

# پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب کشاورزی در عمق‌ها و فاصله‌های مختلف

## زهکش زیرزمینی به روش شبکه عصبی مصنوعی

حامد نوذری\*، استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

سعید آزادی، دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

E-mail\*: hanozari@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۰ - پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۳

### چکیده

امروزه اهداف زیست محیطی و کشاورزی به طور هم‌زمان در طراحی سیستم‌های زهکشی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین آگاهی از کمیت و کیفیت زه‌آب تولید شده و تغییرات تراز سطح آب به منظور مدیریت و کنترل آن امری ضروری می‌باشد. در پژوهش حاضر به منظور پیش‌بینی روند تغییرات شوری زه‌آب خروجی، در عمق‌ها و فاصله‌های مختلف استقرار زهکش‌ها از روش شبیه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی، روش حل Solver در نرم افزار اکسل و روش حل با نرم افزار Datafit استفاده 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 خوارزمیک آموزش لونیبرگ-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 برآزش میان مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده، مقادیر شوری زه‌آب خروجی زهکش‌ها محاسبه شد. مقدار این شاخص‌ها در روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰/۷۲ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۹۶ و ۰/۹۹ برآورد شد. نتایج نشان داد این روش در مقایسه با دو روش دیگر در شبیه‌سازی روند تغییرات شوری زه‌آب خروجی از دقت مطلوب‌تری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: زهکش زیرزمینی، زه‌آب، شبکه عصبی مصنوعی، شوری، هدایت الکتریکی.

### ۱- مقدمه

آبیاری به‌دلیل شوری بالای آب زیرزمینی و سطح ایستابی کم عمق، شور می‌باشند (جرعه‌نوش و سپاس‌خواه، ۲۰۰۳) که برای استفاده از این زمین‌ها باید آبشویی صورت گیرد. لذا به منظور بهره‌برداری مفید از زمین‌های کشاورزی، که زیر کشت آبی قرار دارند و در بیشتر موارد فاقد سیستم زهکشی مناسب می‌باشند، تقویت و احداث سیستم‌های زهکشی امری ضروری است. لازم به ذکر

ایران از لحاظ موقعیت جغرافیایی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. همچنین شوری خاک یکی از مسائل اصلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با تراز پایین سطح آب می‌باشد که تحت تأثیر اقلیم، نوع خاک، نوع گیاه، کیفیت آب آبیاری، نوع مدیریت اعمال شده در آبیاری، تراز سطح آب و شوری آب زیرزمینی قرار دارد. در کشور ما نیز حدود ۳۰ درصد از زمین‌های تحت

## نوذری و آزادی

زهکشی دبی زه آب به شدت کاهش یافت به طوری که در یک مزرعه، دبی زه آب خروجی  $3/86$  لیتر بر ثانیه و در مزرعه دیگر به  $0/74$  لیتر بر ثانیه رسید.

نوذری و همکاران در پژوهشی که در مزارع طرح توسعه نیشکر واحد امیرکبیر خوزستان انجام دادند، نشان دادند که شوری خاک بالای لوله های زهکش با آب آبیاری به تعادل رسیده و تقریباً حدود دو برابر شوری آب آبیاری می باشد و نتیجه گیری کردند که شوری بالای زه آب خروجی تنها می تواند در اثر شوری آب زیرزمینی منطقه باشد (نوذری، لیاقت و خیاط خلقی، ۱۳۸۸).

اصلانی و همکاران (۱۳۸۹) به کمک مدل آزمایشگاهی و یک مدل عددی، عمق و فاصله مناسب زهکش های زیرزمینی را بر اساس کیفیت زه آب خروجی برآورد کردند. پناهی و همکاران با بررسی داده های جمع آوری شده از اراضی توسعه نیشکر واحد امیرکبیر اهواز به این نتیجه رسیدند که وقتی آب آبیاری دارای کیفیت بهتری نسبت به آب زیرزمینی می باشد، در اثر اختلاط آب آبیاری و آب زیرزمینی، با گذشت زمان غلظت شوری آب زیرزمینی کاهش می یابد و به شوری آب آبیاری نزدیک تر می شود (پناهی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین تأثیر سطح ایستابی بر شوری زه آب و عمق اختلاط آب آبیاری و آب زیرزمینی زیر زهکش در یک مدل فیزیکی مورد بررسی قرار گرفت. پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که با افزایش دبی، ارتفاع سطح ایستابی و عمق اختلاط افزایش می یابد، در نتیجه باعث افزایش شوری زه آب خروجی می گردد (شکیبا، لیاقت و میرزایی، ۱۳۹۲). در پژوهشی دیگر به بررسی آزمایشگاهی میزان تأثیر عمق نصب زهکش بر شوری زه آب خروجی از نیم رخ خاک رس سیلتی پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشینه هدایت الکتریکی آب خروجی با افزایش عمق نصب زهکش ها افزایش می یابد. همچنین بیشترین شوری خارج شده از زهکش های نصب شده در عمق های  $0/25$

است اگر چه این سیستم، امکان تولید زراعی در خاک های شور و مرطوب را فراهم می نماید، اما با انتقال آلاینده های موجود در خاک و آب زیرزمینی به آب های سطحی، باعث تخریب برخی از زیست بوم های آبی می شود. بنابراین در طراحی پارامترهای زهکشی (عمق و فاصله زهکش ها) باید معیارهای محیط زیستی نیز مورد توجه قرار گیرد.

