاوی فاضلاب انسانی، پساب تصفیه‌خانه جنوب اصفهان حاوی فلزات سنگین، شوینده‌ها، مواد آلی، صنعتی و نیتروژن، پساب کارخانه رنگرزی و تکمیل پارچه زهره حاوی مواد رنگی (آلی و معدنی)، مواد نفتی، فلزات سنگین و املاح مختلف، زهکش رودشت حاوی انواع املاح، فلزات سنگین، نیتروژن، فسفر و سموم کشاورزی و زهکش سگری حاوی انواع املاح و فلزات سنگین می‌باشد [۳]. همگی اینها نقشی تعیین‌کننده در نوع آلودگی رودخانه زاینده‌رود ایفا می‌کنند.

### ۱-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی

مدل‌های پیش‌بینی عموماً، به دو دسته مدل‌های آماری و مدل‌های فیزیکی<sup>۱</sup> یا ریاضی تقسیم می‌شوند. مدل‌های آماری، روابط بین داده‌های پیشین را تعیین می‌کنند، در حالی که مدل‌های فیزیکی، مستقیماً فرآیندهای فیزیکی درونی را مدل می‌نمایند [۱۲]. طی دهه اخیر مدل‌های جدیدی به نام شبکه‌های عصبی مصنوعی به ابزار پیش‌بینی افزوده شده‌اند که نتایج قابل قبولی در زمینه‌های مختلف کاربردی مانند کاربری اراضی، پیش‌بینی جریان سیل و پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب از خود نشان داده‌اند [۱۳-۲۲]. شبکه عصبی مصنوعی در واقع شبیه‌سازی دستگاه عصبی طبیعی است و شامل مجموعه‌ای از واحدهای عصبی به نام نرون<sup>۲</sup> می‌باشد که توسط ارتباطاتی موسوم به آکسون<sup>۳</sup> به هم متصل هستند. در شبکه‌های عصبی مصنوعی سعی بر این است که ساختاری مشابه ساختار بیولوژیکی مغز انسان و شبکه عصبی بدن طراحی شود تا همانند آن،

قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد. در این شبکه‌ها، هدف آن است که با معرفی تاریخچه عملکرد یک سیستم دینامیکی، مدل آموزش یافته و نحوه عملکرد سیستم در حافظه ذخیره شود تا در مواردی که مدل قبلاً با آن مواجه نشده است، مورد استفاده قرار گیرد [۹].

### ۲- مروری بر تحقیقات گذشته

مایر<sup>۴</sup> و دندی<sup>۵</sup> در مطالعه‌ای که برای تخمین میزان شوری رودخانه ماری<sup>۶</sup> با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی و شبکه‌های انتشار برگشتی<sup>۷</sup> ابزاری دقیق در تخمین میزان افت کیفیت این رودخانه بوده و اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بین ۴۶ تا ۵۳ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. آنها پیشنهاد انجام مقایسه بین این مدل با دیگر مدل‌های فیزیکی یا ریاضی را ارائه دادند [۱۷]. ساندهو<sup>۸</sup> و فینچ<sup>۹</sup> نیز توانایی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی روزمره و واقعی میزان شوری در آبهای حوضه‌های مختلف و توانایی تخمین میزان غلظت کاتیون، آنیون، مقدار EC و TDS در این حوضه‌ها را مورد تأکید قرار دادند [۲۰]. ها<sup>۱۰</sup> و استنستورم<sup>۱۱</sup> در بررسی ۱۷۳ مورد کاربری اراضی توسط بررسی کیفیت آب آنها با شبکه عصبی شامل ۱۰ متغیر ورودی از کیفیت آب، ۴ لایه پنهان و ۵ متغیر خروجی کاربری اراضی، توانستند به دقتی (شاخص تطابق) در حدود ۹۲/۳ تا ۹۴/۵ درصد و میزان جذر میانگین مربعات خطای (RMSE<sup>۱۲</sup>) بسیار پایین، در حدود ۰/۱۵۴ تا ۰/۱۵۷ دست پیدا کنند [۲۳].

والی و فونتانا در یک تحقیق در انگلستان، کیفیت آب رودخانه‌های بریتانیا را توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم انتشار برگشتی بررسی کردند و به دقت ۹۵/۶۲ درصد رسیدند [۲۴].

### ۳- روش تحقیق

در این بررسی پارامترهایی از کیفیت آب در ایستگاههای مختلف در طول رودخانه زاینده‌رود (از ابتدا تا انتها) مورد بررسی و

<sup>4</sup> Maier

<sup>5</sup> Dandy

<sup>6</sup> Murray

<sup>7</sup> Back-propagation Network

<sup>8</sup> Sandhu

<sup>9</sup> Finch

<sup>10</sup> Ha

<sup>11</sup> Stenstorm

<sup>12</sup> Root Mean Square Error

<sup>1</sup> Physically-based Models

<sup>2</sup> Neuron

<sup>3</sup> Axon

(RMSE)، شاخص تطابق<sup>۱</sup> (d) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE) استفاده گردید [۲۵]. روابط RMSE، d و MAE به صورت زیر است:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|p'_i| + |o'_i|)^2} \quad (1)$$

$$o'_i = o_i - \bar{o} \quad p'_i = p_i - \bar{o}$$

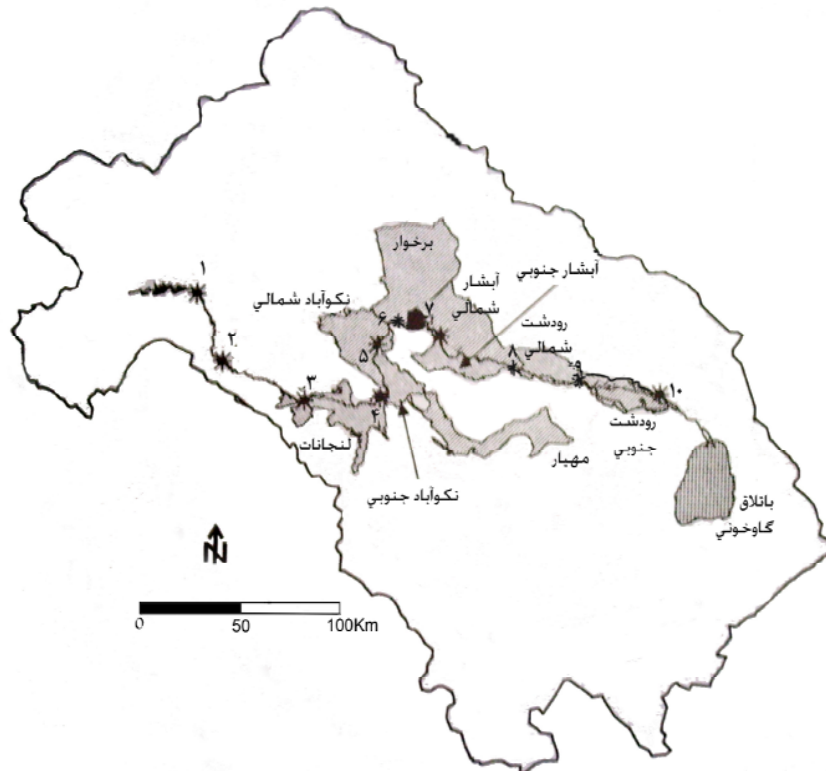
$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n} \right]^{1/2} \times \frac{100}{\bar{o}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - o_i|}{n} \quad (3)$$

در این رابطه‌ها  $p$  و  $o$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده،  $\bar{o}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و  $n$  اندازه نمونه می‌باشند.

