

## پیش‌بینی شوری آب زیرزمینی زیر لوله‌های زهکش با استفاده از شبکه عصبی

حامد نوذری<sup>۱\*</sup>، سعید آزادی<sup>۲</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰	آگاهی از شوری لایه‌های خاک زیر زهکش‌ها بویژه در مناطقی با آب زیرزمینی کم عمق و شور مانند خوزستان منجر به انتخاب و طراحی بهترین عمق و فاصله زهکش می‌شود. در تحقیق حاضر کاربرد روش شبیه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی روند تغییرات شوری آب زیرزمینی زیر لوله‌های زهکش آزموده شد. به منظور واسنجی و اعتباریابی نتایج مدل از داده‌های جمع‌آوری شده از یک مدل آزمایشگاهی با ابعاد ۱/۸ در ۱ در ۱/۲ متر استفاده گردید. در این مدل زهکش‌ها در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری و در هر عمق در سه فاصله ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ سانتی‌متری نصب شدند. در روش شبکه عصبی مصنوعی از الگوریتم آموزش لوبنبرگ - مارکوارت با تابع انتقال سیگموئید، استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل آماری و محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد و ضریب همبستگی میزان برازش میان مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده تغییرات شوری آب زیرزمینی محاسبه شد. مقدار این شاخص‌ها به ترتیب ۵/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۱۲ و ۰/۹۶ برآورد گردید. مقادیر این شاخص‌ها برای شوری خروجی از زهکش‌ها در اعماق و فواصل مختلف نسبت به زمان و با دبی‌های ۰/۰۷، ۰/۱۱ و ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر با ۰/۳۴ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۰۹ و ۰/۹۹ می‌باشد. نتایج نشان داد روش شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی روند تغییرات شوری آب زیرزمینی زیر لوله‌های زهکش و همچنین روند تغییرات شوری زه‌آب خروجی در اعماق و فواصل مختلف زهکش‌ها از دقت خوبی برخوردار است.
پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۵	
<b>واژگان کلیدی:</b> زه‌آب، زهکش زیرزمینی، شبیه‌سازی، مدل آزمایشگاهی.	

## ۱- مقدمه

شوری خاک یکی از مسایل اصلی در مناطق خشک و نیمه خشک با تراز سطح آب کم عمق می‌باشد که تحت تاثیر اقلیم، نوع خاک، نوع گیاه، کیفیت آب آبیاری، نوع مدیریت اعمال شده در آبیاری، تراز سطح آب و شوری آب زیرزمینی قرار دارد. لذا به منظور بهره‌برداری مفید از اراضی کشاورزی، که تحت کشت آبی قرار دارند و اغلب فاقد سیستم زهکشی مناسب می‌باشند، تقویت و احداث سیستم‌های زهکشی امری ضروری است. لازم به ذکر است اگر چه این سیستم امکان تولید زراعی در خاک‌های شور و مرطوب را فراهم می‌نماید، اما با انتقال آلاینده‌های موجود در خاک و آب زیرزمینی به آب‌های سطحی، باعث تخریب برخی از زیست بوم‌های آبی می‌شود. بنابراین در طراحی پارامترهای

زهکشی (عمق و فاصله زهکش‌ها) باید معیار زیست محیطی مورد توجه قرار گیرد.

در طراحی معمول زهکشی، عمق زهکش با یک تخمین تجربی و مهندسی و فاصله زهکش با تعیین ضریب زهکشی با استفاده از بیلان آب و قرار دادن عمق تجربی برای زهکش در معادله مورد نظر بدست می‌آید. بدین ترتیب یک آرایش برای عمق و فاصله زهکشی تعیین می‌شود. از آنجا که عمق و فاصله زهکش به هم وابسته بوده و اثر متقابل روی یکدیگر دارند بنابراین تعیین همزمان آن می‌تواند به طراحی مناسب‌تری منجر شود [۱]. عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی از عوامل مهم در عملکرد سیستم‌های زهکشی و اثرات زیست محیطی این طرح‌ها می‌باشد. در مناطقی با آب شور کم عمق، افزایش عمق نصب زهکش‌ها می‌تواند به

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: h.nozari@basu.ac.ir

۱. دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

مدل‌سازی شد. در این مدل کیفیت زه‌آب خروجی نیز با فرض اینکه شوری زه‌آب خروجی زهکش‌های زیرزمینی ناشی از املاح موجود در آب آبیاری و خاک قسمت فوقانی زهکش و املاح موجود در آب زیرزمینی زیر زهکش می‌باشد، مدل‌سازی شد [۶].

اصلانی و همکاران به کمک مدل آزمایشگاهی و یک مدل عددی، عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی را بر اساس کیفیت زه‌آب خروجی برآورد کردند [۷]. رضی و همکاران به بررسی آزمایشگاهی تاثیر عمق نصب زهکش بر شوری زه‌آب خروجی از نیم‌رخ خاک رس سیلتی پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بیشینه هدایت الکتریکی آب خروجی با افزایش عمق نصب زهکش‌ها افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین شوری خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری به ترتیب برابر ۴۳/۱، ۵۵/۶ و ۱۳۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. در نتیجه می‌توان با کاهش عمق نصب زهکش‌ها باعث بهبود کیفیت آب خروجی و کاهش مقدار آن شد [۸].