عمق نصب زهکش های زیرزمینی از عوامل مهم در عملکرد سیستم های زهکشی و اثرات محیط زیستی این طرح ها می باشد. در مناطقی با آب شور کم عمق مانند خوزستان، افزایش عمق نصب زهکش ها می تواند به افزایش نمک خروجی از زهکش های زیرزمینی منجر شود. کاهش عمق نصب زهکش ها نیز پیامدهایی مانند ماندابی شدن، تجمع نمک در ناحیه ریشه و کاهش عملکرد گیاه را در پی دارد (نظری و همکاران، ۱۳۸۷). محجوبی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که به دلیل عمیق بودن عمق نصب زهکش ها در واحد کشت و صنعت امام خمینی استان خوزستان، میزان تخلیه نهایی آن ها به رودخانه دز زیاد بوده است. در پژوهش آن ها از دو تیمار زهکشی استفاده شد. مزرعه اول تیمار زهکشی آزاد و مزرعه دوم تیمار زهکشی کنترل شده. در مدت اجرای این طرح، آنها نشان دادند که در مزرعه با زهکشی کنترل شده، میزان نمک خروجی زه آب تخلیه شده به رودخانه دز، در مقایسه با مزرعه با تیمار زهکشی آزاد در حدود  $24$  تن در هکتار، کمتر بوده است. همچنین مختاران و همکاران (۱۳۹۲) اثر کاهش عمق زهکشی بر دبی و شوری زه آب در دو مزرعه در اراضی کشت نیشکر جنوب خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. آن ها نشان دادند که شوری زه آب علاوه بر شوری آب آبیاری تحت تأثیر شوری آب زیرزمینی بوده و تفاوت در عمق زهکشی، موقعیت لایه محدود کننده و وجود عدسی های ماسه ای بر این شوری موثر است. همچنین با کاهش عمق

نتیجه این پژوهش نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش‌ها، هزینه در واحد سطح کاهش می‌یابد، اما این کاهش هزینه همواره یکنواخت نیست (سلیمانی ننادگانی، پارسی‌نژاد و نوری، ۱۳۹۲).

به دلیل پیچیدگی استفاده از روابط و مدل‌های موجود و دشواری‌های ناشی از جمع‌آوری داده‌ها، به مدلی ساده برای کابرن و طراحان نیاز داریم. امروزه روش‌های جعبه سیاه هوش مصنوعی به عنوان توابع خودساز و خودیادگیر، قابلیت وسیعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی مسائل پیچیده دارند. از جمله روش‌های هوش مصنوعی، می‌توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) اشاره کرد که در علوم مهندسی آب مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه عصبی مصنوعی، روشی با قابلیت یادگیری، قابلیت فهم، تسط بر روابط و مقاومت در برابر خطا می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی در موارد زیادی به ویژه زمانی که روابط فیزیکی کاملاً شناخته شده نمی‌باشد به کار گرفته می‌شوند. این روش نیازی به دانستن فرآیند پدیده ندارد و زیر مجموعه روش‌های جعبه سیاه است. این روش در اصل یک مدل غیرخطی است و می‌تواند متغیرهای زمانی را نیز دخالت دهد.

در پژوهشی برای پیش‌بینی جریان رودخانه از سه خوارزمیک یادگیری برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. پس از مقایسه این سه روش با یکدیگر نشان داده شد که الگوریتم لونبرگ-مارکوارت به دلیل آموزش کمتر، کارایی بالاتری در آموزش شبکه عصبی مصنوعی در برآورد جریان رودخانه دارد (سیقی‌زولو و کیشی، ۲۰۰۵). همچنین وفاخواه و سعیدیان (۱۳۹۳) به کمک شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره به پیش‌بینی رواناب و رسوب در سازند آغاچاری، بخشی از حوضه آبخیز مرغا در شهرستان ایذه، پرداختند. آن‌ها چنین نتیجه‌گیری کردند که رگرسیون چندمتغیره در شرایطی که داده‌های ورودی زیاد و خروجی کم هستند،

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 (رضی و همکاران، ۱۳۹۱).

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 پیامدهای 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.

لازم به ذکر است علاوه بر صرف هزینه و زمان زیاد در بررسی آزمایشگاهی سیستم آب و خاک، ثابت نگه داشتن شرایط آزمایش در طول پژوهش نیز بسیار دشوار است. از این رو تلاش‌های زیادی به منظور توسعه مدل‌های رایانه‌ای در بخش مذکور صورت گرفته است. به عنوان نمونه می‌توان به مدل کامپیوتری Drainmod اشاره کرد که به منظور شبیه‌سازی سطح ایستابی و زه‌آب خروجی زهکش‌های زیرزمینی در مناطق مرطوب با سطح ایستابی کم عمق توسعه یافته است (اسکرج، ۱۹۸۰). همچنین نوذری و لیاقت (۲۰۱۴) 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 مدل‌سازی کردند. 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. همچنین مدلی جهت برآورد هزینه‌های اجرایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی برای منطقه بهشهر اجرا شد.