شبیه‌سازی قرار گرفته و تغییرات کیفیت آب در طول این رودخانه بررسی شده است. طول کل دوره آماری موجود ۱۴ سال (از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۲) و تواتر داده‌ها به صورت ماهانه بوده که از ۱۰ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه استفاده شده است. پس از آموزش شبکه، شبیه‌سازی برای ۱۵ سال صورت گرفت و در زمانهایی که هم داده‌های شبیه‌سازی شده و هم اندازه‌گیری شده موجود بوده است (۱۴ سال) دقت شبیه‌سازی ارزیابی شده است. بنابراین مدت پیش‌بینی به طول یک سال از فروردین تا اسفند ۱۳۸۲ بوده است. آمار مورد استفاده به مدت یک سال داده‌برداری شده و بقیه از شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان اخذ شده است. طول دوره آماری موجود در ایستگاههای مختلف نیز با یکدیگر متفاوت بود که این مسئله به اختلاف بین قدمت ایستگاههای مختلف بر روی رودخانه بر می‌گردد. این ایستگاهها به ترتیب قرار گرفتن در طول مسیر رودخانه عبارت‌اند از: سد تنظیمی، زمان‌خان، پل کله، لنج، موسیان، نکوآباد، پل زیار، پل چوم و ورزنه (شکل ۱). برای ارزیابی مدل شبکه عصبی از جذر میانگین مربعات خطا

<sup>1</sup> Index of Agreement



شکل ۱- محل ایستگاههای مورد بررسی در طول رودخانه زاینده‌رود  
 ۱- زمان خان؛ ۲- پل کله؛ ۳- نکوآباد؛ ۴- پل وحید؛ ۵- پل خواجو؛ ۶- موسیان؛  
 ۷- پل زیار؛ ۸- پل چوم؛ ۹- پل اژیبه و ۱۰- ورزنه

### ۳-۱- آموزش و آزمایش<sup>۱</sup>

با توجه به تعداد کل داده‌ها از هر پارامتر (۱۵۶ تا ۲۴۰ داده)، آموزش با تعداد مختلف داده‌ها شامل ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد صورت گرفت. نتایج شبیه سازی نشان داد که بر اساس ۱۰ درصد داده‌ها دقت مناسب حاصل می‌گردد. بنابراین برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی ۱۰ درصد از کل داده‌ها به این بخش اختصاص داده شدند. این داده‌ها با توجه به رفتار خود که منظم یا نامنظم بودند، بین ۳۰ تا ۲۰۰۰ دور آموزش<sup>۲</sup> را طی کردند تا به کمترین مقدار خطا (RMSE) در نرم‌افزار مطلب<sup>۳</sup> رسیدند. در این مرحله بخش آموزش به اتمام رسیده و از ۹۰ درصد بقیه داده‌ها در بخش آزمایش استفاده شد. سپس نتایج نهایی در خصوص پارامترهای کیفیت آب

حد پایین RMSE صفر بوده و مقدار RMSE بیانگر میزان انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر مشاهده شده است.  $d$  نیز بیانگر عملکرد مدل بوده و مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است. میانگین قدرمطلق خطا (MAE) بیانگر مقدار متوسط خطا بوده و هر چه کمتر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر است. مقادیر RMSE،  $d$  و MAE به صورت ماهانه و سالانه برای کل جامدات محلول محاسبه گردید که نتایج ماهانه آن در جدولهای ۱ تا ۳ ارائه گردیده است.

برای بهینه‌سازی مدل شبکه‌های عصبی، موارد ضروری در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در این بررسی الگوی استفاده از ۱۲ ماه داده، برای شبکه عصبی در نظر گرفته شده است، در نتیجه طول دوره پیش بینی شده برای کلیه پارامترها نیز یک سال بوده است.

<sup>1</sup> Training and Test

<sup>2</sup> Epoch

<sup>3</sup> MATLAB

جدول ۱- میانگین ماهانه مقادیر محاسبه شده  $d$  برای میزان کل جامدات محلول در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	میانگین
سد تنظیمی	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۹۱
زمان خان	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۸۷
پل کله	۰/۹۳	۰/۵۳	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۸۰	۰/۸۶	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۷۹
لج	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۰/۹۴
موسیان	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۳
نکوآباد	۰/۹۴	۰/۱۰	۰/۶۲	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۷۷	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۰۵	۰/۹۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۵۲
پل زیار	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۰/۹۹
پل چوم	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶
ورزنه	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۶
میانگین	۰/۹۵	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۷

جدول ۲- میانگین ماهانه مقادیر محاسبه شده MAE برای میزان کل جامدات محلول در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	میانگین
سد تنظیمی	۷/۹۳	۵/۲۷	۷/۷۱	۵/۴۸	۸/۹۸	۴/۸۱	۷/۴۷	۸/۴۵	۸/۶۴	۶/۸۵	۵/۸۹	۷/۷۱	۷/۱۰
زمان خان	۱۱/۳۴	۹/۳۵	۱۰/۰۴	۱۱/۶	۷/۷۵	۱۰/۴۳	۱۰/۴۴	۷/۵۰	۱۳/۵۷	۹/۰۲	۱۳/۸۳	۱۰/۹۳	۱۰/۴۸
پل کله	۱۶/۴۷	۱۶/۰۷	۱۲/۷۸	۱۸/۳۶	۱۵/۶۲	۱۶/۷۱	۲۲/۸۵	۲۵/۷۰	۱۹/۶۸	۲۱/۶۰	۳۲/۷۱	۲۳/۴۷	۲۰/۱۷
لج	۱۸/۹۴	۲۸/۹۷	۴۰/۱۷	۶۵/۲۱	۴۱/۷۲	۵۵/۴۵	۳۸/۶۴	۴۴/۷۹	۴۳/۵۸	۳۳/۲۳	۲۸/۳۶	۴۶/۳۴	۴۰/۴۵
موسیان	۲۵/۴۳	۳۱/۵۹	۲۹/۱۸	۳۱/۴۵	۲۹/۲۱	۲۸/۴۸	۴۵/۰۲	۳۸/۷۱	۳۴/۹۷	۴۲/۰۸	۳۲/۳۲	۳۷/۸۲	۳۳/۸۶
نکوآباد	۲۲/۸۲	۲۷/۷۹	۲۰/۸۴	۲۲/۱۱	۲۳/۸۹	۱۷/۲۱	۲۵/۶۴	۱۹/۱۴	۱۸/۰۵	۲۰/۶۲	۳۱/۱۰	۲۴/۳۳	۲۲/۸۳
پل زیار	۲۹/۰۶	۲۷/۵۴	۳۱/۳۷	۳۰/۳۹	۲۵/۷۴	۳۰/۳۴	۱۷/۲۱	۳۱/۹۹	۳۵/۹۷	۳۰/۲۷	۲۴/۹۲	۲۳/۷۱	۲۸/۲۱
پل چوم	۳۸/۶۵	۳۰/۶۶	۵۳/۶۰	۵۰/۹۲	۴۴/۲۴	۳۲/۳۹	۴۱/۸۰	۳۳/۲۸	۴۲/۲۱	۳۱/۴۶	۴۱/۳۵	۳۶/۸۲	۳۹/۷۸
ورزنه	۲۵/۹۶	۱۴/۴۱	۲۲/۱۳	۱۵/۴۱	۱۹/۵۰	۱۶/۰۴	۱۵/۳۱	۲۰/۹۹	۲۷/۸۳	۲۳/۱۲	۲۰/۱۱	۱۶/۵۳	۱۹/۷۸
میانگین	۲۱/۸۴	۲۱/۲۹	۲۵/۳۱	۲۷/۸۸	۲۴/۰۷	۲۳/۵۴	۲۴/۹۳	۲۵/۶۲	۲۷/۱۷	۲۴/۲۵	۲۵/۶۲	۲۵/۳۴	۲۴/۷۴

جدول ۳- میانگین ماهانه مقادیر محاسبه شده RMSE برای میزان کل جامدات محلول در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	میانگین
سد تنظیمی	۱/۳۲	۱/۰۷	۱/۳۱	۱/۱۱	۱/۴۶	۱/۱۱	۱/۳۸	۱/۴۹	۱/۴۶	۱/۲۴	۱/۱۸	۱/۲۹	۱/۲۸
زمان خان	۱/۵۲	۱/۴۱	۱/۴۸	۱/۶۵	۱/۳۸	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۳۷	۱/۷۲	۱/۳۵	۱/۶۱	۱/۴۱	۱/۵۱
پل کله	۱/۶۵	۱/۶۹	۱/۵۰	۱/۹۱	۱/۷۶	۱/۸۳	۲/۱۵	۲/۱۷	۱/۷۹	۱/۷۲	۱/۹۶	۱/۶۸	۱/۸۲
لنج	۱/۱۲	۱/۳۴	۱/۸۵	۲/۲۱	۱/۹۳	۲/۲۱	۱/۴۲	۱/۳۴	۱/۴۵	۰/۹۴	۰/۸۹	۱/۰۵	۱/۴۸
موسیان	۱/۱۷	۱/۵۳	۱/۴۸	۱/۵۴	۱/۴۷	۱/۴۸	۱/۶۶	۱/۴۱	۱/۳۹	۱/۲۳	۰/۸۶	۰/۹۹	۱/۳۵
نکوآباد	۱/۲۸	۱/۴۷	۱/۲۹	۱/۵۵	۱/۳۷	۱/۱۹	۱/۶۱	۱/۲۶	۱/۱۹	۰/۸۹	۱/۵۶	۱/۳۹	۱/۳۴
پل زیار	۰/۹۳	۰/۹۷	۱/۰۸	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۶۶	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۸۶
پل چوم	۱/۲۴	۱/۲۹	۱/۶۶	۱/۴۲	۱/۲۴	۰/۹۷	۱/۲۱	۱/۰۰	۱/۲۳	۰/۹۷	۰/۹۰	۰/۹۳	۱/۱۷
ورزنه	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۳۷
میانگین	۱/۱۸	۱/۲۴	۱/۳۴	۱/۳۹	۱/۳۰	۱/۲۸	۱/۳۳	۱/۲۷	۱/۳۱	۱/۰۸	۱/۱۱	۱/۰۸	۱/۲۴

