



## شبیه‌سازی الگوی توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

بختیار کریمی<sup>۱\*</sup>، پروا محمدی<sup>۲</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۵

### چکیده

استفاده بیش از حد نیترات می‌تواند منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی شود. بنابراین دانش دقیق از توزیع نیترات در ناحیه توسعه ریشه به‌منظور طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای ضروری است. در این تحقیق به منظور مدل‌سازی الگوی توزیع نیترات از شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. زیرا این تکنیک به دلیل الگوی تشخیص قوی، روابط منطقی بین پارامترهای ورودی و خروجی برقرار می‌کند. در این تحقیق، به‌منظور شبیه‌سازی الگوی توزیع نیترات، آزمایش‌هایی بر روی سه نوع بافت مختلف خاک در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی انجام پذیرفت. قطره‌چکان‌ها در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. دبی قطره‌چکان‌ها با مقادیر ۲/۴ (Q<sub>1</sub>)، ۴ (Q<sub>2</sub>) و ۶ (Q<sub>3</sub>) لیتر در ساعت اعمال گردید. همچنین تیمارهای کود آبیاری شامل سه تیمار با غلظت نیترات ۱۲۵، ۲۵۰ و ۳۷۵ میلی‌گرم در لیتر بودند. با در نظر گرفتن متغیرهای نیترات اولیه خاک، غلظت نیترات در کود آبیاری، رطوبت اولیه خاک، فاصله شعاعی نقاط مورد نظر، حجم آب کاربردی در زمان آبیاری، هدایت هیدرولیکی خاک، دبی قطره‌چکان، عمق نصب قطره‌چکان، چگالی ظاهری خاک و همچنین نسبت درصد شن، سیلت و رس روابطی را برای تخمین الگوی توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ارائه شد. نتایج مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نشان دادند که مدل شبکه عصبی با دقت بالایی نیترات را پیش‌بینی می‌کند و مقادیر ضریب همبستگی (R) برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی از ۰/۹ تا ۰/۹۴ و برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از ۰/۸ تا ۰/۹۶ تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، شبکه عصبی مصنوعی، شبیه‌سازی، نیترات

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه کردستان، سنندج، ایران، ۰۹۳۷۹۸۳۲۱۲۴، [bakhtiar.karimi@gmail.com](mailto:bakhtiar.karimi@gmail.com) (مسئول مکاتبه)

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، ۰۹۱۸۱۷۷۱۰۰۲، [mohammadi.parva@yahoo.com](mailto:mohammadi.parva@yahoo.com)



مقدمه

باکینگهام و با استفاده از آنالیز ابعادی روابطی (روابط ۱ تا ۳) برای شبیه‌سازی توزیع نیترات در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی ارائه دادند. این روابط که برای سه نوع بافت ارائه شده است تابعی از نیترات اولیه خاک، غلظت نیترات در کود آبیاری، رطوبت اولیه خاک، فاصله شعاعی نقاط مورد نظر، حجم آب کاربردی در زمان آبیاری، هدایت هیدرولیکی خاک و دبی قطره-چکان می‌باشد. نتایج ارزیابی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای مدل‌های توزیع نیترات در خاک بیانگر آن بود که این مدل‌ها دارای عملکرد مناسبی می‌باشد.

$$N(x, y) = 1.635 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q}\right)^{1.925} R^{0.55} V^{1.1} \quad \text{رسی (۱)}$$

$$N(x, y) = 1.043 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q}\right)^{2.119} R^{0.605} V^{1.211} \quad \text{لومی (۲)}$$

$$N(x, y) = 0.136 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q}\right)^{1.423} R^{0.406} V^{0.813} \quad \text{شنی (۳)}$$

مشابهاً کریمی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از آنالیز ابعادی روابطی به منظور شبیه‌سازی توزیع نیترات در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و برای سه نوع بافت مورد بررسی ارائه دادند که به صورت زیر می‌باشد.

$$N(x, y) = 1.316 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q}\right)^{1.904} R^{0.544} V^{1.088} \quad \text{رسی (۴)}$$

$$N(x, y) = 0.176 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q}\right)^{0.987} R^{0.282} V^{0.564} \quad \text{لومی (۵)}$$

$$N(x, y) = 0.098 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q}\right)^{1.153} R^{0.329} V^{0.659} \quad \text{شنی (۶)}$$

در معادلات فوق ابعاد پارامترهای این معادلات به صورت زیر می‌باشد که در آن توزیع نیترات در خاک  $(N(x, y))$  در نقطه‌ای به مختصات  $x$  و  $y$  بر حسب میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، رطوبت اولیه خاک  $(\theta_0)$  بر حسب مقدار حجمی، دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها  $(q)$  بر حسب لیتر در ساعت، هدایت هیدرولیکی خاک

عدم مدیریت بهینه کودآبیاری در آبیاری قطره‌ای باعث توزیع نامناسب آب و کود می‌شود. بدین وسیله مصرف بیش از حد آب و نیتروژن نه تنها عملکرد محصول را کاهش می‌دهد بلکه باعث آلوده شدن آب-های زیر زمینی می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). از معیارهای مهمی که برای طراحی سیستم آبیاری قطره-ای باید در نظر گرفته شود، توزیع رطوبت و نیترات در ناحیه توسعه ریشه می‌باشد. بسته به نوع خاک، دبی قطره‌چکان، رطوبت اولیه خاک، هدایت هیدرولیکی، حجم آب کاربردی و غلظت کود آبیاری و ... مقادیر رطوبت و نیترات در تمام نقاط اطراف پیاز رطوبتی قابل بررسی است (کریمی و سلطانی، ۱۳۹۵). مطالعات نشان می‌دهد که تحقیقات زیادی در زمینه شبیه‌سازی توزیع رطوبت به انجام رسیده است (Bufon, 2010, Kandelous and Simunek, Cook et al., 2006, Kandelous and Simunek, 2010a, Kandelous and Simunek, 2010b, Lazarovitch et al., 2007, میرزایی و همکاران، ۱۳۸۴، Provenzano, 2000, Siyal and Sheng et al., Singh et al., 2006, Skaggs, 2009). اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه توزیع نیترات در آبیاری قطره‌ای مربوط به ارزیابی مکانی توزیع این یون پرکاربرد در خاک بوده (Lamm et al., 2004, Li et al., 2004, Li et al., 2007). تحقیقات اندکی بر روی مدل‌سازی توزیع نیترات در خاک به انجام رسیده است که در اکثر مطالعات مدل عددی هایدروس برای شبیه‌سازی استفاده شده است (Blaine et al., 2006) که این مدل هر چند دقیق و پرکاربرد می‌باشد اما نیاز به پارامترهای ورودی زیاد و مهارت بالای کاربر دارد که در اغلب موارد اندازه‌گیری آن‌ها هزینه‌بر و مشکل می‌باشد. بنابراین استفاده از مدل‌های تجربی و شبکه عصبی به دلیل کاربرد آسان و راحت می‌تواند به عنوان یک ایده خوب جایگزین مدل‌های عددی و تحلیلی شود (Al-Ogaidi et al., 2016). کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) به کمک قضیه  $\pi$



عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق پارامترهای ورودی مدل شامل داده‌های هیدرولوژی، نیتروژن خاک، کربن خاک، PH خاک و شوری خاک بود. نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر نیترات شبیه‌سازی شده در آبهای زیر زمینی با دقت قابل قبولی پیش‌بینی گردید و عملکرد شبکه عصبی مصنوعی محدوده قابل قبول می‌باشد. با توجه به جمیع موارد فوق، هدف اصلی از این مطالعه، استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی برای تخمین الگوی توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی می‌باشد. زیرا این مدل‌ها می‌توانند متغیرهای ورودی بیشتری از جمله شاخص‌های خصوصیات فیزیکی (شامل درصد شن، سیلت، رس، چگالی ظاهری و هدایت هیدرولیکی) و عمق نصب قطره‌چکان‌ها (در سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی) در شبیه‌سازی لحاظ کند و می‌توان انتظار داشت با توجه به قابلیت‌های بالای شبکه عصبی روابط منطقی‌تری بین متغیرهای ورودی و مقادیر نیترات پیدا کند.

## مواد و روشها

### شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup> یک سیستم پردازشگر توزیعی اطلاعات است که خصوصیات عملکرد آن شبیه به ساختار عصبی مغز انسان می‌باشد و گسترش آن بر اساس قواعد زیر بنا نهاده شده است. ۱- پردازش اطلاعات در عناصر منفردی به نام گره انجام و این گره‌ها در دسته‌هایی به نام لایه مرتب می‌شوند. ۲- سیگنال‌ها بین گره‌ها از طریق اتصالات منتقل می‌شود. ۳- هر اتصال وزنی دارد که نشان‌دهنده نیروی اتصال آن است. ۴- هر گره مجموعه وزنی سیگنال‌ها را با به کار بردن یک تبدیل غیرخطی که تابع محرک (Activation Function) نامیده می‌شود به سیگنال خروجی تبدیل می‌کند (ASCE, 2000). یکی از

$(K_s)$  بر حسب متر بر ساعت، غلظت نیترات در آب آبیاری و مربوط به دوره زمانی یک سوم انتهایی زمان آبیاری (F) بر حسب میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، نیترات اولیه خاک ( $N_0$ ) بر حسب میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، فاصله شعاعی نقاط مورد نظر در پیاز رطوبتی (R) بر حسب سانتی‌متر و حجم آب کاربردی مورد استفاده در زمان آبیاری (V) بر حسب لیتر می‌باشد.

نتایج حاصل از مطالعات بالا نشان داد که آنالیز ابعادی توانایی قابل قبولی در این زمینه دارد. اما یکی از معایبی که در روابط ذکر شده بالا مشاهده می‌شود این است که تنها شاخص خصوصیات فیزیکی خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع می‌باشد که این شاخص به تنهایی نمی‌تواند بیانگر خصوصیات فیزیکی و محیط پیچیده خاک باشد (با الگو گرفتن از مطالعه Al-Ogaidi et al., 2016). همچنین تاثیر ساختمان خاک (که معمولاً با شاخص وزن مخصوص ظاهری خاک بیان می‌شود) و تاثیر بافت خاک (با درصد‌های شن، سیلت و رس بیان می‌شود) در این روابط مشاهده نمی‌شود. یا به عبارتی ساده‌تر روابط ارائه شده توسط کریمی و همکاران (۱۳۹۵) و کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) قابلیت تعمیم به شرایط مختلف را ندارد و نمی‌توان انتظار داشت که برای دامنه گسترده‌ای از بافت‌های مختلف نتایج قابل قبولی ارائه کند. Li et al. (2004) با استفاده از هفده سری داده آزمایشگاهی و با استفاده از پارامترهای ورودی شامل دبی قطره‌چکان، حجم آب کاربردی، غلظت ورودی نیترات، رطوبت اولیه و نهایی خاک و نیترات اولیه خاک و به کمک شبکه عصبی غلظت نهایی نیترات خاک را پیش‌بینی کردند و نتایج نشان داد که شبکه عصبی دارای تخمین دقیقی از الگوی توزیع نیترات می‌باشد. Hanson et al. (2006) با استفاده از مدل عددی هایدروس، شبیه‌سازی الگوی توزیع نیترات در خاک را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که این مدل توانایی قابل قبولی در این امر دارد. Ehteshami et al. (2016) شبیه‌سازی آلودگی آب‌های زیر زمینی توسط نیترات را با استفاده از شبکه

<sup>1</sup> - Artificial Neural Network



رطوبتی ( $R$ )، هدایت هیدرولیکی اشباع ( $K_s$ )، چگالی ظاهری خاک ( $\rho_b$ )، حجم آب کاربردی مورد استفاده در زمان آبیاری ( $V$ )، غلظت نیترات در آب آبیاری و مربوط به دوره زمانی یک سوم انتهایی زمان آبیاری ( $F$ )، نیترات اولیه خاک ( $N_0$ )، رطوبت اولیه خاک ( $\theta_i$ ) و نسبت درصد شن ( $sand$ )، سیلت ( $silt$ ) و رس ( $clay$ ) به-عنوان ورودی برای تخمین نیترات در آبیاری قطره‌ای سطحی استفاده شد و برای تخمین نیترات در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی علاوه بر تمامی پارامترهای فوق، عمق نصب قطره‌چکان ( $z$ ) به کار گرفته شد. مشخصات آماری پارامترهای ورودی در جدول ۱ ارایه شده است.