می‌باشند. از جمله این نرم افزارها می‌توان به نرم افزار Datafit و قابلیت Solver نرم افزار اکسل اشاره کرد. از قابلیت‌های این نرم افزارها که در شبیه‌سازی فرایندهای مختلف توانا می‌باشند، می‌توان به ارائه رابطه ریاضی غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی اشاره کرد. Datafit از خوارزمیک روش حداقل مربعات برای مسائل غیرخطی استفاده می‌کند. همچنین Datafit توانایی حل مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی با بیش از ۲۰ متغیر مستقل را داراست. در این نرم‌افزار، تعداد ۲۹۸ مدل رگرسیون غیرخطی دو بعدی و ۲۴۲ مدل رگرسیون غیرخطی سه بعدی از پیش تعیین شده وجود دارد. استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی از پیش تعیین شده در مسائل علمی، آماری و مهندسی مرسوم می‌باشد. از طرفی Solver نرم افزار اکسل قدرت حل اکثر مسائل بهینه‌سازی از جمله برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی عدد صحیح را دارا می‌باشد. Solver از الگوریتمی به نام Generalized Reduced Gradient (GRG) و روش سیمپلکس برای بهینه‌سازی مسائل غیرخطی استفاده می‌کند. بر خلاف روش شبکه عصبی مصنوعی که هیچ‌گونه رابطه ریاضی بین متغیرها را نشان نمی‌دهد، این روش‌ها قادرند پس از شبیه‌سازی پارامتر مورد نظر، یک رابطه ریاضی بین متغیرهای ورودی و خروجی را نمایش دهند. به همین دلیل از این دو روش در حل مسائل مختلف علوم مهندسی، بسیار استفاده می‌شود.

در پژوهش حاضر، هدف بررسی توانایی روش شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی کیفیت زه‌آب خروجی، در عمق‌ها و فاصله‌های مختلف استقرار زهکش‌ها می‌باشد. همچنین به منظور بررسی عملکرد این روش در پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب، نتایج آن با روش حل Solver در نرم افزار اکسل و روش حل با نرم افزار Datafit مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت از بین روش‌های نام برده،

نتایج مطلوب‌تری در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی می‌دهد. در شدت‌های بالای بارش به علت همگنی داده‌ها عملکرد شبکه عصبی نسبت به شدت‌های پایین بارش بهتر می‌شود. در حالی‌که رگرسیون چندمتغیره هم در شدت‌های بالای بارش و هم در شدت‌های پایین عملکرد بسیار قابل قبولی نشان می‌دهد.

در پژوهشی دیگر امکان استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سطح ایستابی و شدت تخلیه سیستم‌های زهکشی زیرزمینی مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفت. این پژوهش در اراضی تحت زهکشی شرکت ران بهشهر انجام شد. 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 (اوجاقلو و همکاران، ۱۳۸۷).

در پژوهشی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به بررسی کیفیت آب رودخانه‌ای در هند پرداخته شد. در این پژوهش تغییرات ماهانه دو پارامتر کیفی آب یعنی میزان اکسیژن محلول ( $DO^2$ ) و اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی ( $BOD^3$ ) در هشت ایستگاه مختلف طی یک دوره آماری ۱۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبکه عصبی مصنوعی بیانگر دقت خوب شبکه عصبی مصنوعی در بررسی پارامترهای کیفی آب رودخانه بود (سینق و همکاران، ۲۰۰۹).

مطالعات نشان می‌دهند که شبکه عصبی می‌تواند به عنوان روشی توانا و سودمند در حل مسائل مختلف مهندسی مانند مطالعات سیستم آب و خاک و زهکشی به کار گرفته شود. از طرف دیگر، نرم افزارهای دیگری نیز وجود دارند که دارای قابلیت‌های منحصربه‌فردی

بهترین روش برای پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب خروجی تحت تأثیر تغییرات عمق و فاصله زهکش‌ها معرفی خواهد شد.

۲- روش‌ها

۲-۱- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی، سامانه‌ای نوین جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد. این سامانه از پردازش‌گرهای زیادی به نام نرون تشکیل شده است. هر نرون، داده‌ها را جمع‌آوری کرده و پس از پردازش، اطلاعات خروجی مشخصی تولید می‌کند. هر ورودی با توجه به اهمیتی که دارد، وزنی به خود می‌گیرد. این ورودی‌ها ابتدا در وزن‌های اتصال ضرب شده و سپس با هم جمع می‌شوند تا ورودی خالص به نرون محاسبه گردد. سپس یک تابع به نام تابع انتقال بر روی این ورودی خالص عمل می‌کند و یک خروجی مشخص تولید می‌کند. این توابع در یکی از سه گروه توابع خطی، آستانه‌ای و سیگموئیدی قرار می‌گیرند. آماده ساختن یا به عبارتی آموزش شبکه یکی از گام‌های مهم در مدل‌سازی با شبکه عصبی تلقی می‌گردد که در واقع همان فرایند عادت‌دهی برای تغییر خودکار وزن‌ها در داخل شبکه برای رسیدن به وزن قابل قبول در بین نرون‌ها در لایه یا لایه‌های ورودی و خروجی است. یکی از مهم‌ترین دلایل نرمال‌سازی داده‌ها، یکسان‌سازی اهمیت متغیرها و اصلاح وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد (یونال و همکاران، ۲۰۱۰). برای طراحی شبکه عصبی مصنوعی سه دسته داده نیاز است: داده‌های آموزش، صحت‌سنجی و آزمون. در این پژوهش از ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد داده‌ها برای صحت‌سنجی و ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمون استفاده شد. همچنین جهت طراحی شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار Neurosolution 5 استفاده شد.