جدول ۴- مدل‌های بهینه برای شبیه‌سازی کیفیت آب

پارامترهای کیفی مورد آزمایش	کلراید	بی‌کربنات	اسیدیته	میزان کل جامدات محلول	هدایت الکتریکی
نوع شبکه مورد استفاده	پیش‌خور				
الگوریتم آموزش	لونبرگ - مارکوارت				
قاعده آموزش	LMS (Least Mean Square)				
تابع محرک	سیگموئید				
روش تصحیح وزنها	Online				
تعداد دور در آموزش	۵۰۰	۴۳۹	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰
(به ترتیب در سه ایستگاه زمان خان، موسیان و ورزنه)	۱۲۳۸	۹۸۰	۱۵۷۷	۱۰۰۰	۶۹۴
مقدار بایاس (اریب)	۵۰۰	۴۵۴	۲۰۰۰	۵۰۰	۲۰۰۰
			۰/۰۱		

به حداقل رسانیدن خطا در نرم‌افزار مطلب بالاترین دقت ممکن حاصل شود. الگوریتم آموزشی مورد استفاده نیز الگوریتم لونبرگ - مارکوارت<sup>۳</sup> بوده که جزء سریع‌ترین الگوریتم‌های آموزشی می‌باشد. سایر جزئیات شبکه مورد استفاده نیز در جدول ۴ ذکر شده است [۲۰].

قاعده آموزش شبکه LMS<sup>۴</sup> در نظر گرفته شد. این قاعده در سال ۱۹۶۰ توسط ویدرو<sup>۵</sup> و هوف<sup>۶</sup> ابداع شد که مشهورترین قاعده

با استفاده از تمامی داده‌های موجود ارائه گردید. نتایج مربوط به پارامترهای آماری d، RMSE و MAE مربوط به داده‌های بخش آزمایش در جدولهای ۵ تا ۹ و نتایج مربوط به داده‌های بخش آموزش در جدولهای ۱۰ تا ۱۴ آورده شده است. همان‌گونه که در این جدولها ملاحظه می‌گردد، تفاوت میان معیارهای عملکرد در دو سری داده‌های آزمایش و آموزش بسیار کم است.

در شبکه عصبی معماری شده حاضر، با استفاده از الگوی شبکه پیش‌خور<sup>۱</sup> (FF) و استفاده از ۱۲ لایه ورودی و یک لایه خروجی و یک لایه پنهان با ۱۰ گره<sup>۲</sup>های متنوع (بین ۵ تا ۱۰ گره) سعی شده با

<sup>3</sup> Levenberg- Marquardt Algorithm

<sup>4</sup> Least Mean Square

<sup>5</sup> Widrow

<sup>6</sup> Hoff

<sup>1</sup> Feedforward

<sup>2</sup> Node

جدول ۵- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده  $d$ ، RMSE و MAE برای هدایت الکتریکی در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۶/۷۷	۱/۲۸	۰/۹۱
زمان خان	۱۰/۴۸	۱/۵۱	۰/۸۷
پل کله	۲۰/۱۷	۱/۸۲	۰/۷۹
لنج	۴۰/۴۵	۱/۴۸	۰/۹۴
موسیان	۳۳/۸۶	۱/۳۵	۰/۹۳
نکوآباد	۲۲/۸۳	۱/۳۴	۰/۵۲
پل زیار	۲۸/۲۱	۰/۸۶	۰/۹۹
پل چوم	۳۹/۷۸	۱/۱۷	۰/۹۶
ورزنه	۱۹/۵۹	۰/۳۶	۰/۹۶
میانگین	۲۴/۷۰	۱/۲۴	۰/۸۷

جدول ۶- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده  $d$ ، RMSE و MAE برای میزان کل جامدات محلول در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۸/۱۸	۰/۹۰	۰/۹۸
زمان خان	۱۱/۸۳	۱/۰۵	۰/۹۶
پل کله	۲۱/۳۴	۱/۲۰	۰/۹۴
لنج	۶۵/۸۲	۱/۲۴	۰/۸۹
موسیان	۵۴/۶۱	۱/۱۲	۰/۹۱
نکوآباد	۳۴/۹۴	۱/۰۶	۰/۷۵
پل زیار	۳۶/۳۸	۰/۶۵	۰/۹۹
پل چوم	۶۰/۵۴	۰/۹۶	۰/۹۶
ورزنه	۲۲/۵۷	۰/۲۸	۰/۹۷
میانگین	۳۵/۱۴	۰/۹۴	۰/۹۳

جدول ۷- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده  $d$ ، RMSE و MAE برای اسیدیته در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۰/۰۹	۳/۸۳	۰/۹۷
زمان خان	۰/۱۰	۴/۱۳	۰/۹۶
پل کله	۰/۰۸	۳/۷۱	۰/۹۷
لنج	۰/۱۰	۳/۹۷	۰/۹۵
موسیان	۰/۱۰	۴/۰۶	۰/۹۲
نکوآباد	۰/۰۵	۳/۰۲	۰/۸۵
پل زیار	۰/۰۴	۲/۶۳	۱/۰۰
پل چوم	۰/۱۲	۴/۵۶	۰/۹۶
ورزنه	۰/۱۰	۴/۱۳	۰/۹۸
میانگین	۰/۰۹	۳/۷۸	۰/۹۵

جدول ۸- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده  $d$ ، RMSE و MAE

برای بی‌کربنات در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۰/۰۷	۱۰/۵۵	۰/۹۷
زمان خان	۰/۰۹	۱۱/۴۹	۰/۹۷
پل کله	۰/۰۸	۱۰/۴۱	۰/۹۸
لنج	۰/۱۰	۱۱/۰۴	۰/۹۷
موسیان	۰/۰۸	۹/۶۰	۰/۹۱
نکوآباد	۰/۰۹	۹/۶۱	۰/۷۴
پل زیار	۰/۱۴	۱۰/۳۵	۰/۹۹
پل چوم	۰/۲۸	۱۴/۱۲	۰/۹۵
ورزنه	۰/۲۹	۱۳/۰۵	۰/۹۶
میانگین	۰/۱۳	۱۱/۱۴	۰/۹۴

جدول ۹- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده d ، RMSE و MAE

برای کلراید در ایستگاههای مختلف

نام ایستگاه/معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۰/۰۲	۴۱/۵۰	۰/۹۷
زمان خان	۰/۰۳	۴۷/۳۸	۰/۹۵
پل کله	۰/۰۴	۴۲/۱۶	۰/۹۵
لنج	۰/۲۴	۳۰/۸۲	۰/۹۵
موسیان	۰/۲۵	۳۰/۹۸	۰/۹۵
نکوآباد	۰/۱۶	۳۵/۹۳	۰/۶۶
پل زیار	۰/۲۶	۱۶/۸۷	۰/۹۸
پل چوم	۰/۲۳	۲۲/۶۵	۰/۹۵
ورزنه	۳۱/۸۲	۳/۴۴	۰/۹۵
میانگین	۳/۶۷	۱۰/۱۹	۰/۹۲

جدول ۱۰- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده d ، RMSE و MAE

برای هدایت الکتریکی در ایستگاههای مختلف در بخش آموزش

نام ایستگاه / معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۵/۴۶	۱/۳۶	۰/۹۰
زمان خان	۱۱/۸۹	۱/۴۲	۰/۸۵
پل کله	۲۲/۰۴	۱/۹۴	۰/۸۳
لنج	۴۰/۹۳	۱/۴۸	۰/۹۲
موسیان	۳۴/۵۲	۱/۵۴	۰/۸۷
نکوآباد	۲۱/۲۱	۱/۵۰	۰/۶۳
پل زیار	۲۹/۷۲	۰/۹۴	۰/۹۲
پل چوم	۴۱/۳۹	۱/۲۳	۰/۹۱
ورزنه	۱۸/۳۶	۰/۸۵	۰/۹۱
میانگین	۲۵/۰۶	۱/۳۶	۰/۸۶

جدول ۱۱- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده d ، RMSE و MAE

برای میزان کل جامدات محلول در ایستگاههای مختلف در بخش آموزش

نام ایستگاه / معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۸/۷۹	۰/۸۳	۰/۹۵
زمان خان	۱۲/۲۸	۱/۰۱	۰/۹۳
پل کله	۲۰/۳۲	۱/۱۵	۰/۹۰
لنج	۶۶/۶۳	۱/۳۲	۰/۹۰
موسیان	۵۳/۵۹	۱/۰۸	۰/۹۱
نکوآباد	۳۰/۵۲	۱/۰۲	۰/۷۹
پل زیار	۳۳/۷۲	۰/۶۰	۰/۹۹
پل چوم	۵۴/۴۹	۰/۹۲	۰/۹۵
ورزنه	۲۳/۱۲	۰/۳۲	۰/۹۹
میانگین	۳۳/۷۲	۰/۹۲	۰/۹۲