پرکاربردترین مدل‌های شبکه عصبی، مدل پرسپترون چند لایه<sup>۱</sup> (MLP) می‌باشد که بر مبنای یک واحد محاسباتی به نام پرسپترون ساخته می‌شود. یک پرسپترون برداری ورودی‌ها با مقادیر حقیقی را دریافت کرده و یک ترکیب خطی از ورودی‌ها را به دست می‌آورد. اگر مقدار حاصل از یک مقدار آستانه بیشتر باشد خروجی پرسپترون برابر با ۱ و در غیر اینصورت معادل ۰ خواهد بود. این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشد و معمولاً برای آموزش از الگوریتم پس انتشار خطا (یک روش یادگیری چند لایه شبکه پیشرو) استفاده می‌شود. در طی آموزش شبکه به کمک الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا، ابتدا محاسبات از ورودی شبکه به سوی خروجی شبکه صورت می‌گیرد و در نهایت مقادیر خطای محاسبه شده به لایه‌های قبل انتشار می‌یابد. در ابتدا، محاسبه خروجی به صورت لایه به لایه انجام گرفته و خروجی هر لایه، ورودی لایه بعدی خواهد بود (Khanna, 1990). در این تحقیق برای آموزش شبکه از این مدل استفاده گردید و تعداد گره‌های لایه پنهان با روش آزمون و خطا بدست آمد. لازم به ذکر است که در این تحقیق از تعداد نرون‌های ۱ تا ۲۰ برای لایه پنهان شبکه استفاده گردید. از آنجا که متداول‌ترین نوع توابع محرک، تابع تانژانت سیگموئید می‌باشد این تابع برای نگاشت اطلاعات از لایه ورودی به لایه پنهان مورد استفاده قرار گرفت.

در این مطالعه جهت پیش‌بینی نیترات در آبیاری قطره‌ای سطحی از ۵۵ داده آزمایشگاهی و در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی از ۲۷۸ داده آزمایشگاهی استفاده گردید. داده‌ها به طور تصادفی به دو بخش صحت سنجی و آموزش تقسیم شدند که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد دیگر برای بخش صحت-سنجی مورد استفاده قرار گرفت. از متغیرهای دبی قطره‌چکان ( $Q$ )، فاصله شعاع نقاط مورد نظر در پیاز

<sup>1</sup> Multilayer Perceptron



جدول ۱- مشخصات آماری متغیرهای ورودی برای شبیه سازی نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی

سیستم آبیاری قطره‌ای	متغیرها	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
سطحی	R	cm	۱۰	۵۵	۲۴/۶۷	۱۱/۶۶	۰/۴۷
	V	lit	۲۸/۸	۷۲	۴۸/۹۶	۱۷/۵۸	۰/۳۸
	Q	lit/hr	۴/۸	۱۲	۸/۱۶	۳/۱۰	۰/۳۸
	$K_s$	cm/hr	۶/۲۵	۱۳/۳۱	۱۰/۰۹	۲/۹۲	۰/۲۹
	$\rho_b$	gr/cm <sup>3</sup>	۱/۲	۱/۴۵	۱/۳۵	۰/۱۰	۰/۰۷
	F	(mgr/lit)	۱۲۵	۳۷۵	۲۴۵/۴۵	۱۰۷/۴۹	۰/۴۴
	$N_0$	(mgr/lit)	۱۴۱/۳۹	۳۴۹/۹۱	۲۳۶/۸۵	۷۵/۷۰	۰/۳۲
	$\theta_i$	%	۴/۱۲	۶/۴۳	۴/۷۰	۰/۶۶	۰/۱۴
	sand	%	۴۶	۷۶	۶۰/۹۵	۱۲/۸۹	۰/۲۱
	silt	%	۱۳	۲۲	۱۷/۳۱	۳/۸۸	۰/۲۲
clay	%	۱۱	۳۶	۲۱/۷۴	۱۰/۲۰	۰/۴۷	
زیر سطحی	R	cm	۵	۵۶/۴۰	۲۲/۳۰	۱۰/۶۸	۰/۴۸
	V	lit	۲۸/۸	۷۲	۵۰/۹۵	۱۷/۰۳	۰/۳۳
	Q	lit/hr	۴/۸	۱۲	۸/۴۹	۲/۸۴	۰/۳۳
	$K_s$	cm/hr	۶/۲۵	۱۳/۳۱	۹/۸۳	۲/۸۶	۰/۲۹
	$\rho_b$	gr/cm <sup>3</sup>	۱/۲	۱/۴۵	۱/۳۴	۰/۱۰	۰/۰۸
	F	(mgr/lit)	۱۲۵	۳۷۵	۲۵۸/۵۴	۹۷/۸۴	۰/۳۸
	$N_0$	(mgr/lit)	۱۳۳/۷۳	۴۱۶/۶۱	۲۷۸/۳۷	۶۲/۲۸	۰/۲۲
	$\theta_i$	%	۳/۲۲	۶/۳۷	۴/۴۲	۰/۹۲	۰/۲۱
	sand	%	۴۶	۷۶	۵۹/۸۰	۱۲/۶۸	۰/۲۱
	silt	%	۱۳	۲۲	۱۷/۵۴	۳/۷۷	۰/۲۱
clay	%	۱۱	۳۶	۲۲/۶۶	۱۰/۱۸	۰/۴۵	
z	cm	۱۵	۴۵	۳۱/۰۸	۱۱/۷۷	۰/۳۸	