بسط و توسعه یک مدل شبکه عصبی مستلزم طراحی

اجزای فنی و تشکیل دهنده‌ی آن است. انتخاب نوع شبکه اولین و مهم‌ترین قدم در شروع طراحی معماری شبکه می‌باشد. شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP) و توابع پایه شعاعی (RBF) کاربردی‌ترین نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند (جین و فانلی، ۲۰۰۰). در این پژوهش از شبکه MLP با الگوریتم پس‌انتشار خطا جهت مدل‌سازی تغییرات شوری زه‌آب خروجی زهکش‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است که در ساختار تمامی شبکه‌ها سعی شد تا جایی که ممکن است، طراحی بهینه با یک لایه میانی صورت پذیرد اما در ترکیب ساختاری آن‌ها از شبکه‌هایی با دو لایه میانی نیز استفاده شده است. شبکه MLP می‌تواند بیش از یک لایه پنهان داشته باشد، اما پژوهشات نظری نشان از کافی بودن یک لایه پنهان برای مسائل پیچیده و توابع غیرخطی دارد (هورنیک، استینچکامب و وایت، ۱۹۸۹). استفاده بیش از یک لایه پنهان فرآیند آموزش را آهسته می‌کند و احتمال گیر افتادن در کمینه‌های محلی را افزایش می‌دهد (مسترز، ۱۹۹۳).

در پژوهش حاضر، پارامترهای فاصله زهکش‌ها (L)، عمق نصب لوله‌های زهکش (W)، زمان (T) و دبی آب آبیاری (Q) به عنوان پارامترهای ورودی شبکه برگزیده شدند. همچنین 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 لونیبرگ مارکوارت، دلتا بار دلتا، کوئیک پراپ، گرادیان مزدوج، مومنتوم و مرحله‌ای برای معماری شبکه استفاده گردید. پس از طراحی شبکه، تعداد تکرارهای متفاوت جهت انتخاب بهترین تعداد تکرار که در کمترین

## نوذری و آزادی



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. شوری آب آبیاری نیز بدون اضافه کردن موادی به آن، با مقدار ثابت ۰/۳۲ دسی‌زیمنس بر متر مورد استفاده قرار گرفت. 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 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 گرفت. اندازه‌گیری نمونه‌ها به محض خروج زه‌آب از زهکش شروع و تا زمانی که غلظت زه‌آب خروجی به دو برابر شوری آب آبیاری برسد ادامه یافت. در هر آزمایش قرائت شوری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه EC متر انجام گرفت. به منظور آماده‌سازی مدل برای آزمایش بعدی، عمل آبخوبی با آب آبیاری و با استفاده از دو شیر خروجی که در کف مدل

زمان، بهترین نتیجه را بدهد مورد آزمون قرار گرفت. پس از اینکه اجزای مناسب شبکه انتخاب گردید، در نهایت از داده‌های آزمون برای ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل پیشنهادی استفاده شد.

### ۲-۲- اعتبار سنجی مدل

پس از ایجاد مدل شبیه‌سازی، باید بتوان اعتبار آن را تایید کرد. در این قسمت به کمک یک مدل فیزیکی که در آزمایشگاه هیدرولیک گروه آب دانشگاه بوعلی سینا طراحی و ساخته شده است، اعتبار مدل کنترل شد. این مدل به صورت محفظه‌ای مکعب شکل به ابعاد ۱/۸ متر طول، ۱ متر عرض و ۱/۲ متر ارتفاع می‌باشد (شکل ۱). از لوله‌های خرطومی پلاستیکی به قطر ۳ سانتی‌متر و طول ۱۰۰ سانتی‌متر به عنوان لوله‌های زهکش زیرزمینی موج‌دار استفاده شد. لوله‌های یاد شده در سه عمق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک در محل خود نصب شدند. طراحی فاصله 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 لوله‌ها 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.

با توجه به شرایط موجود در آزمایشگاه 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. با توجه به سه عمق، فاصله و دبی مختلف، در مجموع ۲۷ آزمایش انجام شد و داده‌های آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

جهت دستیابی به معماری بهینه شبکه عصبی مصنوعی، اجزای زیادی صورت گرفت که از میان آن‌ها نتایج بهترین اجراها با معماری‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. آنچه که در این جدول بیان شده است، بهترین نتایج شبکه‌ها با الگوریتم‌های یادگیری متفاوت می‌باشد. معماری برگزیده آن است که کمترین MSE و MAE و بالاترین  $R^2$  را داشته باشد.