از سوی دیگر شبکه عصبی مصنوعی (ANN) روشی با قابلیت یادگیری، قابلیت فهم، تسلط بر روابط و مقاومت در برابر خطا می‌باشد. امروزه روش‌های جعبه سیاه هوش مصنوعی به عنوان توابع خودساز و خود یادگیر، قابلیت وسیعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی مسایل پیچیده دارند. از جمله روش‌های هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک است که در علوم مهندسی آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در موارد زیادی به ویژه زمانی که روابط فیزیکی کاملاً شناخته شده نمی‌باشد به کار گرفته می‌شود. این روش نیازی به دانستن فرآیند پدیده ندارد و زیر مجموعه‌ی روش‌های جعبه سیاه است. این روش در اصل یک مدل غیرخطی است و می‌تواند متغیرهای زمانی را نیز دخالت دهد.

بورتن و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تبخیر روزانه از تشت را تخمین زدند. داده‌های ورودی شامل بارندگی، درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی بود. نتایج آنها نشان داد که تبخیر از تشت برآورد شده با شبکه عصبی مصنوعی دارای کمترین خطا نسبت به روش‌های استفاده شده‌ی دیگر است [۹].

همچنین با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل WEAP فرسایش خاک و رواناب برآورد شد. نتایج حاکی از آن بود که شبکه عصبی مصنوعی توانمندتر و برتر از مدل

افزایش نمک خروجی از زهکش‌های زیرزمینی منجر شود. کاهش عمق نصب زهکش‌ها نیز پیامدهایی مانند ماندابی شدن، تجمع نمک در ناحیه ریشه و کاهش عملکرد گیاه را در پی دارد [۲].

وسترم و همکاران اثرات زهکشی کنترل‌شده را در هیدرولوژی و محیط زیست مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه که طی دو سال در جنوب سوئد انجام شده سیستم زهکشی کنترل شده و زهکشی زیر سطحی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که در زهکشی کنترل‌شده حجم نیتروژن در جریان خروجی زهکش ۷۸ درصد در سال اول و ۹۴ درصد در سال دوم و حجم فسفر ۵۸ درصد در سال اول و ۸۵ درصد در سال دوم کمتر از زهکشی زیر سطحی بوده است [۳].

همچنین در تحقیقی که در استرالیا انجام شد دو سیستم زهکشی چند سطحی و تک سطحی از لحاظ کیفیت زه‌آب خروجی با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که سیستم زهکشی چند سطحی شستشوی سریع‌تری را از ناحیه ریشه بدون افزایش نمک خروجی از زهکش فراهم می‌کند. از طرف دیگر شوری زه‌آب در زهکش‌های کم عمق نسبت به زهکش‌های عمیق بسیار کمتر بوده است که نشان‌دهنده افزایش شوری خاک با عمق است [۴].

در تحقیقی که در مزارع طرح توسعه نیشکر واحد امیرکبیر خوزستان انجام شد، محققین نشان دادند که شوری خاک بالای لوله‌های زهکش با آب آبیاری به تعادل رسیده و تقریباً حدود دو برابر شوری آب آبیاری می‌باشد لذا اظهار داشتند که شوری بالای زه‌آب خروجی تنها می‌تواند در اثر شوری آب زیرزمینی منطقه باشد [۵].

در مناطق خشک و نیمه‌خشک با تراز سطح ایستابی کم عمق مانند خوزستان، زه‌آب خروجی در مقایسه با آب آبیاری، شوری بسیار بالاتری دارد. لذا مدیریت این گونه زه‌آب‌ها به منظور استفاده مجدد در بالا بردن بهره‌وری آب و به حداقل رساندن اثرات مخرب آنها بر تولیدات گیاهی، حاصلخیزی خاک و محیط‌زیست، امری حیاتی و ضروری می‌باشد. به منظور اعمال مدیریت صحیح روی زه‌آب‌های تولید شده باید کمیت و کیفیت آنها در طول بازه مدیریتی تعیین گردد.

همچنین با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم تراز سطح آب و شدت زه‌آب خروجی از اراضی مجهز به سیستم زهکش زیرزمینی را در شرایط غیرماندگار به طور کامل

عصبی مصنوعی در بررسی پارامترهای کیفی آب رودخانه بود [۱۵].

با در نظر گرفتن این ویژگی‌ها و توانایی‌های منحصر به فرد شبکه‌های عصبی، این روش‌ها می‌توانند به عنوان روش‌های توانا و سودمند در مسایل مختلف مهندسی مانند مطالعات سیستم آب و خاک به کار گرفته شوند.

در تحقیق حاضر، هدف بررسی توانایی روش شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی سیستم آب و خاک در حضور لوله‌های زهکش و پیش‌بینی تغییرات شوری آب زیرزمینی زیر لوله‌های زهکش نسبت به زمان، با توجه به فاصله و عمق نقاط مورد نظر نسبت به محل نصب لوله‌های زهکش می‌باشد. یکی دیگر از اهداف این تحقیق بررسی روند تغییرات شوری زه‌آب به کمک روش شبکه عصبی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- شبکه عصبی مصنوعی