توزیع افقی آب در خاک‌های سنگین بیشتر است، عرض محفظه مربوط به خاک سنگین (۱/۲ متر) بزرگ‌تر از خاک‌های با بافت سبک و متوسط (هر کدام ۰/۹ متر) طراحی شد (شکل ۱). قطره‌چکان‌ها در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. دبی قطره‌چکان‌ها مورد استفاده در این تحقیق (نتافیم ساخت کشور آمریکا) ۲/۴ (Q1)، ۴ (Q1) و ۶ (Q2) لیتر بوده و مدت زمان آبیاری در کلیه تیمارها ۶ ساعت بود. نمای کاملی از موقعیت نصب تجهیزات در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین تیمارهای کود آبیاری شامل سه تیمار با غلظت نیترات ۱۲۵، ۲۵۰ و ۳۷۵ میلی‌گرم در لیتر بود. به منظور اعمال تیمارهای کود آبیاری در این تحقیق از کود اوره (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O) (۴۶ درصد ازت) استفاده گردید. دلیل انتخاب کود اوره این است که این کود در بین کشاورزان عمومیت دارد و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین به عنوان یک ترکیب مطمئن که دارای حلالیت کامل می‌باشد شناخته شده است. اما سایر ترکیبات ممکن است انحلال کامل را پیدا نکنند و موجبات گرفتگی قطره-چکان‌ها را فراهم کنند. در تحقیق حاضر تیمارهای کود آبیاری در یک سوم انتهایی زمان آبیاری انجام شد. همچنین به منظور جلوگیری از ایجاد جریان‌ات ترجیحی در حین آزمایش، با استفاده از چسب و پاشیدن شن، یک سطح نسبتاً زبر ایجاد گردید؛ به گونه‌ای این چسب شفافیت بدنه مدل را حفظ کرده بود (Kandelous and Simunek, 2010b). همچنین پس از پایان آزمایش‌ها و در هنگام تخلیه خاک از محفظه‌ها، از نقاط مشخص شده در شکل ۲ نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل گردید تا رطوبت و نیترات خاک اندازه‌گیری شود. تخلیه محفظه‌ها بایستی به صورت کاملاً دقیق انجام گیرد و در هنگام تخلیه آن نمونه‌های رطوبت و نیترات به وسیله بیلچه جمع‌آوری (مطابق شکل ۲) گردد. به منظور اندازه‌گیری نیترات ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزمایشگاه نگهداری گردید تا خشک شوند سپس با تهیه نسبت-

## معیارهای ارزیابی

از جمله معیارهای ارزیابی پر کاربرد در علوم مهندسی آب، پارامترهای آماری میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) می‌باشند. برای بررسی و ارزیابی دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شدند که به ترتیب که در روابط زیر آورده شده‌اند.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (8)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (9)$$

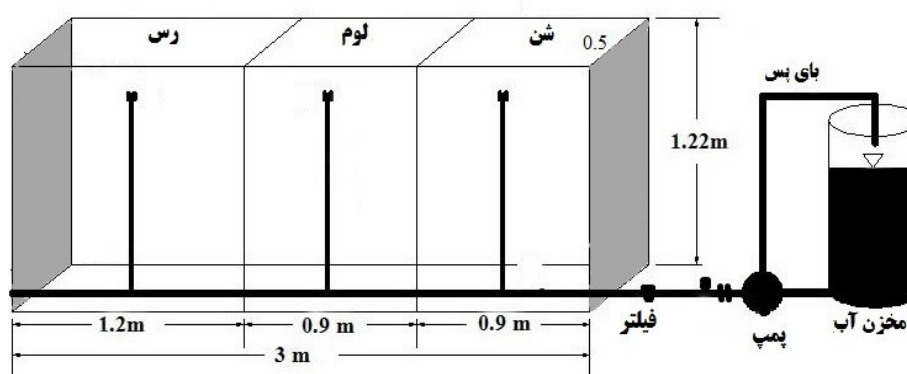
در روابط بالا  $O_i$  و  $\bar{O}$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی و میانگین مقادیر مشاهداتی،  $P_i$  مقادیر محاسباتی،  $\bar{P}$  میانگین مقادیر محاسباتی و  $N$  تعداد داده‌ها می‌باشد (Misra et al., 2009)

## مدل آزمایشگاهی

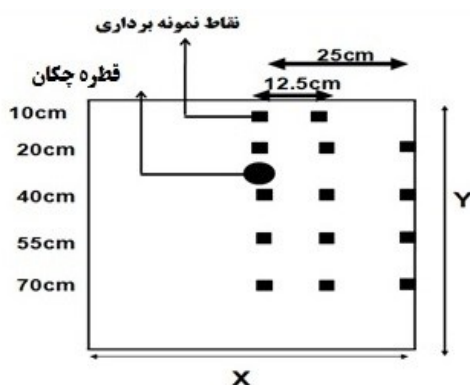
این تحقیق که شامل ۳۶ آزمایش می‌باشد در یک مدل پلکسی گلاس با ابعاد ۳m×۱/۲۲m×۰/۵m و در آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسید. این تحقیق از بهار سال ۱۳۹۱ تا پاییز این سال به طول انجامید. قابل ذکر است که انجام مدل آزمایشگاهی جزء این تحقیق نمی‌باشد و صرفاً از داده‌های آزمایشگاهی این تحقیق استفاده شده است. این محفظه شفاف به سه بخش مجزا تفکیک شده (شکل ۱) و امکان انجام هم‌زمان سه آزمایش هم-زمان فراهم شده بود. در این مطالعه از سه نوع بافت (متوسط، سنگین و سبک) استفاده گردید (جدول ۲). طراحی مدل آزمایشگاهی به گونه‌ای انجام گرفت که هر قسمت مربوط به یک نوع خاک باشد. با توجه به اینکه

گرفته و آماده اندازه‌گیری گردید. در نهایت نیترات با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۴۱۰ اندازه‌گیری شد.

های مشخص عصاره اشباع و قرار دادن در داخل شیکر این نمونه‌ها کاملاً مخلوط می‌گردید. سپس این عصاره با عبور از کاغذ صافی در داخل ظرف‌های مخصوص قرار



شکل ۱- لایسیمتر آزمایشگاهی و اتصالات مربوط برای انجام آزمایشات



شکل ۲- نمایی از نقاط اندازه‌گیری نیترات در هر محفظه و نمایی از نمونه‌برداری خاک در نقاط مشخص شده پس از انجام آزمایش.



جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده.