با توجه به جدول ۱ بهترین شبکه عصبی مصنوعی برای تغییرات شوری زه‌آب خروجی، الگوریتم یادگیری لوبنرگ مارکوارت و تابع آستانه سیگموئید با یک لایه پنهان و ۵ نرون است. باید خاطر نشان کرد با افزایش نرون لایه به بیش از پنج نرون، تغییر محسوسی در نتایج حاصل نشد و تعداد نرون بهینه شبکه عصبی مصنوعی ۵ در نظر گرفته شد. به همین ترتیب برای سایر الگوریتم‌های یادگیری و توابع آستانه همین منطق سازگار بود و بهترین عملکرد در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین در این پژوهش از شبکه‌هایی با ۲ لایه پنهانی نیز استفاده شد اما از آنجایی که نتایج آن‌ها تغییر محسوسی را نسبت به یک لایه پنهان نشان نداد، و همچنین استفاده بیش از یک لایه پنهان فرآیند آموزش را آهسته می‌کند و احتمال گیر افتادن در کمینه‌های محلی را افزایش می‌دهد، بهترین حالت شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه پنهان گزارش شد.

یکی از معیارهایی که جهت رسیدن سریع‌تر و دقیق‌تر به نتایج شبکه مهم است، انتخاب تعداد تکرارهای شبکه است. در این پژوهش از تکرارهای متفاوتی جهت انتخاب بهینه‌ی تعداد تکرارها، استفاده شد و نتایج به‌دست آمده در شکل ۲ ارائه شده است. بهترین تکرار، تکراری است که کمترین خطای MSE را داشته باشد. با توجه به شکل ۲، نهایتاً تعداد تکرار ۸۰۰، برای شبکه حاصل گردید و پس از آن با افزایش تعداد تکرارها خطای MSE افزایش یافت. مقادیر خطای آموزش و

نصب شده بود انجام شد و آبشویی تا زمانی ادامه پیدا کرد که 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 شد.

به‌منظور اعتباریابی نتایج مدل از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE)، ضریب همبستگی ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) به صورت زیر استفاده شد.

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

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

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

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

$$MAE = \frac{\sum (Y_m - Y_p)}{n} \quad (5)$$

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

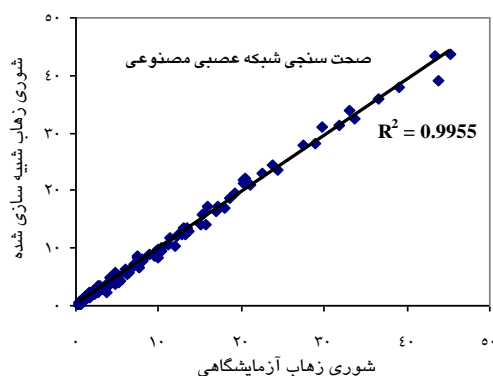
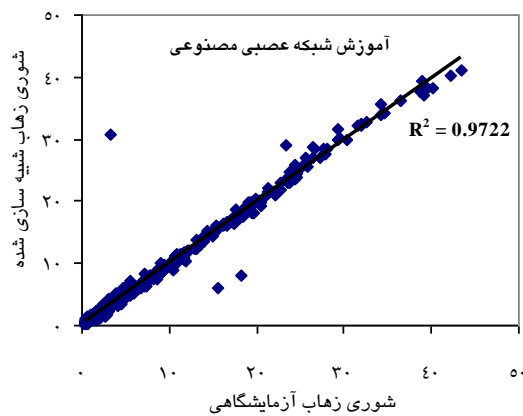
همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، در این پژوهش روش شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب خروجی و تحت تأثیر تغییرات عمق و فاصله زهکش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ورودی‌های مدل عبارت بودند از  $L$ ،  $W$ ،  $T$  و  $Q$ . داده‌های مورد نیاز جهت کنترل اعتبار مدل از یک مدل فیزیکی به دست آمدند.

## نوذری و آزادی

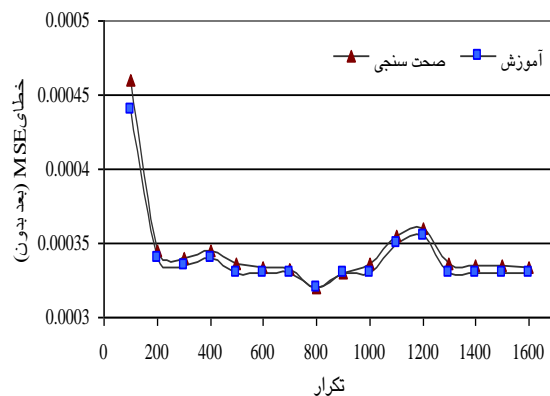
جدول ۱. نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی برای تغییرات شوری زه آب خروجی

الگوریتم یادگیری	تابع آستانه	معماری شبکه*	MSE (بدون بعد)	MAE (dS/m)	R <sup>2</sup>
لونیبرگ مارکوارت	سیگموئید	۴-۵-۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۰	۰/۹۹۸
گرادیان مزدوج	سیگموئید	۴-۱۲-۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۳	۰/۹۹۶
مرحله‌ای	تانژانت هایپربولیک	۴-۸-۱	۰/۰۰۸۲	۰/۰۴۵	۰/۹۸۷
مومتوم	تانژانت هایپربولیک	۴-۱۰-۱	۰/۰۰۳۶	۰/۰۲۱	۰/۹۹۱
کوئیک پراپ	تانژانت هایپربولیک	۴-۹-۱	۰/۰۰۷۱	۰/۰۴۱	۰/۹۸۵
دلتا بار دلتا	سیگموئید	۴-۱۰-۱	۰/۰۰۱۰	۰/۰۲۴	۰/۹۹۲

در این شکل، نمودارهای مرحله آموزش (شامل ۶۰ درصد کل داده‌ها) و آزمون (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 نحوه آموزش شبکه می‌باشد.