در تحقیق حاضر، ترکیب مختلف شبکه عصبی مصنوعی با تعداد لایه‌ها و نرون‌های متفاوت با یکدیگر مقایسه شدند و پس از مقایسه، بر مبنای معیارهای خطا سنجی، شبکه عصبی مصنوعی با معماری بهینه انتخاب شد. پس از تعیین تعداد لایه و تعداد نرون‌های بهینه هر لایه، از توابع انتقالی مختلفی شامل تانژانت هایپربولیک، تانژانت هایپربولیک خطی، سیگموئید، سیگموئید خطی، بایاس، خطی، آکسون، سافت ماکس و همچنین الگوریتم‌های یادگیری لوبنبرگ مارکواریت، دلتا بار دلتا، کوئیک پراپ، گرادیان مزدوج، مونتوم و مرحله‌ای برای معماری شبکه استفاده گردید. پس از طراحی شبکه، تعداد تکرارهای متفاوت جهت انتخاب بهترین تعداد تکرار که در کمترین زمان، بهترین نتیجه را بدهد مورد آزمون قرار گرفت. پس از اینکه اجزای مناسب شبکه انتخاب گردید، در نهایت دقت مدل مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۲-۲- آمار و اطلاعات

آمار و اطلاعات مورد نیاز جهت ارزیابی مدل به کمک یک مدل فیزیکی که در آزمایشگاه هیدرولیک گروه آب دانشگاه بوعلی سینا طراحی و ساخته شده است جمع‌آوری گردید. این مدل به صورت محفظه‌ای مکعب شکل به ابعاد ۱/۸ متر طول، ۱ متر عرض و ۱/۲ متر ارتفاع می‌باشد (شکل (۱)). به منظور تعیین موقعیت سطح ایستابی در خاک و همچنین تعیین شوری هر لایه از خاک، شبکه‌ای از پیزومتر به فواصل

WEEP میباشد [۱۰].

آذرنوش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل Drainmod به مدل‌سازی تغییرات سطح ایستابی در خاک پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با تعداد داده کمتر و سرعت بیشتر همان نتایج مدل Drainmod را با کمی دقت بیشتر ارائه می‌دهد و با توجه به هزینه محاسبات کمتر، سرعت بالاتر و تعداد داده مورد نیاز کمتر، میتوان نتایج آن را قابل قبول در نظر گرفت [۱۱].

در تحقیقی از شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی در سواحل جنوبی استان مازندران استفاده شد. مقادیر کمی عوامل موثر در شوری آب زیر زمینی شامل قابلیت انتقال تشکیلات آب‌خوان، شوری آب های سطحی، توپوگرافی منطقه و فاصله از دریا برآورد گردید. نتایج نشان داد که در بهترین ساختار شبکه، ضریب همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر واقعی ۰/۷۵ می‌باشد [۱۲].

غلامی و همکاران به مقایسه عملکرد و کارایی دو روش رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی شوری آب زیرزمینی در استان مازندران پرداختند. نتایج حاکی از توانایی و کارایی مناسب شبکه عصبی مصنوعی در برآورد شوری آب زیرزمینی در مقایسه با روش رگرسیون چند متغیره می‌باشد [۱۳].

محققین امکان استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی را در پیش‌بینی سطح ایستابی و شدت تخلیه سیستم‌های زهکشی زیرزمینی مورد ارزیابی و مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، شبکه عصبی مصنوعی قادر است بدون نیاز به تعداد زیادی پارامتر ورودی، نوسان سطح ایستابی و شدت تخلیه سیستم زهکشی را با دقت مطلوبی پیش‌بینی نماید، لذا روش شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک راهکار مناسب می‌تواند در یک برنامه‌ریزی بلند مدت مدیریت سطح ایستابی منطقه مورد استفاده قرار بگیرد [۱۴].

سینگ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به بررسی کیفیت آب رودخانه‌ای در هند پرداختند. در این تحقیق تغییرات ماهانه دو پارامتر کیفی DO و BOD در ۸ ایستگاه مختلف طی دوره آماری ۱۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بین داده‌های اندازه گیری شده و شبکه عصبی مصنوعی بیانگر دقت خوب شبکه

زیرزمینی هم‌تراز لوله‌های زهکش شود. پس از آن آبیاری با شوری ۰/۳۲ دسی‌زیمنس بر متر از قسمت فوقانی مدل و به کمک سیستم آبیاری طراحی شده صورت می‌گرفت. به محض خروج زه‌آب از زهکش‌ها اندازه‌گیری دبی خروجی و نمونه‌برداری از زه‌آب‌ها شروع و تا زمانی که غلظت زه‌آب خروجی به یک حد ثابت (دو برابر شوری آب آبیاری) برسد، ادامه یافت. در تمام مدت آزمایش به کمک شبکه پیزومترهای نصب شده در اعماق و فواصل مختلف، شوری لایه‌های مختلف خاک نیز با فواصل زمانی ۵ الی ۱۰ دقیقه قرائت می‌شد. قسمت سمت چپ دیواره و کف مدل به عنوان نقطه مبنا و صفر در نظر گرفته شد. در هر آزمایش قرائت شوری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه EC متر انجام می‌گرفت. به منظور آماده‌سازی مدل برای آزمایش بعدی، عمل آشویی با آب آبیاری و با استفاده از دو شیر خروجی که در کف مدل نصب شده بود انجام می‌شد و آب‌شویی تا زمانی ادامه پیدا می‌کرد تا شوری خروجی از کف مدل با شوری آب آبیاری برابر شود.