نمونه خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	چگالی ظاهری (gcm <sup>-3</sup> )	هدایت هیدرولیکی اشباع (cmhr <sup>-1</sup> )	درصد رطوبت وزنی اشباع (%)
بافت سنگین	۳۶	۱۸	۴۶	رسی - شنی	۱/۲	۶/۲۵	۳۷/۵
بافت متوسط	۲۳	۲۲	۵۵	لومرسی شنی	۱/۳۵	۹/۳۶	۳۴/۵
بافت سبک	۱۱	۱۳	۷۶	شنی لومی	۱/۴۵	۱۳/۳۱	۳۰/۱

سانتی‌متر مربع و ۰/۰۳۶ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمده است و در آبیاری زیرسطحی مقادیر آماره‌های ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا در دوره صحت‌سنجی را به‌ترتیب برابر با ۰/۸، ۰/۰۴۱، ۰/۰۵۴ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۰/۰۵۴ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب تخمین زده است. نتایج مقادیر MAE، RMSE و R در دوره‌های آموزش و صحت‌سنجی نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین نیترات از دقت قابل قبولی برخوردار است. استفاده از این مدل جهت تخمین نیترات با خطای قابل قبول، می‌تواند نشان دهنده عملکرد مناسب مدل شبکه عصبی مصنوعی باشد

## نتایج و بحث

### شبکه عصبی مصنوعی

در این مطالعه از شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین نیترات در آبیاری سطحی و زیرسطحی استفاده شد. آماره‌های ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا در دوره‌های آموزش و صحت‌سنجی محاسبه گردید و نتایج ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول، ساختار ۱۱-۱۴-۱ به ترتیب ۱۱ ورودی، ۱۴ گره پنهان و ۱ گره خروجی را شامل می‌شود. با توجه به نتایج جدول این مدل مقادیر آماره‌های ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا در دوره صحت‌سنجی در آبیاری سطحی به‌ترتیب برابر با ۰/۹۳، ۰/۰۲۸، ۰/۰۲۸ میلی‌گرم بر

جدول ۳- آماره‌های عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین نیترات در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

شرایط آزمایش	ساختار	آموزش			صحت‌سنجی		
		RMSE (mgr/cm <sup>3</sup> )*10 <sup>-3</sup>	MAE (mgr/cm <sup>3</sup> )*10 <sup>-3</sup>	R	RMSE (mgr/cm <sup>3</sup> )*10 <sup>-3</sup>	MAE (mgr/cm <sup>3</sup> )*10 <sup>-3</sup>	R
سطحی	۱-۱۴-۱۱	۳۴/۹۱	۲۱/۴۰	۰/۹۳	۳۶/۷۴	۲۸/۴۸	۰/۹۳
زیرسطحی	۱-۱۴-۱۲	۵۰/۸۴	۳۹/۹۳	۰/۸۹	۵۴/۶۳	۴۱/۵۶	۰/۸۰





## مقایسه عملکرد مدل‌های مورد بررسی

به منظور ارزیابی مدل شبکه عصبی ارایه شده نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج مدل‌های ارایه شده توسط کریمی و همکاران (۱۳۹۵) و کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده (R) شبکه عصبی برای برآورد نیترات در آبیاری قطره-ای سطحی و برای خاک رسی مقدار ۰/۹ می‌باشد و مقادیر خطای RMSE و MAE به ترتیب مقادیر ۰/۰۵۲ و ۰/۰۳۵ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد (جدول ۴). همچنین مقادیر ضریب همبستگی برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۵) و برای خاک رسی (آبیاری قطره‌ای سطحی) مقدار ۰/۷۸ می‌باشد و مقادیر خطای RMSE و MAE به ترتیب مقادیر ۰/۰۸۲ و ۰/۰۶۹ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی دارای برتری نسبی به مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۵) می‌باشد. همچنین نتایج ارزیابی ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در مدل شبکه عصبی مصنوعی و برای خاک لومی و شنی (آبیاری قطره‌ای سطحی) به ترتیب مقادیر ۰/۹۴ و ۰/۹۳ می‌باشد و مقادیر خطای RMSE و MAE در شبکه عصبی و برای خاک لومی به ترتیب مقادیر ۰/۰۳ و ۰/۰۲۳ و برای خاک شنی به ترتیب مقادیر ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۵ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. در شکل ۳ مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل شبکه عصبی و برای سه بافت خاک مورد بررسی در آبیاری قطره‌ای سطحی آورده شده است. در حالیکه مطابق با جدول ۴ مشخص است که مقادیر ضریب همبستگی برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۵) و برای خاک لومی و شنی به ترتیب مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۹۱ می‌باشد و مقادیر خطای RMSE و MAE برای خاک لومی به ترتیب ۰/۰۴۳ و ۰/۰۳۸ و برای خاک شنی به ترتیب مقادیر ۰/۰۳۱ و ۰/۰۲۴ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب

می‌باشد که به نوبه خود نشان‌دهنده برتری مدل شبکه عصبی نسبت به مدل آنالیز ابعادی می‌باشد. همچنین با توجه به جدول ۴، مقادیر ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در مدل شبکه عصبی و برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی و برای اعماق نصب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر در خاک رسی به ترتیب مقادیر ۰/۸۱، ۰/۸۳ و ۰/۸۷ می‌باشد و برای مدل کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) این مقادیر ۰/۶۲، ۰/۶۵ و ۰/۷ می‌باشد. همچنین مقادیر خطای RMSE و MAE در مدل شبکه عصبی برای خاک رسی و به ترتیب برای عمق نصب ۱۵ سانتی‌متر ۰/۰۶۴ و ۰/۰۵۴، برای عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر ۰/۰۸۳ و ۰/۰۷۳ و برای عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر ۰/۰۶۸ و ۰/۰۵۷ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. همچنین مقادیر خطای RMSE و MAE در مدل کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) و برای خاک رسی و به ترتیب برای عمق نصب ۱۵ سانتی‌متر ۰/۱۰۶ و ۰/۰۸۷، برای عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر ۰/۱۱۷ و ۰/۰۹۱ و برای عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر ۰/۱۱۱ و ۰/۰۹ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی در خاک رسی دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل کریمی است و مقادیر خطای آن نیز کمتر است. همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در مدل شبکه عصبی و برای خاک لومی و برای اعماق نصب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر به ترتیب مقادیر ۰/۹۶، ۰/۸ و ۰/۸۳ می‌باشد و برای مدل کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) این مقادیر ۰/۶۵، ۰/۳۴ و ۰/۶۵ می‌باشد. همچنین مقادیر خطای RMSE و MAE در مدل شبکه عصبی برای خاک لومی و به ترتیب برای عمق نصب ۱۵ سانتی‌متر ۰/۰۳۲ و ۰/۰۲۶، برای عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر ۰/۰۲۹ و ۰/۰۲۵ و برای عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر ۰/۰۴۸ و ۰/۰۳۸ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. همچنین مقادیر خطای RMSE و MAE در مدل کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) و برای خاک لومی و به ترتیب برای عمق نصب ۱۵



سانتیمتر ۰/۰۶ و ۰/۰۵۲ و برای عمق نصب ۴۵ سانتیمتر ۰/۱۱۳ و ۰/۰۹۸ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. در شکل ۴ مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل شبکه عصبی و برای خاک‌های مورد بررسی در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی آورده شده است. نتایج مقایسه‌ها نشان می‌دهد که در خاک شنی نیز مدل شبکه عصبی دارای عملکرد بهتر و خطای کمتر می‌باشد.