صحت‌سنجی برای تعداد تکرار بهینه در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. مقادیر خطای شبکه عصبی مصنوعی به ازای تکرارهای مختلف در مراحل آموزش و صحت‌سنجی

جدول ۲. خطای آموزش و صحت‌سنجی برای تکرار مناسب (بدون بعد)

تکرار	خطای آموزش (MSE)	خطای صحت‌سنجی (MSE)
۸۰۰	۰/۰۰۰۳۲۳	۰/۰۰۰۳۲۱

۳-۱- بررسی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی به منظور بررسی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی، عملکرد مراحل مختلف آموزش شبکه و مقایسه نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۳ ارائه شده است.



پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب کشاورزی در عمق‌ها و فاصله‌های مختلف زهکش زیرزمینی به روش شبکه عصبی مصنوعی

در روش حل با نرم افزار Datafit، این نرم افزار از روش حل غیرخطی به منظور رسیدن به بهترین پاسخ استفاده نموده است. تعداد داده‌های مشاهده‌ای برابر با ۷۲۹ می‌باشد که حاصل برداشت از مدل فیزیکی در آزمایشگاه است. فرمولی که توسط این روش ارائه شده، به صورت رابطه ۶ می‌باشد:

$$EC_{drain} = \exp(a \times L + b \times W + c \times T + d \times Q + e) \quad (6)$$

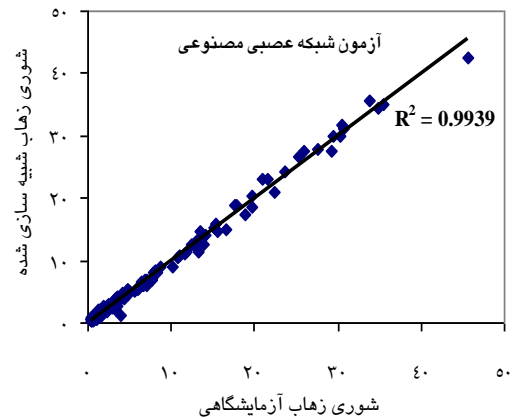
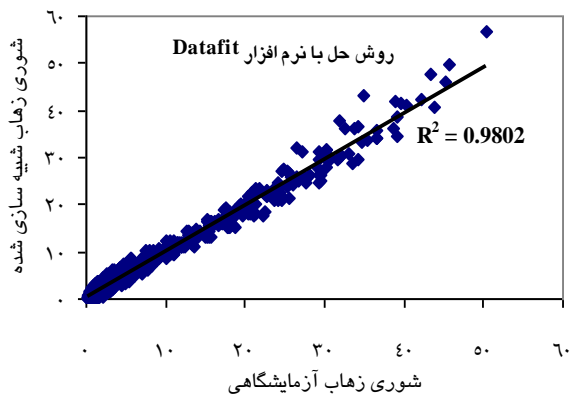
در این رابطه  $EC_{drain}$  شوری زه‌آب خروجی از زهکش‌ها بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و  $a, b, c, d, e$  ضرایب ثابتی هستند که این روش ارائه داده است. مقدار این ضرایب به ترتیب برابر است با  $۲/۲۹۷, ۱/۶۳۱, -۳/۲۱۵, -۴/۱۶$  و  $۲/۹۸۸$ .

رابطه ارائه شده در روش Solver نیز به صورت رابطه ۷ می‌باشد.

$$EC_{drain} = a \times L^b \times W^c \times T^d \times Q^e \quad (7)$$

مقدار ضرایب ثابت  $a, b, c, d, e$  در این روش نیز به ترتیب برابر با  $۰/۳۶۴, ۰/۲۸, ۰/۶۳۵, -۰/۴۲$  و  $-۰/۴۳۹$  می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی تغییرات شوری زه‌آب خروجی از زهکش‌ها توسط روش شبکه عصبی مصنوعی، روش Solver و روش حل با نرم افزار Datafit در برابر داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۴، نشان داده شده است.



شکل ۳. تغییرات شوری زه‌آب خروجی از زهکش‌ها در مراحل مختلف فعالیت شبکه عصبی و مقادیر آزمایشگاهی (dS/m)

در این پژوهش جهت بررسی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب خروجی تحت تأثیر تغییرات عمق و فاصله زهکش‌ها، مقایسه‌ای بین این روش، روش Solver نرم افزار اکسل و روش حل با نرم افزار Datafit صورت گرفته است. در روش‌های Solver و حل با نرم افزار Datafit، به منظور درک بهتر و ارائه مقایسه‌ای علمی‌تر، ورودی‌های این دو روش نیز مطابق با روش شبکه عصبی مصنوعی یعنی همان چهار پارامتر  $L, W, T$  و  $Q$  در نظر گرفته شد. برای بررسی عملکرد این روش‌ها، از شاخص‌های آماری  $RMSE, SE$  و  $R^2$  استفاده شد. مقدار این شاخص‌های آماری در پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب خروجی از زهکش‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری استفاده شده در پیش‌بینی

تغییرات شوری زه‌آب خروجی

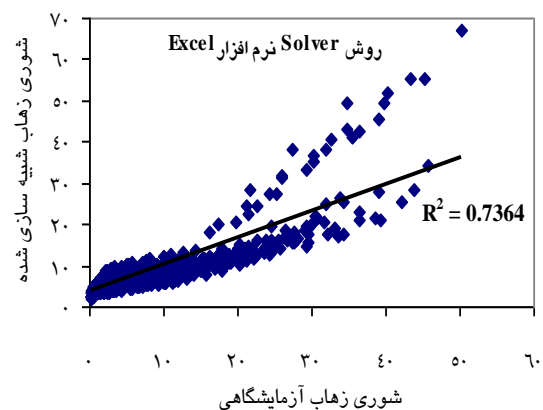
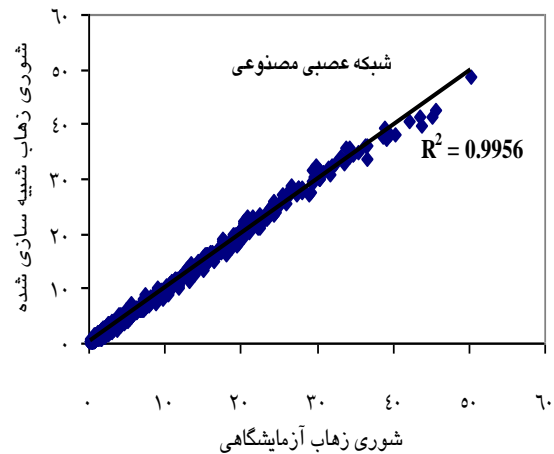
شاخص‌ها / روش‌ها	RMSE (dS/m)	SE	R <sup>2</sup>
شبکه عصبی مصنوعی	۰/۷۲	۰/۰۹۶	۰/۹۹
روش Solver	۵/۰۸	۰/۶۵	۰/۷۴
روش حل با Datafit	۱/۳۶	۰/۱۷	۰/۹۸

عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی بهتر از روش حل با نرم افزار Datafit می‌باشد.

#### ۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی روند تغییرات شوری زه‌آب خروجی، در عمق‌ها و فاصله‌های مختلف استقرار لوله‌های زهکش شبیه‌سازی شد. همچنین جهت بررسی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب خروجی زهکش‌ها، مقایسه‌ای بین این روش، روش Solver نرم افزار اکسل و روش حل با نرم افزار Datafit صورت گرفت. در هر سه روش نام برده، از چهار پارامتر  $W$ ،  $L$ ،  $T$  و  $Q$  به‌عنوان 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  $1$  متر استفاده گردید.

میزان برآزش میان مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده تغییرات شوری زه‌آب خروجی زهکش‌ها، با محاسبه شاخص‌های آماری  $RMSE$ ، خطای استاندارد و ضریب همبستگی محاسبه گردید. مقدار این شاخص‌ها برای روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر با  $0/72$  دسی‌زیمنس بر متر،  $0/99$  و  $0/96$ ، برای روش حل Solver نرم افزار اکسل  $0/08$  دسی‌زیمنس بر متر،  $0/65$  و  $0/74$  و نهایتاً برای روش حل با نرم افزار Datafit برابر با  $1/36$  دسی‌زیمنس بر متر،  $0/17$  و  $0/98$  برآورد گردید. روش حل با نرم افزار Datafit و روش شبکه عصبی مصنوعی، هر دو عملکرد مطلوبی در پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب خروجی از زهکش‌ها را دارا می‌باشند. ولی عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی بهتر از روش حل با نرم افزار Datafit بود. از این‌رو با توجه به این نتایج می‌توان گفت روش شبکه عصبی مصنوعی، در پیش‌بینی



شکل ۴- تغییرات شوری زه‌آب خروجی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط روش‌های مختلف ( $dS/m$ )

همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده است و همچنین با توجه به مقادیر خطای استاندارد، ضریب همبستگی و همچنین شاخص  $RMSE$ ، می‌توان انطباق بین نتایج شبیه‌سازی شده و واقعی را طبق روش شبکه عصبی مصنوعی در پژوهش حاضر خوب ارزیابی کرد. روش حل با نرم افزار Datafit و روش شبکه عصبی مصنوعی، هر دو عملکرد مطلوبی در پیش‌بینی تغییرات شوری زه‌آب خروجی از زهکش‌ها را دارا می‌باشند. ولی

- سلیمانی ننادگانی، مجید، پارسی‌نژاد، مسعود و نوری، حمید (۱۳۹۲) "برآورد هزینه‌های نصب زهکش‌های زیرزمینی زیرزمینی لوله‌ای (مطالعه موردی: بهشهر)"، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره ۹۸، ص ۳۱ - ۴۱.