سپس دبی آب آبیاری و یا عمق زهکش را تغییر داده و مراحل آزمایش برای شرایط جدید تکرار می‌شد. با توجه به سه عمق، فاصله و دبی مختلف، در مجموع ۲۷ آزمایش انجام شد و داده‌های آن مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر آزمایش نیز با توجه به عمق، فاصله، دبی و شبکه پیزومتری نصب شده نسبت به زمان، ۵۳۳ داده برداشت شد.

به منظور ارزیابی و اعتباریابی نتایج مدل نیز، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خطا (MSE) به صورت روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_m - Y_p)^2}{n}} \quad (1)$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_m - Y_p)^2}}{\bar{Y}_m} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum_{i=1}^n (Y_p - \bar{Y}_p)^2} \quad (3)$$

$$MSE = \frac{\sum (Y_m - Y_p)^2}{n} \quad (4)$$

عمودی ۱۰ سانتی‌متر و فاصله‌های افقی ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر در مدل نصب گردید. از لوله‌های خرطومی پلاستیکی به قطر ۳ سانتی‌متر و طول ۱۰۰ سانتی‌متر به عنوان لوله‌های زهکش زیرزمینی موج‌دار استفاده شد. لوله‌های مذکور در سه عمق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک در محل خود نصب شدند. طراحی فواصل زهکش‌ها به نحوی بود که بتوان در هر عمق، سه فاصله ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ سانتی‌متری را مورد آزمایش قرار داد. برای جلوگیری از مسدود شدن سوراخ لوله زهکش‌ها، از یک توری پلاستیکی به قطر منفذ ۱ میلی‌متر به عنوان پوشش اطراف لوله استفاده شد. برای انجام آبیاری در قسمت فوقانی مدل از یک سیستم آبیاری سطحی و جهت اندازه‌گیری دبی ورودی به سیستم نیز از روش حجمی استفاده شد. به منظور انجام آزمایشات از سه دبی ۰/۰۷، ۰/۱۱ و ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه به منظور آبیاری استفاده شد. برای ثابت نگه داشتن دبی ورودی، یک منبع با بار ارتفاعی ثابت طراحی و ساخته شد.



شکل ۱: شمای کلی از مدل آزمایشگاهی

به منظور بررسی کمیت و کیفیت زه‌آب و نمک خروجی و با توجه به این‌که مدت زمان طولانی لازم است تا شوری آب زیرزمینی به شوری آب آبیاری نزدیک شود، بنابراین در انجام آزمایش‌ها از خاکی با بافت شنی و با هدایت هیدرولیکی نسبتاً بالا استفاده شد. شوری آب زیرزمینی بالا گرفته شد به طوری که تفاوت زیادی با شوری آب آبیاری داشته باشد. به منظور انجام آزمایش‌ها، ابتدا عمق مورد نظر برای لوله‌های زهکش انتخاب شد، سپس به وسیله پمپ، آب با شوری ۶۵ دسی‌زیمنس بر متر از یک مخزن به کف مدل آزمایشگاهی به گونه‌ای پمپاژ می‌شد تا سطح آب

سیگموئید با یک لایه پنهان و تعداد نرون ۲۰ بود. باید خاطر نشان کرد که با افزایش تعداد نرون‌ها به بیش از ۲۰ نرون، تغییر محسوسی در نتایج حاصل نشد و تعداد نرون بهینه شبکه عصبی مصنوعی ۲۰ لحاظ شد. به همین ترتیب برای سایر الگوریتم‌های یادگیری و توابع آستانه همین منطق سازگار بود. همچنین از شبکه‌هایی با ۲ لایه پنهان نیز استفاده شد اما از آنجایی که نتایج آن تغییر محسوسی را نسبت به یک لایه پنهان نشان نداد. با توجه به اینکه افزایش تعداد لایه‌های پنهان فرآیند آموزش را کند می‌کند و احتمال گیر افتادن در کمینه‌های محلی را افزایش می‌دهد، بهترین حالت شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه پنهان گزارش شد.

برای بررسی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی، از شاخص‌های آماری  $SE$ ،  $RMSE$  و  $R^2$  استفاده شد. مقدار این شاخص‌های آماری در پیش‌بینی تغییرات شوری آب زیرزمینی در لایه‌های مختلف زیر لوله‌های زهکش و در اعماق و فواصل مختلف نصب زهکش به ترتیب برابر با ۵/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۱۲ و ۰/۹۶ می‌باشد.

با توجه به مقادیر این شاخص‌ها، میتوان انطباق بین نتایج شبیه‌سازی شده و واقعی را طبق روش شبکه عصبی مصنوعی در تحقیق حاضر خوب ارزیابی کرد.

در این روابط  $n$  تعداد روزهای دوره مورد مطالعه،  $Y_m$  مقادیر اندازه‌گیری شده در هر روز،  $Y_p$  مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از مدل،  $\bar{Y}_m$  میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و  $\bar{Y}_p$  میانگین داده‌های پیش‌بینی شده می‌باشد.