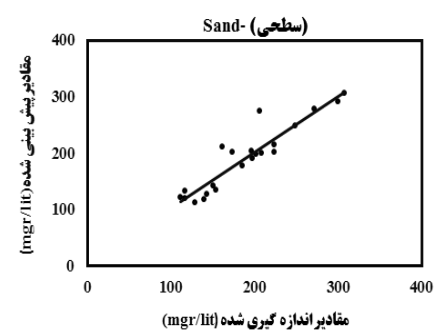
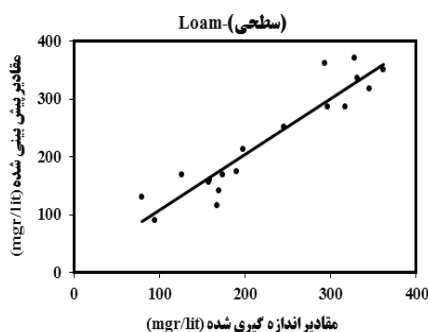
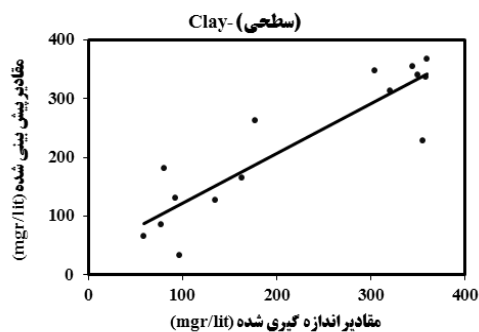
سانتیمتر ۰/۱۳۶ و ۰/۱۰۶، برای عمق نصب ۳۰ سانتیمتر ۰/۰۸۲ و ۰/۰۷۲ و برای عمق نصب ۴۵ سانتیمتر ۰/۰۹۵ و ۰/۰۷۹ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که در خاک لومی نیز مدل شبکه عصبی دارای عملکرد بهتری است. مطابق با جدول ۴ ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در مدل شبکه عصبی و برای خاک شنی و برای اعماق نصب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتیمتر به ترتیب مقادیر ۰/۹۷، ۰/۸ و ۰/۹۱ می‌باشد و برای مدل کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) این مقادیر ۰/۷، ۰/۷۲ و ۰/۶۷ می‌باشد. همچنین مقادیر خطای RMSE و MAE در مدل شبکه عصبی برای خاک شنی و به ترتیب برای عمق نصب ۱۵ سانتیمتر ۰/۰۲۹ و ۰/۰۲۳، برای عمق نصب ۳۰ سانتیمتر ۰/۰۳۷ و ۰/۰۳۱ و برای عمق نصب ۴۵ سانتیمتر ۰/۰۳۶ و ۰/۰۲۹ گرم بر سانتی‌متر بر مکعب می‌باشد. همچنین مقادیر خطای RMSE و MAE در مدل کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) و برای خاک لومی و به ترتیب برای عمق نصب ۱۵ سانتیمتر ۰/۰۸۱ و ۰/۰۶۳، برای عمق نصب ۳۰



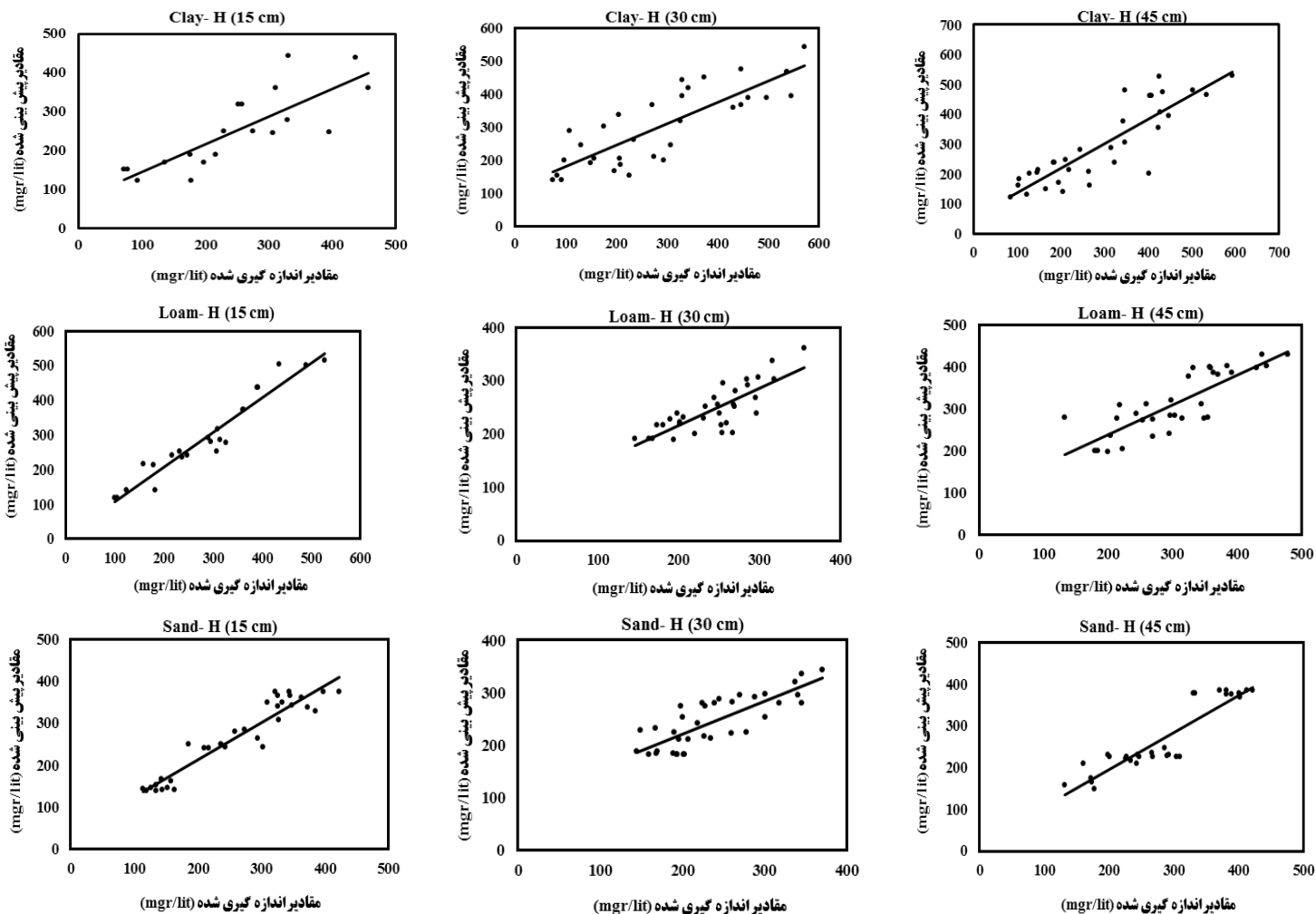
جدول ۴- پارامترهای آماری مربوط به مقایسه داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای نیترات در مدل کریمی و شبکه عصبی