جدول ۱۲- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده d، RMSE و MAE  
برای اسیدیتته در ایستگاههای مختلف در بخش آموزش

نام ایستگاه / معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۰/۱۲	۳/۹۵	۰/۹۲
زمان خان	۰/۱۴	۴/۲۵	۰/۹۳
پل کله	۰/۱۲	۳/۷۳	۰/۹۳
لنج	۰/۱۴	۴/۰۱	۰/۹۰
موسیان	۰/۱۳	۴/۱۶	۰/۸۸
نکوآباد	۰/۰۶	۳/۰۵	۰/۸۶
پل زیار	۰/۰۴	۲/۶۲	۱/۰۰
پل چوم	۰/۱۰	۴/۵۲	۰/۹۷
ورزنه	۰/۰۸	۴/۰۴	۰/۹۹
میانگین	۰/۱۰	۳/۸۱	۰/۹۳

جدول ۱۳- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده d، RMSE و MAE  
برای بی کربنات در ایستگاههای مختلف در بخش آموزش

نام ایستگاه / معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۰/۰۶	۳/۳۸	۰/۹۳
زمان خان	۰/۱۴	۴/۵۶	۰/۹۲
پل کله	۰/۱۱	۳/۷۸	۰/۹۴
لنج	۰/۱۳	۴/۰۶	۰/۹۵
موسیان	۰/۱۴	۴/۰۹	۰/۹۱
نکوآباد	۰/۰۸	۳/۱۱	۰/۸۸
پل زیار	۰/۱۰	۲/۷۲	۰/۹۸
پل چوم	۰/۱۴	۴/۳۶	۰/۹۵
ورزنه	۰/۰۸	۴/۰۵	۰/۹۶
میانگین	۰/۱۱	۳/۷۹	۰/۹۳

جدول ۱۴- میانگین سالانه مقادیر محاسبه شده d، RMSE و MAE  
برای کلراید در ایستگاههای مختلف در بخش آموزش

نام ایستگاه / معیار	MAE	RMSE	d
سد تنظیمی	۰/۰۱	۳۹/۴۵	۰/۹۳
زمان خان	۰/۰۲	۴۲/۳۵	۰/۹۴
پل کله	۰/۰۲	۳۸/۴۰	۰/۹۴
لنج	۰/۱۸	۲۹/۴۹	۰/۹۴
موسیان	۰/۳۰	۲۶/۹۸	۰/۹۴
نکوآباد	۰/۲۲	۳۸/۹۳	۰/۶۱
پل زیار	۰/۲۱	۲۰/۸۷	۰/۹۷
پل چوم	۰/۲۲	۲۰/۶۵	۰/۹۶
ورزنه	۲۸/۸۲	۵/۴۴	۰/۹۳
میانگین	۳/۳۳	۲۹/۱۷	۰/۹۱

کمترین مقدار اختلاف با داده واقعی دست یافته شود. سپس شبکه به اندازه یک داده به سمت جلو رفته و از داده دوم تا داده سیزدهم را گرفته و داده چهاردهم را که دومین داده سال بعد است پیش بینی می کند. این عمل آن قدر تکرار می شود تا کل داده های مشاهداتی به

در فیلترهای وقتی است. در شبکه FF، دوازده داده مربوط به سال اول به شبکه داده شده و پس از شناخت الگوی داده ها، داده سیزدهم که اولین داده سال بعد می باشد، پیش بینی می گردد. سپس این داده با داده واقعی مقایسه شده و این مرحله آن قدر ادامه می یابد تا به

تمام برسند. در این صورت، طول داده‌های پیش‌بینی شده یک سال بیشتر از داده‌های مشاهده شده خواهد بود.

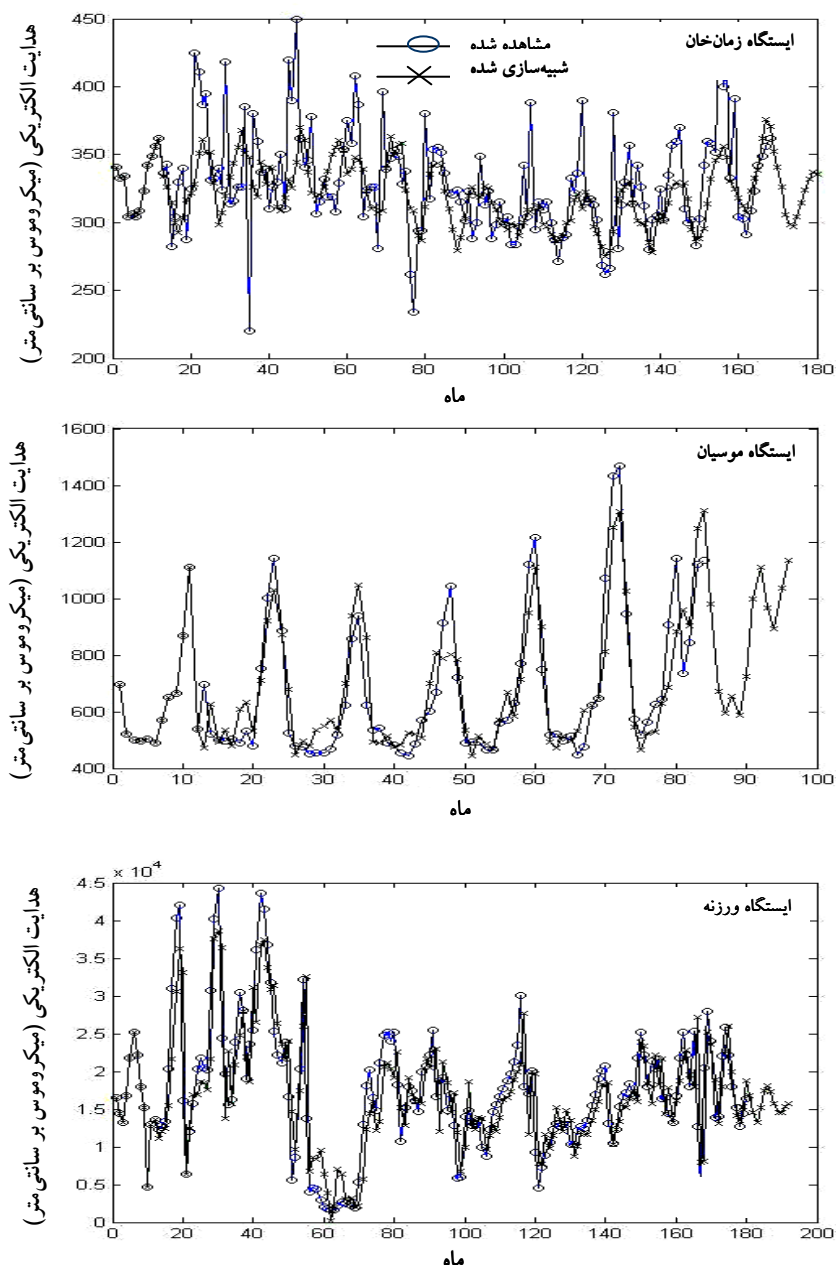
نشان داده شده است. البته مطالب ارائه شده در متن مقاله مربوط به همه ایستگاهها می‌باشند.

#### ۴- نتایج و بحث

با توجه به اینکه نشان دادن شکل‌های مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در همه ۹ ایستگاه مورد بررسی در این مقاله ممکن نمی‌باشد، بنابراین سه ایستگاه زمان‌خان (در ابتدای مسیر)، موسیان (در وسط مسیر) و ورزنه (در انتهای مسیر) به عنوان ایستگاه‌های معرف انتخاب شده و فقط شکل‌های این سه ایستگاه در این مقاله

#### ۴-۱- هدایت الکتریکی (EC) و میزان کل جامدات محلول (TDS)

تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی (EC) مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، به صورت نمونه در سه ایستگاه زمان‌خان، موسیان و ورزنه در شکل ۲ نشان داده شده است. تغییرات میانگین هدایت الکتریکی (EC) شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های مختلف بین ۳۰۱/۵ تا



شکل ۲- تغییرات هدایت الکتریکی مشاهده و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های زمان‌خان، موسیان و ورزنه

۲۴۹۴۹ میکروموس بر سانتی متر است. بر اساس داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده تا ایستگاه پل چوم مقدار EC ناچیز بوده و بین ۳۰۱/۵ تا ۱۰۹۲/۶ میکروموس بر سانتی متر می‌باشد ولی در ایستگاه ورزنه به ۲۴۹۴۹ میکروموس بر سانتی متر افزایش می‌یابد که علت آن، ورود آب زهکش سگری با شوری زیاد به رودخانه است. شوری آب این زهکش بین ۶۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر تا ۷۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر گزارش شده است [۳ و ۵]. افزایش EC بیشتر در تابستان رخ می‌دهد که از یک طرف حجم آب زهکش زیاد شده و از طرف دیگر دبی رودخانه کم می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، نتایج شبیه‌سازی مناسب بوده و روند داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مشابه روند داده‌های سه سال گذشته (۱۳۷۹-۱۳۸۱) با اندکی کاهش می‌باشد، که این کاهش به دلیل افزایش دبی در دو سال اخیر (۱۳۸۰ و ۱۳۸۱) است.