- شکبیا، مینا، لیاقت، عبدالمجید و میرزایی، فرهاد (۱۳۹۲) "بررسی اثر عمق سطح ایستابی و دبی آب آبیاری بر روی عمق اختلاط و کیفیت زه‌آب زیرزمینی خروجی از مدل آزمایشگاهی"، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۷، شماره ۲، ص ۱۲۲ - ۱۳۲.

- محجوبی، آرش، ناصری، عبدعلی، هوشمند، عبدالرحیم و برومند نسب، سعید (۱۳۹۲) "بررسی آثار زهکشی کنترل شده بر شوری خاک، مدیریت آبیاری و عملکرد نیشکر (مطالعه موردی کشت و صنعت امام خمینی)"، مجله پژوهشات مهندسی کشاورزی، جلد ۱۳، شماره ۴، ص ۲۵ - ۴۰.

- مختاران، روح‌الله، ناصری، عبدعلی، کشکولی، حیدرعلی و برومندنسب، سعید (۱۳۹۲) "اثر عمق زهکش و لایه محدود کننده بر دبی و شوری زه‌آب در اراضی فاریاب جنوب خوزستان"، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ۳، شماره ۱، ص ۶۱-۷۲.

- نظری، بیژن، لیاقت، عبدالمجید، پارسی‌نژاد، مسعود و ناصری، عبدعلی (۱۳۸۷) "بهبودسازی عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی با ملاحظات اقتصادی و زیست-محیطی"، پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست، ۱۶ آبان، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

- نوذری، حامد، لیاقت، عبدالمجید و خیاط‌خلقی، مجید

تغییرات شوری زه‌آب خروجی زهکش‌ها از دقت خوبی برخوردار است.

## ۵- پی‌نوشت‌ها

1. Artificial Neural Network
2. Dissolved Oxygen
3. Biological Oxygen Demand

## ۶- منابع

- اصلانی، فرهاد، ناظمی، امیرحسین، صدرالدینی، سیدعلی اشرف، فاخری‌فرد، احمد و قربانی، محمدعلی (۱۳۸۹) "برآورد عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی بر اساس کیفیت زه‌آب خروجی"، تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۴۱، شماره ۲، ص ۱۳۹-۱۴۶.

- اوجاقلو، حسن، ابراهیمیان، حامد، لیاقت، عبدالمجید و پارسی‌نژاد، مسعود (۱۳۸۷) "پیش‌بینی سطح ایستابی و شدت تخلیه سیستم زهکشی زیر زمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۸ الی ۱۰ بهمن، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

- پناهی، مصطفی، ناصری، عبدعلی، بهنیا، عبدالکریم و هوشمند، عبدالرحیم (۱۳۸۹) "تأثیر شوری آب زیرزمینی بر روی شوری زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی"، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

- رضی، فهیمه، ستوده‌نیا، عباس، دانش‌کارآراسته، پیمان و اکرم، مجتبی (۱۳۹۱) "بررسی آزمایشگاهی تأثیر عمق نصب زهکش بر شوری زه‌آب خروجی از نیمرخ خاک رس سیلتی"، پژوهشات آب و خاک ایران، جلد ۴۳، شماره ۳، ص ۲۸۱-۲۸۸.

Management. 61: 125-141.

- Kerem cigizolu, H., and Kisi, O., (2005) "Flow prediction by three back propagation techniques using K-fold partitioning of neural network training Data", Nordic Hydrology. 36(1): 49-64.

- Masters, T., (1993) "Practical neural network recipes in C++", Academic Press, Sandiego, California.

- Nozari, H., and liaghat, A., (2014) "Simulation of Drainage Water Quantity and Quality Using System Dynamics", J. Irrig. Drain. Eng. 10.1061/(ASCE) IR.1943-4774.0000748.

- Singh, K.P., Basant, A., Malik, A., and Jain, G., (2009) "Artificial neural network modeling of the river water quality-A case study", Ecological Modelling. 220: 888-895.

- Skaggs, R.W., (1980) "Drainmod reference report, Method for design and evaluation of drainage water management systems for soils with high water tables", USDA-SCS, 329 p.

- Unal, B., Mamak, M., Seckin, G., and Cobaner, M., (2010) "Comparision of an ANN approach with 1-D and 2-D methods for estimating discharge capacity of straight compound channels", Advances in Engineering Software. 41: 120-129

(۱۳۸۸) "شبیه‌سازی حرکت آب و نمک‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم"، آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۲، شماره ۳، ص ۳۹-۲۸.

- وفاخواه، مهدی و سعیدیان، همزه (۱۳۹۳) "پیش‌بینی رواناب و رسوب به کمک شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره در مارن‌های آغاجاری"، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۷، شماره ۳، ص ۴۸۷-۴۹۹.

- Hornik, K., Stinchcombe, M. and White, H., (1989) "Multilayer feedforward networks are universal approximators", Neural Networks. 2: 359-366.

- Jain, L.C., and Fanelli, A. M., (2000) "Recent Advances in Artificial Neural Networks", Design and Application. CRC. Press, USA ch5, Pp. 350.

- Jorenush, M.H., and Sepaskhah, A. R., (2003) "Modelling capillary rise and soil salinity for shallow saline water table under irrigated and non-irrigated conditions", Agricultural Water