مصنوعی

نیترات			عمق نصب	بافت خاک	مدل
RMSE (mgr/cm <sup>3</sup> )*10 <sup>-3</sup>	MAE (mgr/cm <sup>3</sup> )*10 <sup>-3</sup>	R			
۵۲/۷۰	۳۵/۹۳	۰/۹۰	سطحی	رسی	ANN
۶۴/۹۲	۵۴/۳۷	۰/۸۱	۱۵		
۸۳/۸۷	۷۳/۶۴	۰/۸۳	۳۰		
۶۸/۶۵	۵۷/۷۵	۰/۸۷	۴۵		
۳۰/۶۱	۲۳/۰۳	۰/۹۴	سطحی	لومی	
۳۲/۳	۲۶/۱۰	۰/۹۶	۱۵		
۲۹/۹۸	۲۵/۲۷	۰/۸۰	۳۰		
۴۸/۰۶	۳۸/۳۳	۰/۸۳	۴۵		
۲۲/۱۰	۱۵/۶۳	۰/۹۳	سطحی	شنی	
۲۹/۴	۲۳/۹۳	۰/۹۵	۱۵		
۳۷/۶۵	۳۱/۴۱	۰/۸۰	۳۰		کریمی
۳۶/۶۲	۲۹/۸۵	۰/۹۱	۴۵		
۸۲/۳۱	۶۹/۱۶	۰/۷۸	سطحی	رسی	
۱۰۶/۴۸	۸۷/۸۴	۰/۶۲	۱۵		
۱۱۷/۰۱	۹۱/۵۲	۰/۶۵	۳۰		
۱۱۱/۶۸	۹۰/۵۰	۰/۷۰	۴۵		
۴۳/۵۸	۳۸/۳۳	۰/۸۷	سطحی	لومی	
۱۳۶/۴۰	۱۰۶/۸۴	۰/۶۵	۱۵		
۸۲/۱۲	۷۲/۱۵	۰/۳۴	۳۰		
۹۵/۸۱	۷۹/۶۳	۰/۶۵	۴۵		
۳۱/۹۴	۲۴/۲۹	۰/۹۱	سطحی	شنی	
۸۱/۰۵	۶۳/۷۳	۰/۷۰	۱۵		
۶۰/۸۲	۵۲/۷۵	۰/۷۲	۳۰		
۱۱۳/۸۸	۹۸/۷۵	۰/۶۷	۴۵		



شکل ۳- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی برای نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی



شکل ۴- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی برای نترات در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی



### نتیجه‌گیری

آنالیزهای آماری نشان داد که این مدل‌ها عملکرد مناسبی در تخمین الگوی توزیع نیترات دارند و مقادیر خطا نیز اندک می‌باشد. همچنین نتایج مدل شبکه عصبی با نتایج مدل‌های ارایه شده توسط کریمی و همکاران (۱۳۹۵) و کریمی و سلطانی (۱۳۹۵) که با استفاده از آنالیز ابعادی روابطی را برای تخمین الگوی توزیع نیترات ارایه کرده بود، مقایسه گردید. نتایج مقایسات آماری نشان داد که در اکثر تیمارهای مورد بررسی مدل‌های شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل آنالیز ابعادی دارند. دلیل آن نیز بدین خاطر است مدل‌های شبکه عصبی در مقایسه با مدل‌های آنالیز ابعادی متغیرهای ورودی بیشتری را در نظر می‌گیرند که این به نوبه خود شناخت بیشتر مدل را از محیط پیچیده خاک فراهم می‌کند. همچنین یکی دیگر از مزیت‌های مدل پیشنهادی قابلیت تعمیم آن می‌باشد و می‌تواند برای بازه‌های گسترده‌تری از خاک مورد استفاده قرار گیرد.

آگاهی از الگوی توزیع کود بالاخص کود نیترات در کود آبیاری سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی می‌تواند به عنوان یک راهنما مد نظر کارشناسان باشد زیرا این شناخت کمک می‌کند تا با در نظر گرفتن مقادیر بهینه کود، دبی، حجم آب کاربردی، خصوصیات فیزیکی خاک و ... کود در ناحیه توسعه ریشه ذخیره و از هدر رفت نیترات که به نوبه خود مشکلات زیست محیطی زیادی به وجود آورده است جلوگیری کند. از جمله تکنیک‌هایی که برای مباحث شبیه‌سازی استفاده می‌شود مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد که به دلیل سادگی کاربرد مورد توجه اکثر کارشناسان می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده مدل‌هایی را برای پیش‌بینی الگوی توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی (با یازده پارامتر ورودی) و زیر سطحی (با دوازده پارامتر ورودی) ارایه شد. نتایج حاصل از