### ۳- نتایج و بحث

همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، در این تحقیق روش شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی تغییرات شوری آب زیرزمینی در لایه‌های مختلف زیر لوله‌های زهکش و در اعماق و فواصل مختلف نصب زهکش، مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای فاصله زهکش‌ها ( $L$ )، عمق نصب لوله‌های زهکش ( $W$ )، زمان ( $T$ )، فاصله افقی از دیواره مدل ( $X$ ) و فاصله عمودی از کف مدل ( $Y$ ) به عنوان پارامترهای ورودی مدل برگزیده شدند. جهت دستیابی به معماری بهینه شبکه عصبی مصنوعی، اجراهای زیادی صورت گرفت که از آن میان نتایج بهترین اجراها با معماری‌های مختلف در جدول ۱ ارایه شده است. آنچه که در جدول ۱ بیان شده است، بهترین نتایج شبکه‌ها با الگوریتم‌های یادگیری متفاوت می‌باشد. معماری برگزیده آن است که کمترین  $MSE$  و بالاترین  $R^2$  را داشته باشد. لذا بهترین الگو برای پیش‌بینی تغییرات شوری لایه‌های مختلف زیر زهکش‌ها، الگوریتم یادگیری لوبنبرگ مارکوارت و تابع آستانه

جدول ۱: نتایج مرحله آموزش روش شبکه عصبی مصنوعی برای تغییرات شوری لایه‌های مختلف خاک

$R^2$	MSE	معماری شبکه*	تابع آستانه	الگوریتم یادگیری
۰/۹۸	۰/۰۰۴۲	۱-۲۰-۵	سیگموئید	لوبنبرگ مارکوارت
۰/۹۷	۰/۰۰۵۶	۱-۲۲-۵	سیگموئید	گرادیان مزدوج
۰/۹۵	۰/۰۴۳۰	۱-۲۵-۵	تانژانت هایپربولیک	مرحله‌ای
۰/۹۶	۰/۰۳۶۰	۱-۲۰-۵	تانژانت هایپربولیک	مونتوم
۰/۹۴	۰/۰۴۶۰	۱-۲۶-۵	تانژانت هایپربولیک	کوئیک پراپ
۰/۹۶	۰/۰۴۰۰	۱-۲۰-۵	تانژانت هایپربولیک	دلتا بار دلتا

\* عدد سمت راست تعداد لایه پنهان، عدد وسط تعداد نرون و عدد سمت چپ تعداد ورودی‌های مدل می‌باشد.

جدول ۲: خطای آموزش و صحت‌سنجی برای تکرار مناسب

تکرار	خطای آموزش (MSE)	خطای صحت‌سنجی (MSE)
۹۰۰	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۳

جدول ۳: مقدار شاخص‌های آماری شبیه‌سازی تغییرات شوری آب زیرزمینی در فواصل مختلف از زهکش، نسبت به زمان

فاصله (cm)	عمق (cm)	X (cm)	Y (cm)	دبی (lit/s)	RMSE (ds/m)	SE	R <sup>2</sup>
۱۸۰	۲۰	۱۲۰	۷۵	۰/۱۴	۲/۲۵	۰/۱۱	۰/۹۷
۱۸۰	۴۰	۷۵	۴۵	۰/۱۴	۱/۹	۰/۰۸	۰/۹۸
۹۰	۶۰	۶۰	۳۵	۰/۱۱	۲/۶۲	۰/۱۰	۰/۹۷
۶۰	۴۰	۴۵	۵۵	۰/۰۷	۳/۶۷	۰/۰۹	۰/۹۸

جدول ۴: مقدار شاخص‌های آماری شبیه‌سازی تغییرات شوری خروجی از زهکش‌ها با دبی ثابت ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه نسبت به زمان

فاصله (cm)	عمق (cm)	X (cm)	Y (cm)	RMSE(ds/m)	SE	R <sup>2</sup>
۶۰	۲۰	۳۰	۸۵	۰/۳۲۸	۰/۰۸۸	۰/۹۹۵
	۴۰		۶۵	۰/۱۸۹	۰/۰۳۸	۰/۹۹۹
	۶۰		۴۵	۱/۰۱۴	۰/۱۴	۰/۹۸۷
۹۰	۲۰	۴۵	۸۵	۰/۴۳۹	۰/۱۰۵	۰/۹۹۳
	۴۰		۶۵	۰/۲۴۸	۰/۰۳۷	۰/۹۹۸
	۶۰		۴۵	۰/۳۰۴	۰/۰۳۴	۰/۹۹۹
۱۸۰	۲۰	۹۰	۸۵	۰/۹۰۸	۰/۱۹۸	۰/۹۸
	۴۰		۶۵	۰/۵۲۸	۰/۰۷۶	۰/۹۹۶
	۶۰		۴۵	۰/۴۶۶	۰/۰۴۷	۰/۹۹۸

زهکش را در نظر گرفته و به کمک مدل تغییرات شوری این نقاط نسبت به زمان شبیه‌سازی شد و مقادیر مشاهده ای و شبیه‌سازی شده با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. شکل (۳) نتایج مربوط به تعدادی از پیژومترها را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. مقادیر شاخص‌های آماری RMSE، SE و  $R^2$  مربوط به این شکل نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که ذکر گردید لوله‌های زهکش زیرزمینی در مدل آزمایشگاهی در سه عمق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک و سه فاصله ۶۰، ۹۰ و ۱۸۰ سانتی‌متری در محل خود نصب شدند. همچنین از سه دبی ۰/۰۷، ۰/۱۱ و ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه به منظور آبیاری استفاده شد. در این قسمت عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی روند تغییرات شوری زه‌آب خروجی در اعماق و فواصل مختلف نسبت به زمان، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه نتایج شبیه‌سازی تغییرات شوری خروجی از زهکش‌ها با دبی ثابت ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه در اعماق و فواصل مختلف نسبت به زمان در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین مقدار شاخص‌های آماری RMSE، SE و  $R^2$  نیز در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج درخشان و همکاران [۱۲] و غلامی

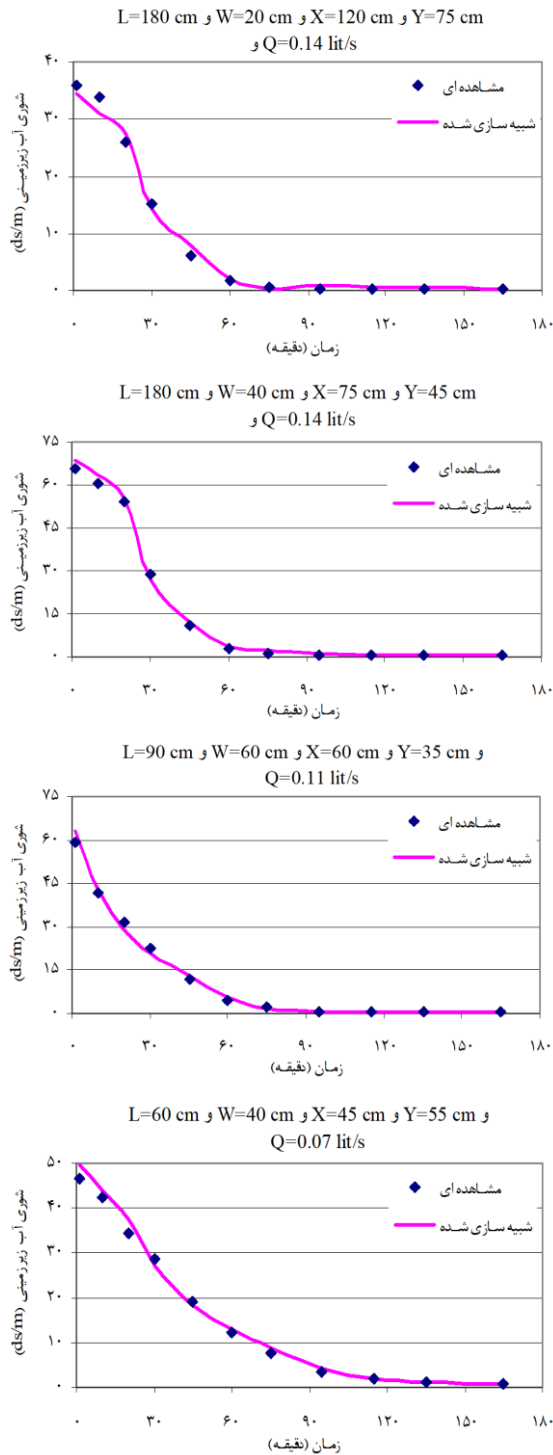
یکی دیگر از مواردی که در دقت و سرعت مدل تاثیرگذار است، انتخاب مناسب تعداد تکرارهای شبکه است. بهترین تکرار، تکراری است که کمترین خطای MSE را داشته باشد. در این تحقیق نیز جهت انتخاب بهینه تعداد تکرارها، تکرارهای مختلف آزمون شدند و نهایتاً تعداد تکرار ۹۰۰، برای شبکه حاصل گردید. مقادیر خطای آموزش و صحت‌سنجی برای تعداد تکرار بهینه در جدول ۲ ارائه شده است.

### ۳-۱- بررسی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی

به منظور بررسی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی، عملکرد مراحل مختلف آموزش شبکه و مقایسه‌ی نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی در شکل (۲) ارائه شده است. در این شکل، نمودارهای مرحله آموزش (شامل ۶۰ درصد کل داده‌ها)، صحت‌سنجی (شامل ۲۰ درصد کل داده‌ها) و آزمون (شامل ۲۰ درصد کل داده‌ها)، در برابر داده‌های آزمایشگاهی ارائه شده‌اند. ارائه این نمودارها جهت آگاهی جزئیتر از مراحل عملکرد شبکه عصبی و همچنین توانایی بررسی دقیق‌تر نحوه‌ی آموزش شبکه می‌باشد.

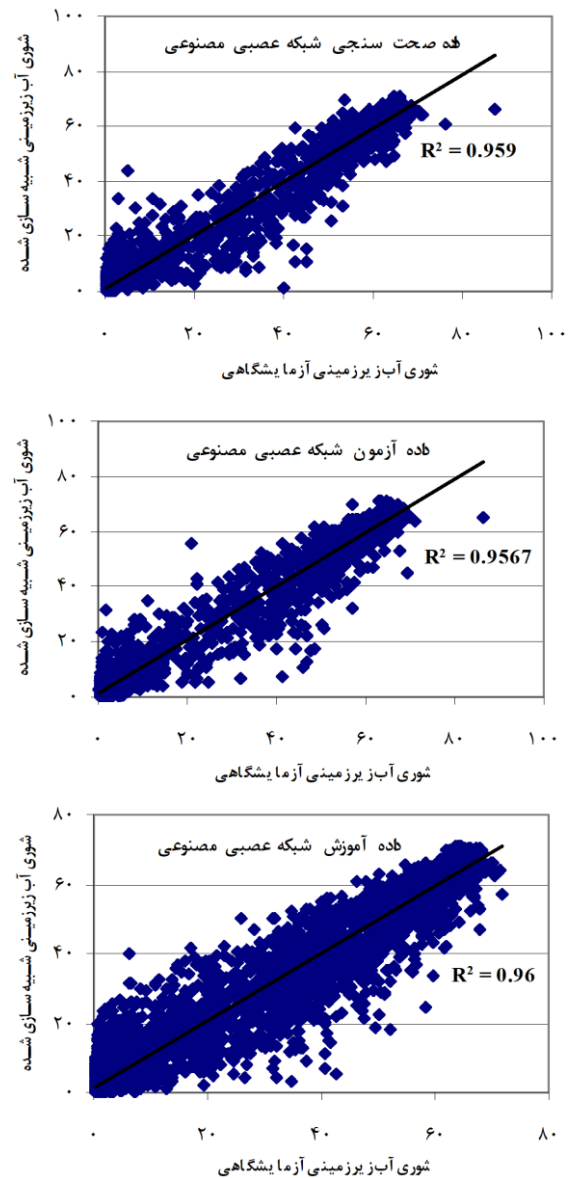
همچنین به منظور بررسی عملکرد مدل، داده‌های مشاهده ای مربوط به تعدادی از پیژومترها با فاصله مشخص از

شوری خروجی از زهکش‌ها را در تحقیق حاضر بسیار خوب ارزیابی نمود. لازم به ذکر است که در مطالعات پیشین که توسط محققین مختلف صورت گرفته است، کاربرد شبکه عصبی در سیستم آب و خاک مناسب اعلام شده است [۱۲] و [۱۳].



شکل ۳: مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای شوری آب زیرزمینی در فواصل مختلف از زهکش، نسبت به زمان

و همکاران [۱۳] در مدل‌سازی شوری آب زیرزمینی نیز حاکی از توانایی روش شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی می‌باشد.

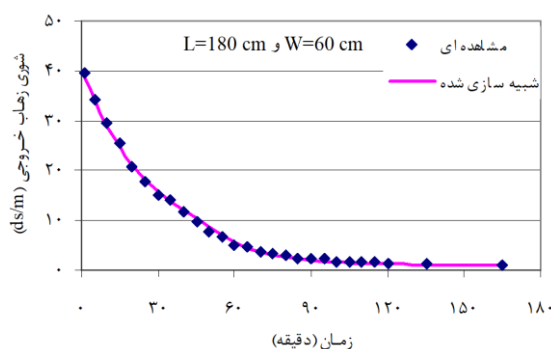
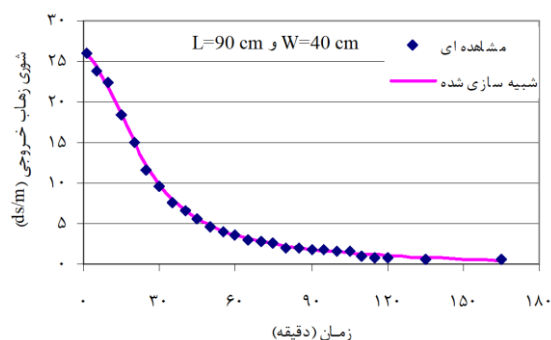
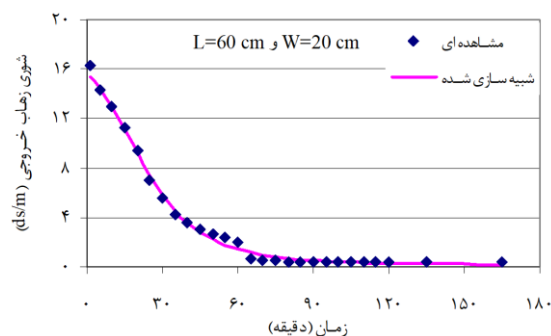


شکل ۲: شوری آب زیرزمینی زیر لوله‌های زهکش در مراحل مختلف فعالیت شبکه عصبی و مقادیر آزمایشگاهی (دسی زیمنس بر متر)

مقدار میانگین شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد و ضریب تبیین حاصل از شبیه‌سازی تغییرات شوری خروجی از زهکش‌ها در اعماق و فواصل مختلف نسبت به زمان و با دبی‌های ۰/۰۷، ۰/۱۱ و ۰/۱۴ لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر با ۰/۳۴ دسی زیمنس بر متر، ۰/۰۸۹ و ۰/۹۸۸ می‌باشد. با توجه به مقادیر این شاخص‌ها می‌توان انطباق بین نتایج شبیه‌سازی شده و واقعی تغییرات

تبیین محاسبه گردید. مقدار این شاخص‌ها در روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر با  $5/27$  دسی‌زیمنس بر متر،  $0/12$  و  $0/96$  برآورد گردید. لذا با توجه به این نتایج می‌توان گفت روش شبکه عصبی مصنوعی، در پیش‌بینی تغییرات شوری آب زیرزمینی در لایه‌های مختلف زیر لوله‌های زهکش و در اعماق و فواصل مختلف نصب زهکش، از دقت خوبی برخوردار است. همچنین عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی روند تغییرات شوری خروجی از زهکش‌ها در اعماق و فواصل مختلف نسبت به زمان و با دبی‌های  $0/07$ ،  $0/11$  و  $0/14$  لیتر بر ثانیه، مورد بررسی قرار گرفت. مقدار میانگین شاخص‌های آماری  $SE$ ،  $RMSE$  و  $R^2$  به ترتیب برابر با  $0/34$  دسی‌زیمنس بر متر،  $0/089$  و  $0/988$  می‌باشد که دقت بسیار خوبی را نسبت به شرایط واقعی نشان می‌دهد.

از قابلیت مدل تهیه شده در این تحقیق علاوه بر شناسایی الگوها بین متغیرهای ورودی و خروجی، می‌توان به سرعت بالا در محاسبات موازی، قابلیت حذف نویز، مقاومت در برابر تغییر پارامترها و قابلیت تعمیم اشاره کرد.



شکل ۴: شبیه‌سازی تغییرات شوری خروجی از زهکش‌ها با دبی ثابت  $0/14$  لیتر بر ثانیه نسبت به زمان

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی روند تغییرات شوری لایه‌های خاک زیر زهکش‌ها، با وجود زهکش‌های زیرزمینی و تخلیه زه‌آب بوسیله آن‌ها در اعماق و فواصل مختلف استقرار لوله‌های زهکش شبیه‌سازی شد. در این روش، از پنج پارامتر فاصله زهکش‌ها ( $L$ )، عمق نصب لوله‌های زهکش ( $W$ )، زمان ( $T$ )، فاصله افقی از دیواره مدل ( $X$ ) و فاصله عمودی از کف مدل ( $Y$ ) به عنوان پارامترهای ورودی به مدل استفاده شد. به منظور واسنجی و اعتباریابی نتایج مدل از داده‌های جمع‌آوری شده از یک مدل آزمایشگاهی با ابعاد  $1/8$  در  $1$  در  $1/2$  متر استفاده گردید. میزان برازش میان مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده تغییرات شوری آب زیرزمینی زیر زهکش‌ها، با محاسبه شاخص‌های آماری  $RMSE$ ، خطای استاندارد و ضریب



## ۵- مراجع

- [۱] مریم نوابیان، عبدالمجید لیاقت، "طراحی بهینه سیستم‌های زهکشی بر اساس مسایل زیست محیطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت، ۱۳۸۵.
- [۲] بیژن نظری، عبدالمجید لیاقت، مسعود پارس‌نژاد، عبد علی ناصری، "بهینه‌سازی عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی با ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی"، پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶ آبان ۱۳۸۷.
- [3] I. Wesström, I. Messing, H. Linnér, J. Lindström, "Controlled drainage-effects on drain outflow and water quality", *Agricultural water management*, Vol. 47, 2001, pp. 85-100.
- [4] J.W. Hornbuckle, E.W. Christen, R.D. Faulkner, "Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality", *Agricultural water management*, Vol. 89, 2007, pp. 208-216.
- [۵] حامد نوذری، عبدالمجید لیاقت، مجید خیاط‌خلقی، "شبیه‌سازی حرکت آب و نمک‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم" *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، دوره ۳، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۸، صفحه ۳۹-۲۸.
- [۶] حامد نوذری، عبدالمجید لیاقت، مجید خیاط‌خلقی، عسگر صدیقی، "شبیه‌سازی زهکش زیرزمینی در شرایط غیر ماندگار با استفاده از تکنیک تحلیل پویایی سیستم" *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، دوره ۱۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۸، صفحه ۸۶-۷۱.
- [۷] فرهاد اصلانی، امیر حسین ناظمی، سید علی اشرف صدرالدینی، احمد فاخری‌فرد، محمد علی قربانی، "برآورد عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی بر اساس کیفیت زه‌آب خروجی" *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، دوره ۴۱، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۹، صفحه ۱۴۶-۱۳۹.
- [۸] فهیمه رضی، عباس ستوده‌نیا، پیمان دانش‌کار آراسته، مجتبی اکرم، "بررسی آزمایشگاهی تاثیر عمق نصب زهکش بر شوری زه‌آب خروجی از نیم‌رخ خاک رس سیلتی"، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، دوره ۴۳، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۱، صفحه ۲۸۸-۲۸۱.
- [9] J.M. Bruton, R.W. McClendon, G. Hoogenboom, "Estimating daily pan evaporation with artificial neural network", *Trans. ASCE*, Vol. 43, 2000, pp. 492-496.
- [10] P. Licznar, M.A. Nearing, "Artificial Neural Networks for soil erosion and runoff prediction at the plot scale", *Catena*, Vol. 51, 2003, pp. 89-114.
- [۱۱] مینا آذرنوش، "مدل‌سازی تغییرات سطح ایستابی در خاک با استفاده از مدل drainmod و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی خوزستان)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.
- [۱۲] شهرام درخشان، وحید غلامی، زهرا درواری، "شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در سواحل استان مازندران"، *مجله علوم و مهندسی آبیاری*، دوره ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۷۰-۶۱.
- [۱۳] وحید غلامی، شهرام درخشان، زهرا درواری، "بررسی روش رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی در سواحل استان مازندران"، *مجله پژوهش آب در کشاورزی*، جلد ۲۶، شماره ۳، ۱۳۹۱، صفحه ۳۶۵-۳۵۵.
- [۱۴] حسن اوجاقلو، حامد ابراهیمیان، عبدالمجید لیاقت، مسعود پارس‌نژاد، "پیش‌بینی سطح ایستابی و شدت تخلیه سیستم زهکشی زیر زمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، ۸ تا ۱۰ بهمن، ۱۳۸۷.
- [15] K.P. Singh, A. Basant, A. Malik, G. Jain, "Artificial neural network modeling of the river water quality-A case study", *Ecological Modelling*, Vol. 220, 2009, pp. 888-895.