مقدار املاح کل محلول (TDS) مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار املاح کل محلول شبیه‌سازی شده در ایستگاههای مختلف بین ۱۹۵/۴ تا ۱۶۳۲۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بر اساس داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده روند تغییرات TDS مشابه EC بوده و حداکثر آن مربوط به ایستگاه ورزنه است. در این مورد نیز شبکه، روند این پارامتر را بیشتر به روند یک سال گذشته شبیه می‌داند. داده‌های شبیه‌سازی شده شبکه عصبی نیز مانند داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه ورزنه بالاترین میزان TDS را در شهریور سال ۱۳۸۱ و در حدود ۱۶۳۲۰ میلی‌گرم در لیتر تخمین می‌زند.

مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای EC و TDS در جدولهای ۵ و ۶ نشان داده شده است. طبق این جدولها برای EC، مقدار d برای هر ایستگاه به طور متوسط در طول سال بین ۰/۷۵ تا ۰/۹۸ در حال تغییر بوده و متوسط آن در کل سال ۰/۹۳ می‌باشد که این مقدار بسیار مناسب است. مقدار RMSE نیز بین ۰/۲۸ تا ۱/۲۴ در حال تغییر بوده و متوسط آن در کل طول سال ۰/۹۴ می‌باشد. مقدار MAE نیز بین ۸/۱۸ تا ۶۵/۸۲ در نوسان بوده و معدل آن ۳۵/۱۴ می‌باشد. بنابراین به طور کلی شبیه‌سازی مربوط به EC توسط مدل در حد خیلی خوبی صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی برای TDS نیز مناسب بوده و مقدار d بین ۰/۵۲ تا ۰/۹۹ و به‌طور متوسط ۰/۸۷ می‌باشد. مقدار RMSE نیز بین ۰/۳۶ تا ۱/۸۲ بوده و متوسط آن ۱/۲۴ است که این مقدار بسیار مناسب است. در نهایت مقدار MAE بین ۶/۷۷ تا ۴۰/۴۵ و به‌طور متوسط ۲۴/۷ می‌باشد. بنابراین به‌طور کلی شبیه‌سازی مربوط به TDS نیز بسیار مناسب است.

#### ۲-۴- اسیدیته (pH)

تغییرات مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده pH در شکل ۴ نشان داده شده است. تغییرات میانگین محدوده pH شبیه‌سازی شده بین ۷/۳۴ تا ۸/۰۲ می‌باشد که دارای تغییرات زیادی نیست (۹/۱ درصد). مقدار pH نشان می‌دهد که به طور کلی آب رودخانه در مسیر خود قلیایی است. در این مورد نیز شبکه عصبی رفتاری عادی از این پارامتر را پیش‌بینی کرده و حداکثر pH را معادل ۸/۰۲ پیش‌بینی می‌کند.

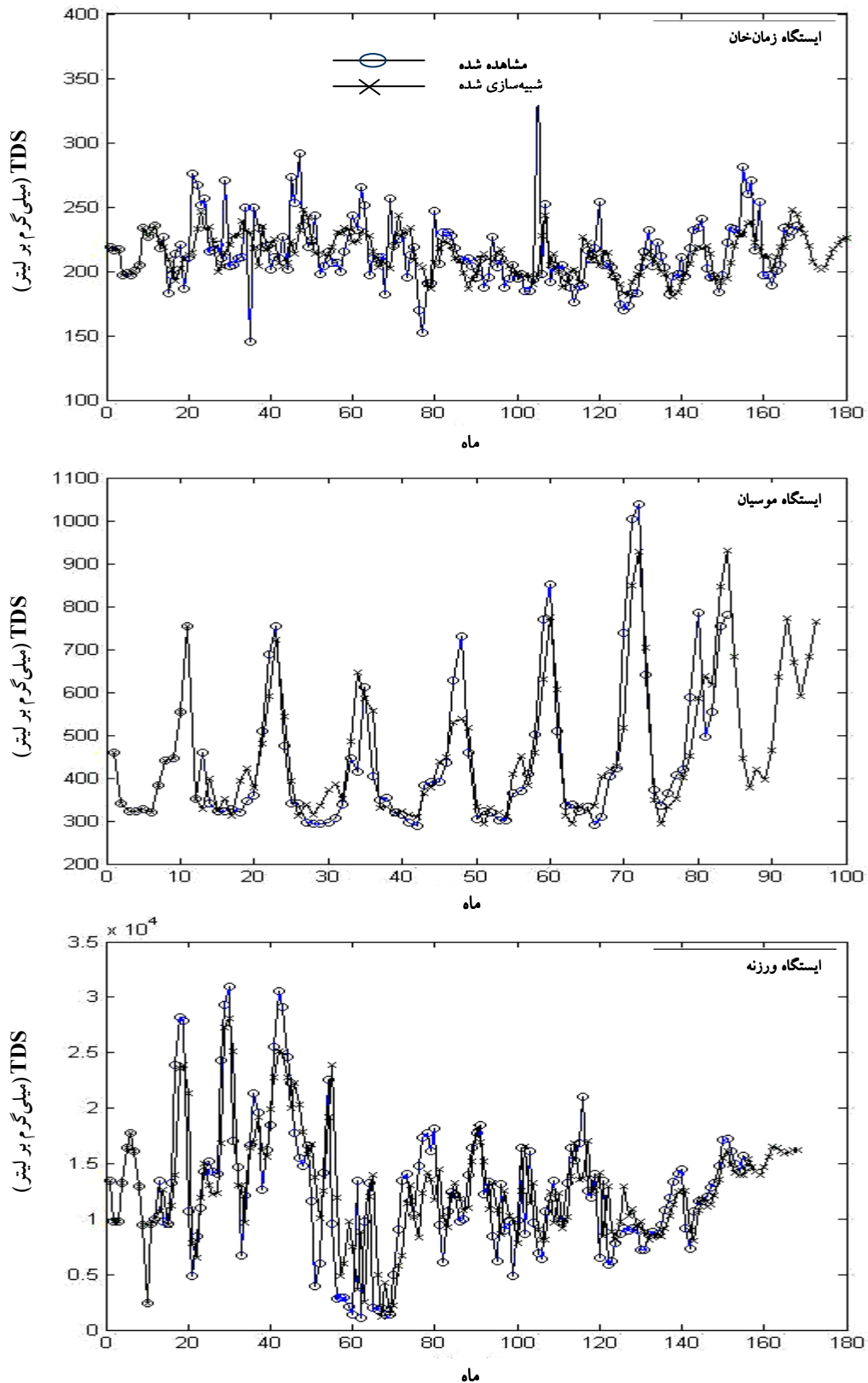
نتایج مقایسه بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در جدول ۷ نشان داده شده است. مقدار d بین ۰/۸۵ تا ۱ بوده و به طور متوسط ۰/۹۵ می‌باشد. مقدار RMSE بین ۲/۶۳ تا ۴/۵۶ نوسان داشته و به‌طور متوسط ۳/۷۸ است و مقدار MAE نیز بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۲ بوده و معدل آن ۰/۰۹ می‌باشد. این مقادیر بیانگر پیش‌بینی مدل در حد خیلی خوب است.

#### ۳-۴- بی‌کربنات

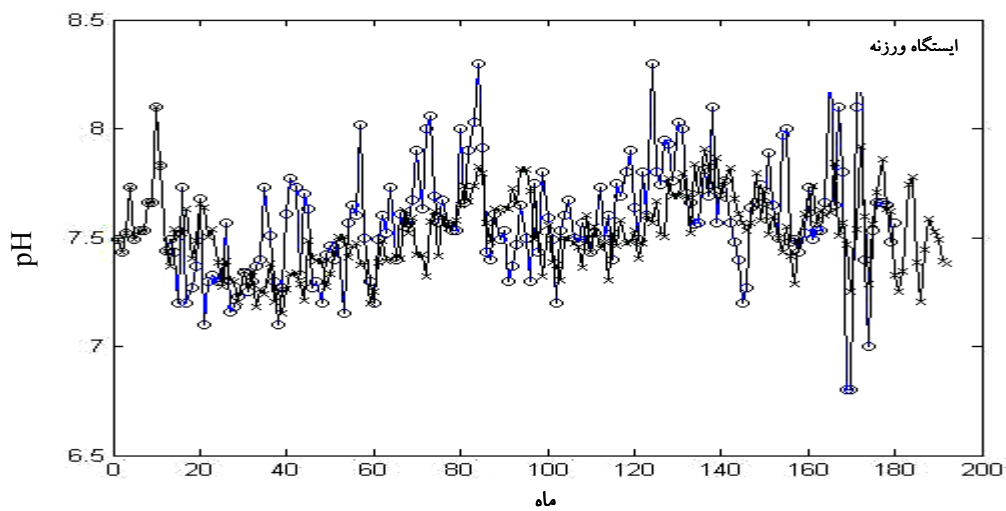
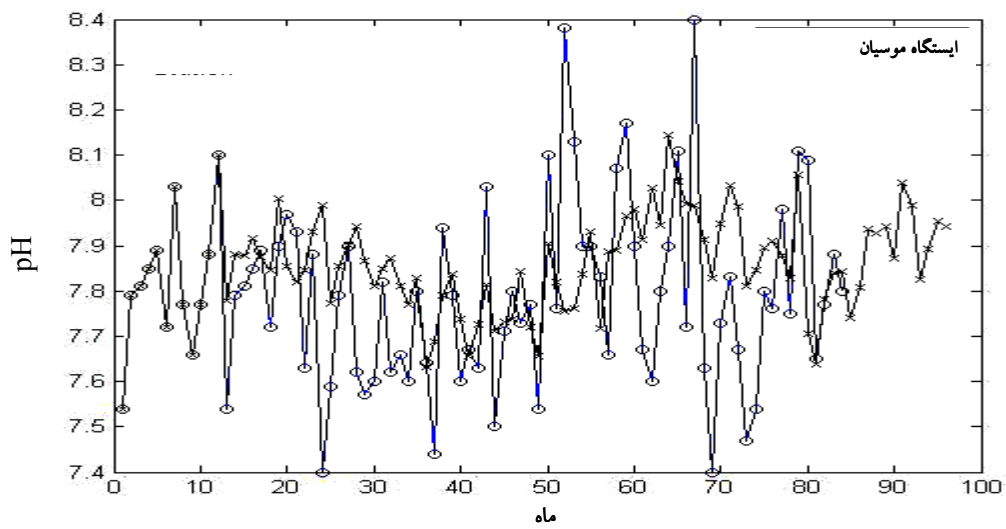
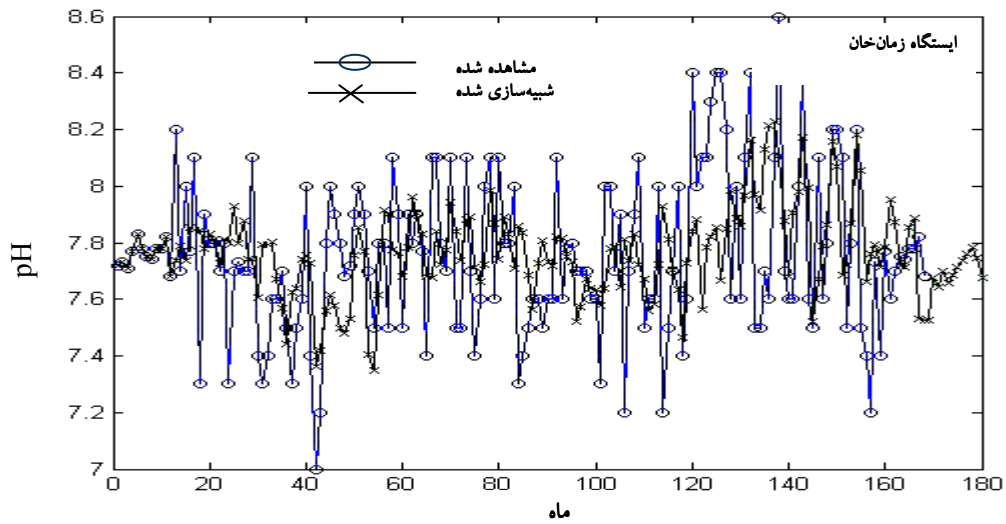
تغییرات بی‌کربنات شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در شکل ۵ نشان داده شده است. تغییرات بی‌کربنات شبیه‌سازی شده بین ۱۴۹ (ایستگاه سد تنظیمی) تا ۲۷۶ (ایستگاه ورزنه) میلی‌گرم در لیتر است. مقدار بی‌کربنات از ایستگاه سد تنظیمی تا ورزنه به مقدار ۵۶ درصد افزایش یافته است که علت آن تخلیه فاضلابها به رودخانه می‌باشد. افزایش بی‌کربنات باعث محدودیت مصرف آب شرب، صنعت و کشاورزی می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته در خصوص بی‌کربنات نشان می‌دهد که روند تغییرات زمانی در هر ایستگاه به طور کلی افزایشی می‌باشد. نتایج مقایسه بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در جدول ۸ ارائه شده است. مقدار d بین ۰/۷۴ تا ۰/۹۹ و به‌طور متوسط ۰/۹۴ است. مقدار RMSE بین ۹/۶۰ تا ۱۴/۱۲ بوده و به‌طور متوسط ۱۱/۱۴ است. مقدار MAE بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۹ و میانگین آن ۰/۱۳ می‌باشد. بنابراین شبیه‌سازی بی‌کربنات نیز توسط مدل شبکه عصبی در حد خوبی صورت گرفته است.

#### ۴-۴- کلراید

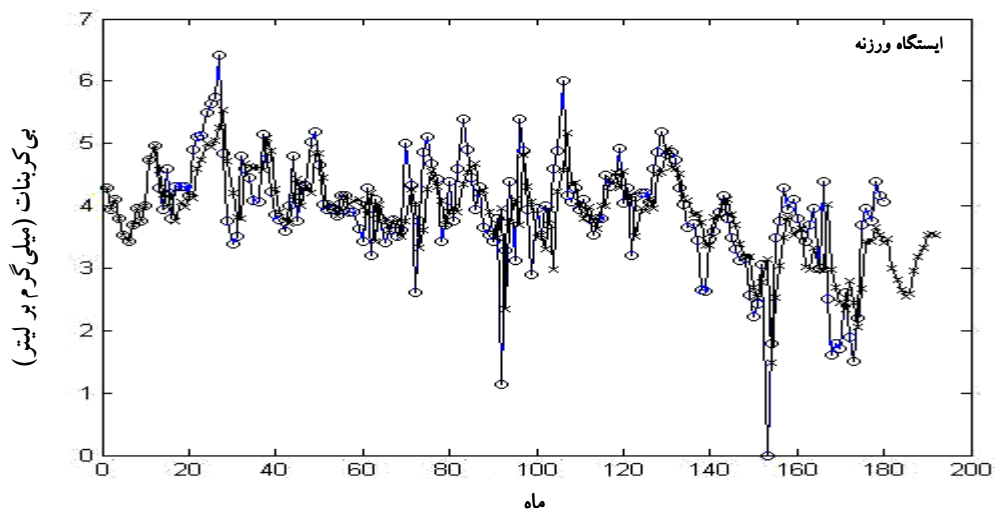
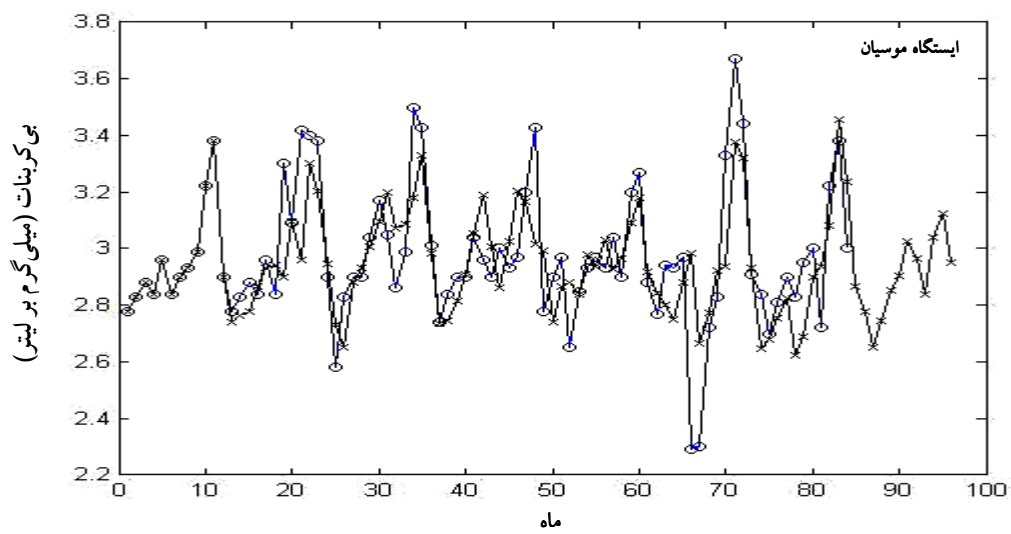
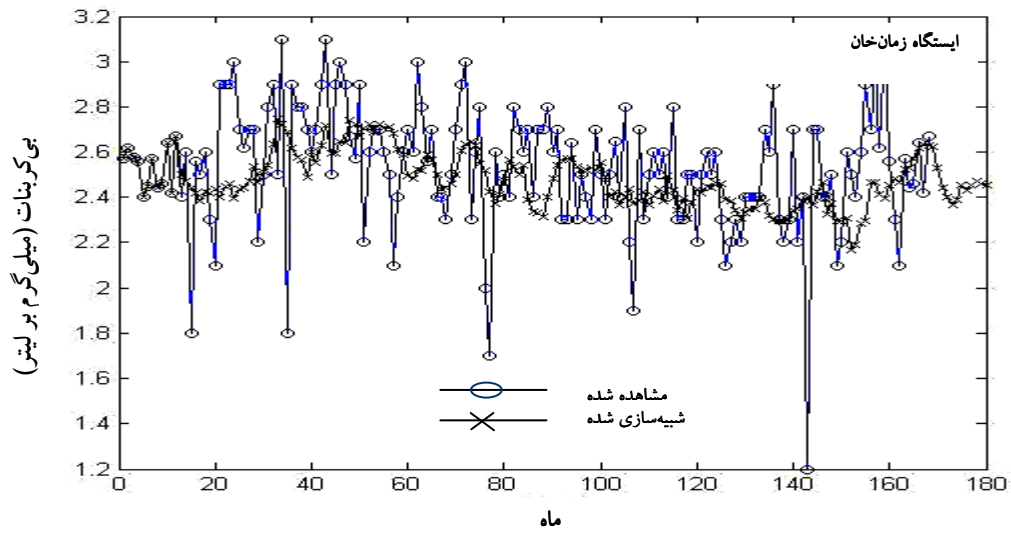
تغییرات غلظت کلراید مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در آب رودخانه زاینده‌رود در ایستگاههای مختلف در شکل ۶ ارائه شده است. حداکثر غلظت کلراید شبیه‌سازی شده در ایستگاههای ورزنه با غلظت ۵۱۵۸ میلی‌گرم بر لیتر و حداقل آن در ایستگاه زمان‌خان با غلظت ۶/۹ میلی‌گرم بر لیتر است. غلظت کلراید در ایستگاههای پل چوم، پل زیار (به علت تخلیه تصفیه‌خانه جنوب اصفهان که



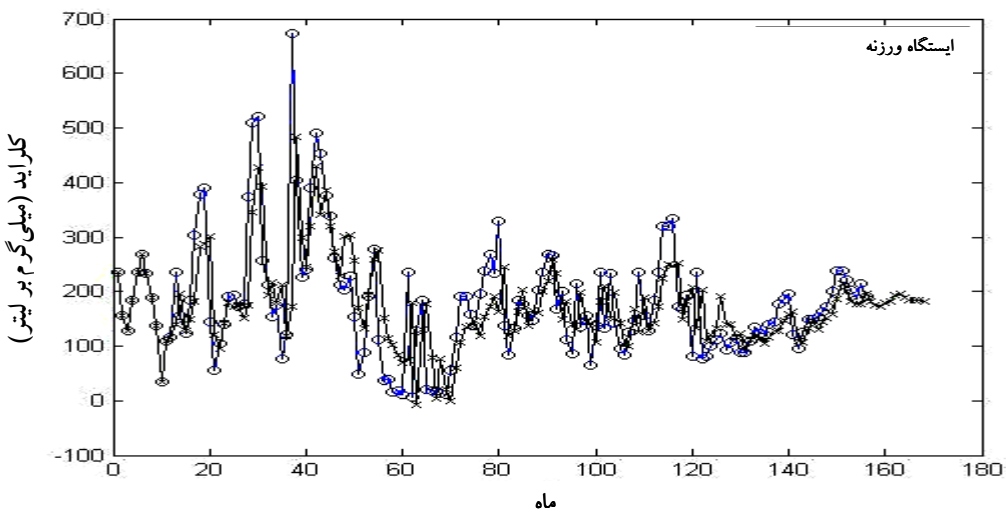
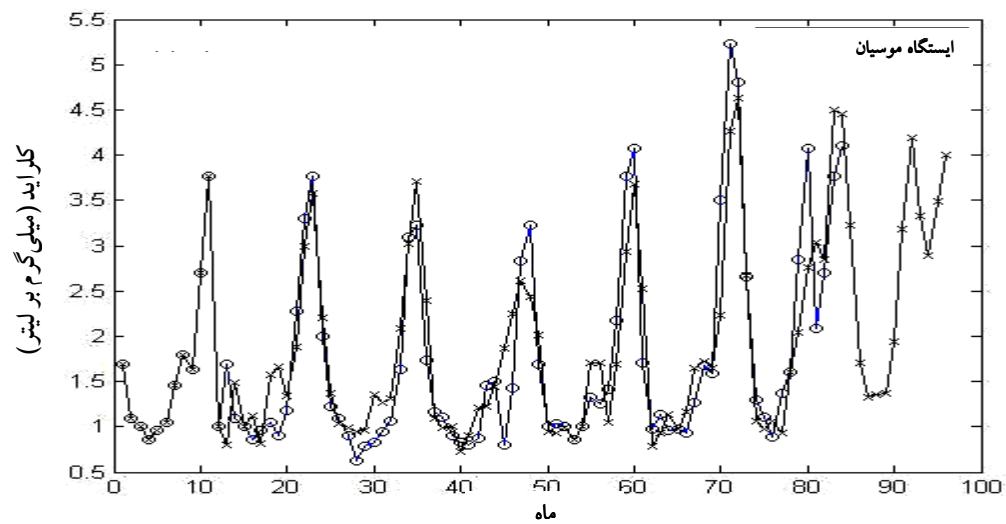
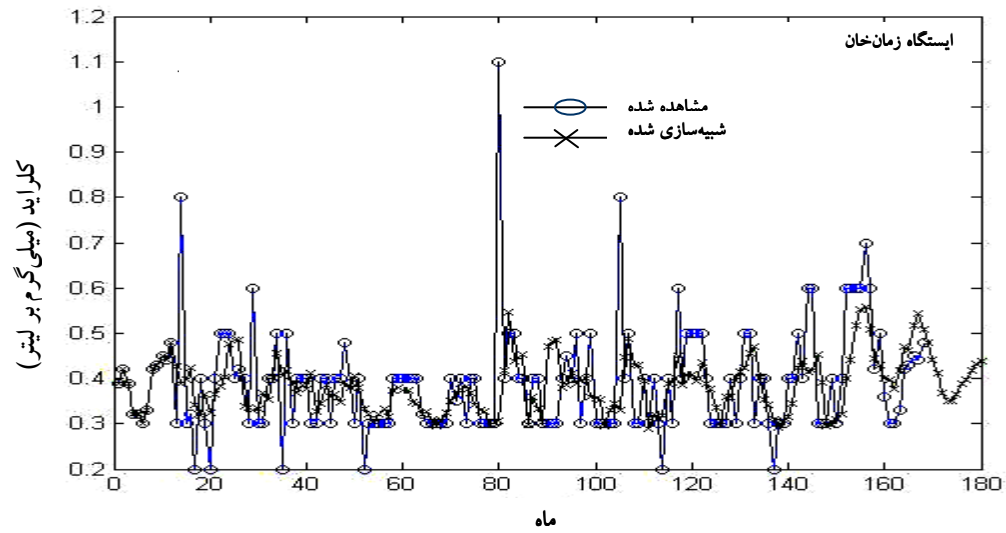
شکل ۳- تغییرات میزان کل جامدات محلول مشاهده و شبیه سازی شده در ایستگاههای زمان خان، موسیان و ورزنه



شکل ۴- تغییرات اسیدیته در ایستگاههای زمان‌خان، موسیان و ورزنه



شکل ۵- تغییرات بی‌کربنات در ایستگاههای زمان‌خان، موسیان و ورزنه



شکل ۶- تغییرات کلراید در ایستگاههای زمان‌خان، موسیان و روزه

قسمتی از آن، تصفیه ناقص دارد) زیاد شده و در ایستگاه ورزنه به حداکثر خود می‌رسد. معمولاً حداکثر غلظت کلراید همراه با حداکثر غلظت سدیم می‌باشد که باعث شوری آب رودخانه می‌گردد. با توجه به حداکثر غلظت مجاز کلراید در آب آشامیدنی (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، غلظت کلراید در ایستگاه ورزنه بیشتر از حد استاندارد است [۲۵]. از نظر آبیاری نیز با توجه به محدودیت شدید برای غلظتهای بیشتر از ۳۵۵ میلی‌گرم در لیتر برای آبیاری سطحی، استفاده از آب ایستگاه ورزنه برای آبیاری باعث ایجاد سمیت در گیاه می‌شود. در پیش‌بینی‌های شبکه عصبی این افزایش غلظت از ایستگاه لنج شروع شده و در دو ایستگاه پل زیار و پل چوم این افزایش غلظت بسیار بیشتر از سایر ایستگاهها بوده و در ورزنه نیز به حداکثر خود می‌رسد. البته رفتار این عنصر بیشتر شبیه به چند سال پیش خود بوده (سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰) و کمتر از میزان موجود در سال گذشته (۱۳۸۱) می‌باشد. نتایج مقایسه مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای کلراید در جدول ۹ نشان داده شده است. مقدار d بین ۰/۶۶ تا ۰/۹۸ متغیر بوده و متوسط آن ۰/۹۲ می‌باشد. البته در تمام ایستگاهها به جز ایستگاه نکوآباد مقدار d بزرگتر از ۰/۹۵ می‌باشد. مقدار RMSE نیز بین ۳/۴۴ تا ۴۷/۳۸ در حال نوسان است که معدل آن ۳۰/۱۹ می‌باشد. مقدار MAE بین ۰/۰۲ تا ۳۱/۸۲ بوده و معدل آن ۳/۶۷ می‌باشد. به‌طور کلی زیاد بودن مقدار MAE به خاطر ایستگاه ورزنه است که در این ایستگاه مقدار آن خیلی زیاد (۳۱/۸۲) شده و به همین دلیل میانگین را تحت تأثیر قرار داده و صرف‌نظر از این ایستگاه در سایر ایستگاهها پیش‌بینی در حد خوبی صورت گرفته است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌های موجود و غلظت پارامترهای شبیه‌سازی شده در طول رودخانه زاینده‌رود برای ایستگاههای پل کله، لنج، موسیان، نکوآباد، پل زیار و پل چوم کیفیت در حد قابل قبولی بوده ولی در

#### ۷- مراجع

- ۱- چالکش امیری، م. (۱۳۷۸). اصول تصفیه آب، انتشارات ارکان، ۴۴۲.
- ۲- ابوالقاسمی رحیم‌آبادی، ع. (۱۳۷۸). "شناخت و بررسی تأثیر منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از مدل QUAL2E". پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۳- پور مقدس، ح. (۱۳۷۹). نتایج حاصل از مطالعات سال‌های گذشته (سنتز) مدیریت زیست محیطی منابع آب، اداره کل حفاظت محیط زیست اصفهان، ۱۲۱.

4- Salemi, H. R., Mamanpoush, A., Miranzadeh, M., Akbari, M., Torabi, M., Toomanian, N., Murray-Rust, H., Droogers, P., Salley, H., and Gieske, A. (2000). *Water management for sustainable irrigated agriculture in the Zayandeh Rood river basin, Esfahan province, Iran*, Research Report No. 1, IAERI-EARC-IWMI.

ایستگاه ورزنه کیفیت آب به شدت تخریب می‌گردد. به علت برداشت بیش از حد آب از رودخانه برای مصارف کشاورزی، قبل از رسیدن رودخانه به ایستگاه ورزنه رودخانه تقریباً خشک می‌شود، زهکش اراضی کشاورزی نیز رودخانه بوده و در اطراف ایستگاه ورزنه زهکشهای کشاورزی منطقه، پسابها را وارد رودخانه کرده و آلودگی بسیار بالا با دبی کمی (حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ لیتر در ثانیه) را باعث می‌شوند. لذا در مقایسه پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه در ایستگاه ورزنه با سایر ایستگاهها اختلاف زیادی مشاهده می‌گردد. پیش‌بینی‌های کیفیت آب توسط شبکه عصبی برای پارامترهای مختلف کیفیت آب صورت گرفته و معیارهای آماری محاسبه شده (d, RMSE و MAE) بیانگر مناسب بودن این پیش‌بینی می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده توسط پیش‌بینی‌های شبکه عصبی، داده‌های هدایت الکتریکی افزایش نسبی را از خود نشان داده و این روند افزایشی در مورد میزان کل جامدات محلول نیز صادق است. در مورد بی‌کربنات روند کلی تقریباً همانند سالهای گذشته بوده و برابر با میانگین درازمدت می‌باشد. در مورد کلراید روند افزایشی به خصوص در ایستگاههای بالادست وجود دارد و این روند در ایستگاههای پایین دست به میانگین درازمدت آنها شبیه است. به‌طور کلی می‌توان این‌گونه عنوان کرد که پیش‌بینی‌های کیفیت آب توسط شبکه عصبی برای پارامترهای هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، اسیدیته و بی‌کربنات در حد خیلی خوب و برای کلراید در حد خوبی صورت گرفته است.

#### ۶- قدردانی

از کارشناسان محترم اداره کل حفاظت محیط‌زیست اصفهان و سازمان آب منطقه‌ای اصفهان به ویژه آقای اسدالله ذهب صنیعی برای در اختیار گذاشتن برخی از داده‌های مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌گردد.



- ۵- ذهب صنیعی، ا. (۱۳۷۸). بررسی خلاصه آمار کیفیت آب زاینده‌رود، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۵۱.
- 6- Droogers, P., Akbari, M., Torabi, M., and Pazira, E. (2000). *Exploring field scale salinity using simulation modeling, Example for Rudasht area, Esfahan province, Iran*, Research Report No. 2, IAERI-EARC-IWMI.
- ۷- ممتازپور، م. (۱۳۷۴). "تشریح ویژگی‌های حوضه زاینده‌رود." مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۶۷-۱۷۹.
- ۸- ابریشم چی، ا. (۱۳۷۳). "مدل‌های ریاضی کیفیت آب رودخانه‌ها." نشریه آب و توسعه، ۳، ۶۵-۷۴.
- ۹- البرزی، م. (۱۳۸۰). *آشنایی با شبکه‌های عصبی*، چاپ اول، مؤسسه انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷.
- ۱۰- کلباسی، م.، و موسوی، ف. (۱۳۷۴). "مطالعه هفت ساله تغییرات ازت معدنی، فسفر، هدایت الکتریکی و پ-هایش در آب زاینده‌رود." مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۷۵-۸۵.
- ۱۱- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان. (۱۳۸۱). *آمارنامه استان اصفهان*، ۳۴۲.
- ۱۲- منهای، م. (۱۳۸۰). *مبانی شبکه‌های عصبی*، چاپ دوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جلد اول، ۷۱۵.
- 13- Gandolfi, C., Facchi, A., and Whelan, M. J. (2001). "On the relative role of hydrodynamic dispersion for river water quality." *Water Resources Research*, 37(9), 2365-2375.
- 14- Kim, G., and Barros, A. P. (2001). "Quantative flood forecasting using multisensor data and neural networks." *Journal of Hydrology*, 246(1), 45-62.
- ۱۵- میثاقی، ف.، و محمدی، ک. (۱۳۸۳). "پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی." *دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک*، دانشگاه شیراز، ۲۱۳-۲۲۲.
- 16- Lin, H., and Wang, S. (2001). *GIS supported modeling water quality using artificial neural networks (ANNs) in the tomorrow/ Waupaca river watershed*, College of Natural Resources, University of Wisconsin.
- 17- Maier, H. R., and Dandy, G. C. (1996). "The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters." *Water Resources Research*, 32(4), 1013-1022.
- 18- Maier, H. R., and Dandy, G. C. (2000). "Artificial neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: A review of modeling issues and applications." *Environmental Modeling and Software*, 15, 101-124.
- 19- Rounds, S. A. (2002). "Development of a neural network model for dissolved oxygen in the Tualatin river, Oregon." *The Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, Las Vegas, NV, 245-258.
- 20- Sandhu, N., and Finch, R. (1995). *Methodology for flow and salinity estimation in the Sacramento-San Joaquin Delta and Suisun Marsh*, Chapter 7: *Artificial neural networks and their applications*, 16<sup>th</sup> Annual Progress Report, New York, 85.
- 21- Tang, Z., and Fishwick, P. A. (1991). "Time series forecasting using neural networks vs Box-Jeninkis." *Methodology Simulation*, 57(5), 203-210.
- 22- Zhang, Y., Pulliann, J., Koponen, S., and Hallikainen, M. (2002). "Application of an empirical neural network to surface water quality estimation in the Gulf of Finland using combined optical data and microwave data." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 87, 327-336.
- 23- Ha, H., and Stenstorm, M. K. (2003). "Identification of land use with water quality data in storm water using a neural network." *Water Research*, 37(3), 4222-4230.
- 24- Walley, W. J., and Fontana, V. N. (1998). "Neural network prediction of average scope per taxon and number of families at unpolluted river sites in Great Britain." *Water Resources Research*, 32(3), 613-622.
- ۲۵- بازرگان لاری، ع. (۱۳۷۸). *آمار کاربردی*، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه شیراز، ۲۸۴.