### منابع

- کریمی، ب و ع. سلطانی. ۱۳۹۵. بسط روابطی به‌منظور تخمین الگوی توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد ۲۳، شماره ۴، ص ۱۳۷ تا ۱۵۴.
- کریمی، ب، ف. میرزایی و ت. سهرابی. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی الگوی توزیع نیترات در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی به‌روش آنالیز ابعادی. مجله پژوهش آب در کشاورزی جلد ۲۵، شماره ۱، ص ۱۰۱ تا ۱۱۲.
- میرزایی، ف، ع. م. لیاقت، ت. سهرابی و م. امید. ۱۳۸۴. نمونه‌سازی جبهه رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره‌ای نواری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۶، شماره ۲۲، ص ۵۳ تا ۶۶.
- Al-Ogaidi, A.A.M., A. Wayayok, M.K. Rowshona and A.F. Abdullah. 2016. Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. *Journal of Agricultural Water Management* 176: 203-213.
- ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. 2000. Artificial neural networks in hydrology, I: preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2): 115-123.
- Blaine, R.H., J. Simunek and J.W. Hopmans. 2006. Evaluation of urea-ammonium-nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agricultural water management*. 86: 102-113.
- Bufon, V.B. 2010. Optimizing Subsurface Drip Irrigation Design and Management with Hydrus-2D/3D Model. Ph.D. thesis, Texas Tech University.
- Cook, F.J., P.J Thorburn, P. Fitch, P.B. Charlesworth and K.L. Bristow. 2006. Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Environmental Modelling and Software*. 21: 1353-1359.



- Demuth H, Beale M (1998) Neural network toolbox for use with MATLAB. The Math Works, Natick, Mass.
- Ehteshami M., N. Dolatabadi Farahani and S. Tavassoli. 2016. Simulation of nitrate contamination in groundwater using artificial neural networks. *Journal of Modeling Earth Systems and Environment*. 2 (28): 1-10.
- Hanson B. R, J. Simunek and J. W. Hopmans. 2006. Evaluation of urea-ammonium-nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agricultural Water Management*. 86: 102-113.
- Kandelous, M.M and J. Simunek. 2010(a). Comparison of numerical, analytical and empirical models to estimate wetting pattern for surface and subsurface drip irrigation. *Irrigation Science*. 28: 435-444.
- Kandelous, M.M., and J. Simunek. 2010(b). Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. *Agricultural Water Management*. 97: 1070-1076.
- Lamm, F.R., A.J. Schlegel and G.A. Clark. 2004. Development of a best management practice for nitrogen fertigation of corn using SDI. *Applied Engineering Agriculture*. 20:2. 211-220.
- Lazarovitch, N., A.W. Warrick, A. Furman and J. Simunek. 2007. Subsurface water distribution from drip irrigation described by moment analyses. *Vadose Zone Journal*. 6: 116-123.
- Li, J., J. Zhang and M. Rao. 2004. Wetting Pattern and Nitrogen Distribution as Affected by Fertilization Strategies from a Surface Point Source. *Agricultural Water Management*. 67: 89-104.
- Li, J., R. E. Yoder, L. O. Odhiambo and J. Zhang. 2004. Simulation of nitrate distribution under drip irrigation using artificial neural networks. *Irrig Sci* 23(1):29-37.
- Li, J., Ji. Sheng, Ji. Hong-yan, Li. Bei and Y. Liu. 2007. Wetting patterns and nitrate distributions in layered-textural soils under drip irrigation. *Agricultural Sciences in China*. 6: (8). Pp: 970-980.
- Provenzano, G. 2007. Using HYDRUS-2D simulation model to evaluate wetted soil volume in subsurface drip irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 133:4. 342-349.
- Singh D. K., T. B. Rajput, H. Sikarwar and V.T Ahmad. 2006, Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agricultural water management*, 83:130-134.
- Siyal, A.A and T.H. Skaggs. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural water management*. 96: 893-904.
- Singh, D.K., T.B.S. Rajput, D.K. Singh, H.S. Sikarwar, R.N. Sahoo and T. Ahmad. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agricultural Water Management*. 83: 130-134.
- Sheng, S.Q., L. Zuoxin, W. Zhenying and L. Haijun. 2007. Simulation of the soil wetting shape under porous pipe sub irrigation using dimensional Analysis. *Journal of irrigation and drainage*. 56: 389-398.
- Khanna, T. 1990. Foundation of neural networks. Addison-Wesley Publishing Company. U.S.A. 327 pp.
- Misra, D., T. Oommen, A. Agarwal and S.K Mishra. 2009. Application and analysis of Support Vector machine based simulation for runoff and sediment yield. *Journal of Biosystems Engineering*, Vol.103, PP. 527-535.



## Simulation of Nitrate Distribution Pattern in Drip Irrigation Systems using artificial neural network

Bakhtiar karimi<sup>1</sup>, Parva Mohammadi<sup>2</sup>

### Abstract

Surplus application of nitrate can lead to contamination of groundwater resources. Accurate knowledge of nitrate distribution in the root zone is essential for the design and management of drip irrigation systems. In this study, artificial neural network (ANN) model is used based on strong pattern recognition technique that made reasonable relations between input and output parameters. In order to simulate the nitrate distribution pattern, the Experiments were set on three different soil textures for surface and subsurface drip irrigation systems. The drippers were installed at 3 different soil depths (i.e. 15, 30 and 45 cm). The emitter outflows were considered as 2.4, 4 and 6 lit/hr. The fertigation treatments include treatments with nitrate concentrations of 125, 250 and 375 mg/liter. The effective variables include the initial nitrate of soil, nitrate concentrations in fertigation, initial soil moisture content, radial distance of points, applied water volume, saturated hydraulic conductivity, emitter discharge, emitter installation depth, soil bulk density, and the proportions of sand, silt and clay of soil. The mentioned variables were utilized for estimation of nitrate distribution pattern of surface and subsurface drip irrigation systems using ANN model. The comparisons results of simulated and measured values indicated that ANN models were capable methods for prediction of nitrate distribution. The values of correlation coefficient (R) were ranged 0.9-0.94 and 0.8-0.96 for surface and subsurface drip irrigation systems, respectively.

**Keywords:** drip irrigation; artificial neural network; simulation; nitrate

<sup>1</sup> Assistant professor of Water Sciences and Engineering Department, Agriculture Faculty, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup> M.S.C of Water Resources, Agriculture Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran