

استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در برآورد ضریب انتشار طولی آلاینده در رودخانه

اکبر صفرزاده گندشمین، پرویز فتحی، حبیب خداوردی‌نو و مهدی کوچکزاده

به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب- دانشگاه تربیت مدرس، دانشجوی دکتری آبیاری - دانشگاه تربیت مدرس، دانشجوی دکتری خاکشناسی- دانشگاه تربیت مدرس و استادیار گروه آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

گسترش روزافزون فعالیتها و تمرکز نیروهای انسانی همراه با رشد و تکامل صنعت و کشاورزی مشکلات زیادی برای منابع آب ایجاد کرده است. ورود پسابها و آلودگیهای صنعتی و کشاورزی به منابع آب از جمله این مشکلات است. در این میان، منابع آبی سطحی، خصوصاً رودخانه‌ها بیش از دیگر منابع در معرض خطر هستند.

بطور معمول ورود آلاینده‌ها به منابع آبهای سطحی به دو شکل نقطه-ای (مانند آلاینده‌های خروجی از یک کارخانه شیمیایی، نیروگاه اتمی و یا یک واحد تصفیه فاضلاب) و غیرنقطه‌ای (مانند ورود سموم از مزارع کشاورزی و یا حوضه‌های آبریز به داخل رودخانه) صورت می‌گیرد. ورود یک آلاینده شیمیایی به سیستم آبی اثرات زیان‌باری بر کیفیت آب و خاک پائین‌دست می‌گذارد. بدین منظور لازم است تا تئوری پدیده حاکم بر میدان مزبور شناسایی شده و فرایند پخش و انتقال ماده آلوده‌کننده با استفاده از معادلات حاکم پیش‌بینی گردد. از آنجاکه معادلات حاکم بر پخش آلودگی در رودخانه دارای ضرایبی تجربی است، لذا برای استفاده از روشهایی از قبیل روشهای عددی باید ضرایب مزبور به مدل معرفی شوند.

آلاینده پس از ورود به جریان یک سیال، در یک زمان معین در جهات مختلف با سیال ترکیب شده و منجر به توزیع یکنواخت غلظت در داخل مقطع عرضی می‌شود. پس از این زمان، ماده مورد نظر متناسب با شرایط جریان و هندسه کانال در امتداد جریان پخش می‌گردد. لذا، برای یک سیستم آبی (رودخانه) فرض می‌کنیم که آلاینده پس از تزریق در محل مورد نظر بطور کامل با آب مخلوط می‌گردد. افزون بر این برای سادگی، جریان یک‌بعدی در نظر گرفته شده و لذا تنها پراکندگی طولی (Longitudinal Dispersion) و سرعت جریان آب (Advection Phenomena) در انتقال آلاینده موثر

است. هدررفت آلاینده در طی مسیر جریان نیز تابعی درجه اول فرض می‌گردد. با توجه به معادله بیلان جرمی (جرم‌های ورودی و خروجی) معادله انتقال آلاینده در یک سیستم آبی در مقطعی از آن سیستم بدین گونه است (۱):

$$\text{Inflow: } QCA\Delta t - D_L A \frac{\partial C}{\partial x} \Delta t \quad (1)$$

$$Q \left[C + \frac{\partial C}{\partial x} \Delta x \right] \Delta t - D_L A \left[\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \Delta x \right] \Delta t \quad (2)$$

$$\text{Outflow: } \text{Sink: } UkC \Delta t \quad (3)$$

که در آنها: Q دبی یا جریان حجمی در واحد زمان (m^3/s)، C غلظت آب آلوده شده (mg/lit or mg/m^3)، D_L ضریب انتشار طولی (m^2/s)، X فاصله نقطه ورود آلاینده تا محل مورد بررسی (m)، U سرعت متوسط آب (m/s) و k ضریب هدررفت آلاینده در آب (s^{-1}).

در معادلات فوق، ضریب انتشار طولی (D_L) - که بیانگر نرخ اختلاط آلاینده یا رسوب معلق در امتداد کانال می‌باشد- پارامتری کلیدی در مدلسازی عددی انتشار آلودگی و نیز پدیده انتقال رسوب (بار معلق) است. پژوهشها نشان می‌دهند که پارامترهای بیشمار بر ضریب انتشار طولی آلاینده در رودخانه تاثیر می‌گذارند. فیشر با اندازه-گیریهایی نشان داد که مقدار این پارامتر برای رودخانه‌های مختلف، تغییرات زیادی دارد (۳). بطور کلی، پارامترهای موثر بر ضریب انتشار طولی آلاینده را می‌توان به دو دسته پارامترهای هیدرولیکی جریان و شرایط هندسی مجرا تقسیم‌بندی کرد. به بیان ریاضی می‌توان نوشت:

و برای آموزش و آزمون دقت و صحت شبکه استفاده گردید. در این مرحله، پراکندگی داده‌های آموزش با سعی و خطا به گونه‌ای انتخاب شد که شبکه جوابهای بهتری را نسبت به داده‌های آزمایشی بدهد. برای آموزش شبکه از نرم‌افزار THINKS PRO استفاده شد. بر پایه پژوهشهای پیشین یک شبکه پرسپترون با یک لایه میانی در برآورد هر تابع غیرخطی تواناست. بنابراین، برای تعیین تعداد لایه‌های پنهان شبکه ابتدا با فرض داشتن یک لایه، اقدام به یافتن تعداد مطلوب نرون‌ها گردید. بدین منظور، با تغییر تعداد نرون‌های لایه پنهان از ۱ تا ۳۵ شبکه آموزش داده شد و میانگین مربعات خطا در هر گام ثبت گردید. در پایان، تعداد ۱۳ نرون در لایه پنهان با داشتن کمترین خطا در مرحله آموزش و آزمون به عنوان مناسبترین حالت انتخاب گردید (شکل ۱).

سپس، توابع آستانه مختلفی برای نرونهای لایه‌های میانی و خروجی در نظر گرفته شد که شبکه‌ای با تابع سیگموئیدی دو قطبی در لایه پنهان و تابع خطی در لایه خروجی کمترین خطا را داشت. مقدار بهینه آهنگ یادگیری (α) با روش سعی و خطا برابر با ۰/۰۱ انتخاب شد. در پایان، اقدام به آموزش نهایی شبکه گردید و وزن نهایی نرون‌ها تعیین شد. با توجه به نمودار تغییرات خطای شبکه برحسب تعداد تکرار روند آموزش (شکل ۲)، تعداد تکرار ۱۲۵۰ دارای حداقل خطای آزمون بود و به عنوان تکرار مناسب انتخاب گردید.

نتایج و بحث

شکل‌های (۳) و (۴) پیش‌بینی‌های شبکه عصبی طراحی شده و مدل‌های تجربی (معادلات ۵ و ۶) را برای سری داده‌های آزمون و تست شبکه نسبت به نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهند. بر اساس این نتایج، همخوانی نتایج شبکه عصبی با مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت به دو مدل تحلیلی بسیار بهتر است. برای بررسی کمی دقت مدل‌های مورد نظر از آماره‌های زیر استفاده شد (جدول ۱).

$$D_L = f(U, U_*, H, W, v) \quad (4)$$

که U_* سرعت برشی، H عمق جریان، W عرض رودخانه و U لزجت سینماتیکی جریان می‌باشد.

بر پایه پژوهشهای پیشین، روابط گوناگونی بر مبنای شرایط جریان و هندسه کانال با استفاده از رگرسیون و تحلیل پارامترهای بی‌بعد زیرین

برای بررسی ضریب انتشار طولی ارائه شده است. سئو و چئونگ (۱۹۹۸) رابطه (۵) و فالکونر (۲۰۰۲) رابطه (۶) را برای بیان پارامتر بی‌بعد ضریب انتشار طولی ارائه کردند (۴ و ۲):

$$\frac{D_L}{HU_*} = 5.915 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.620} \left(\frac{U}{U_*} \right)^{1.428} \quad (5)$$

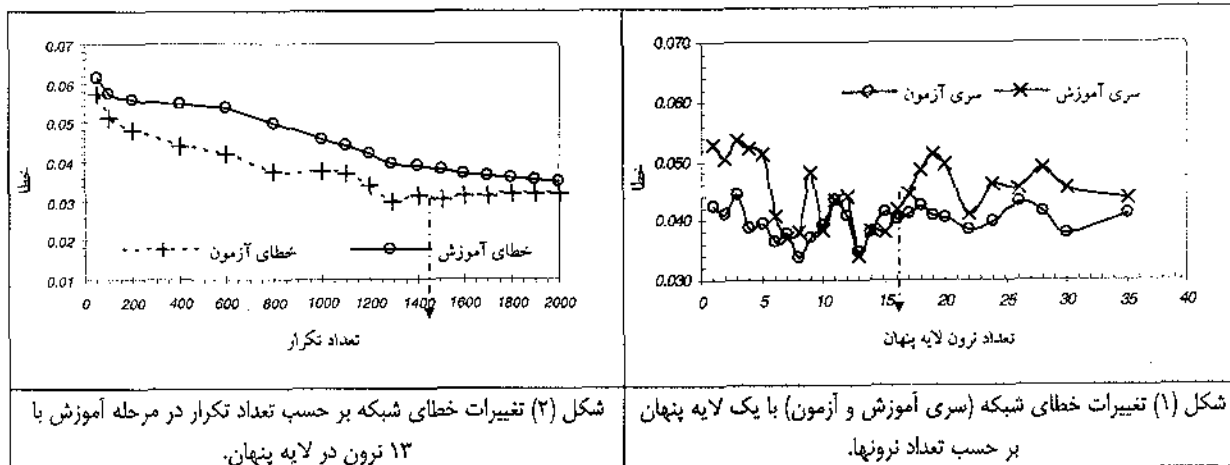
(۶)

$$\frac{D_L}{HU_*} = \left[7.428 + 1.775 \left(\frac{W}{H} \right)^{0.620} \left(\frac{U}{U_*} \right)^{0.572} \right] * \left(\frac{U}{U_*} \right)^2$$

که این روابط به ترتیب مدل‌های تحلیلی اول و دوم نامیده می‌شوند. تمام روابط ارائه شده برای ضریب انتشار طولی، بر اساس داده‌های منطقه‌ای خاص بوده و باید با استفاده از ابزاری مناسب این ضریب را برای نواحی مختلف پیش‌بینی کرد. هدف از این مقاله پیش‌بینی ضریب انتشار طولی آلاینده در معادلات جایجائی-انتشار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است.

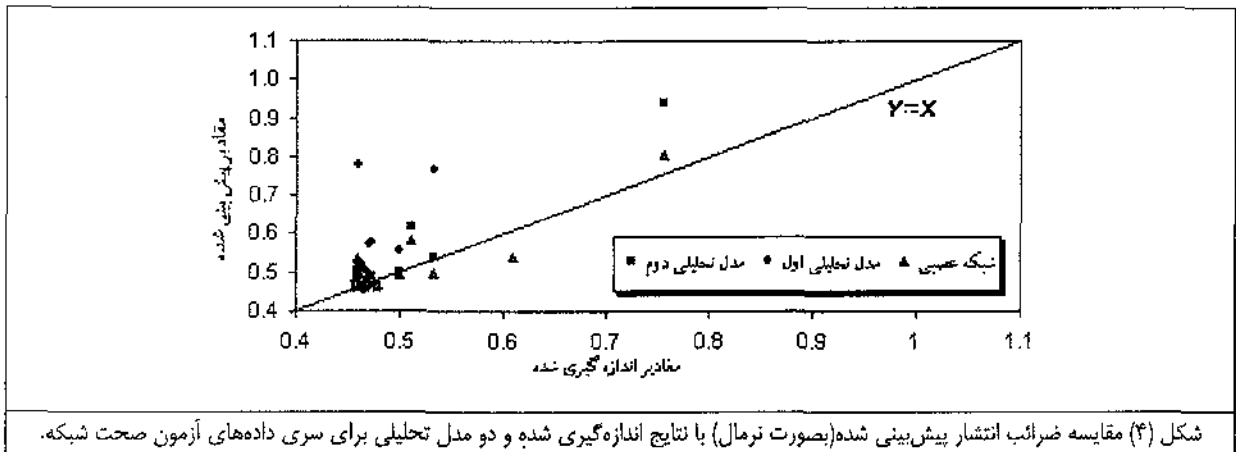
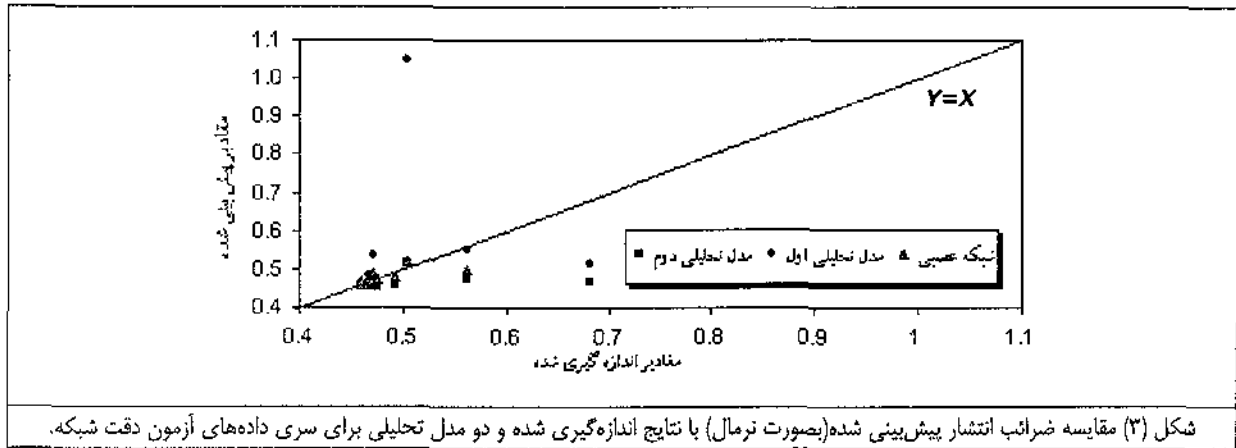
مواد و روش‌ها

در این پژوهش از شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه با فرایند پیشرو استفاده گردید که در آن ۸۱ سری داده از مراجع مختلف بکار رفته است. سپس، داده‌ها به سه دسته به اندازه‌های ۲۱، ۵۰ و ۱۰ تقسیم



شکل (۱) تغییرات خطای شبکه (سری آموزش و آزمون) با یک لایه پنهان بر حسب تعداد نرون‌ها.

شکل (۲) تغییرات خطای شبکه بر حسب تعداد تکرار در مرحله آموزش با ۱۳ نرون در لایه پنهان.



پارامترهای فوق در بازه ۰ و ۱ نرمال شده و برای اندازه گیریها، مدل های تحلیلی اول و دوم و شبکه عصبی مصنوعی محاسبه شده اند.

شکل (۵) تغییرات متغیر مستقل $(\frac{D_i}{HU_*})$ نسبت به متغیرهای

ورودی $(\frac{W}{H}$ و $\frac{U}{U_*})$ را نشان می دهد. با توجه به شکل (۵)، توزیع

پیش بینی مدل تحلیلی اول بسیار ضعیف است. مدل دوم نسبت به مدل اول از دقت بالاتری دارد و الگوی تغییرات ضریب انتشار طولی همخوانی نسبتاً خوبی با اندازه گیریها دارد. مقایسه شکل های (۵-الف) و (۵-د) بیانگر دقت بالای شبکه عصبی طراحی شده در پیش بینی تغییرات ضریب انتشار طولی و انعطاف پذیری بیشتر این مدل نسبت به دو مدل تحلیلی است.

بر پایه این مطالعه با توجه به دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی در برآورد تغییرات ضریب انتشار طولی آلاینده در جریان رودخانه، وزن نهایی اتصالات شبکه و تابع تبدیل مورد استفاده را می توان در یک مدل عددی برای محاسبه ضریب انتشار طولی در مدلسازی مسائلی از قبیل کیفیت آب، انتشار آلودگی و فرایند انتقال رسوب بکار گرفت.

۱- نسبت اختلاف (Discrepancy Ratio):

$$DR = \log_{(10)} \frac{D_{ip}}{D_{im}} \quad (8)$$

۲- متوسط خطا (Mean of Error):

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |DR_i| \quad (9)$$

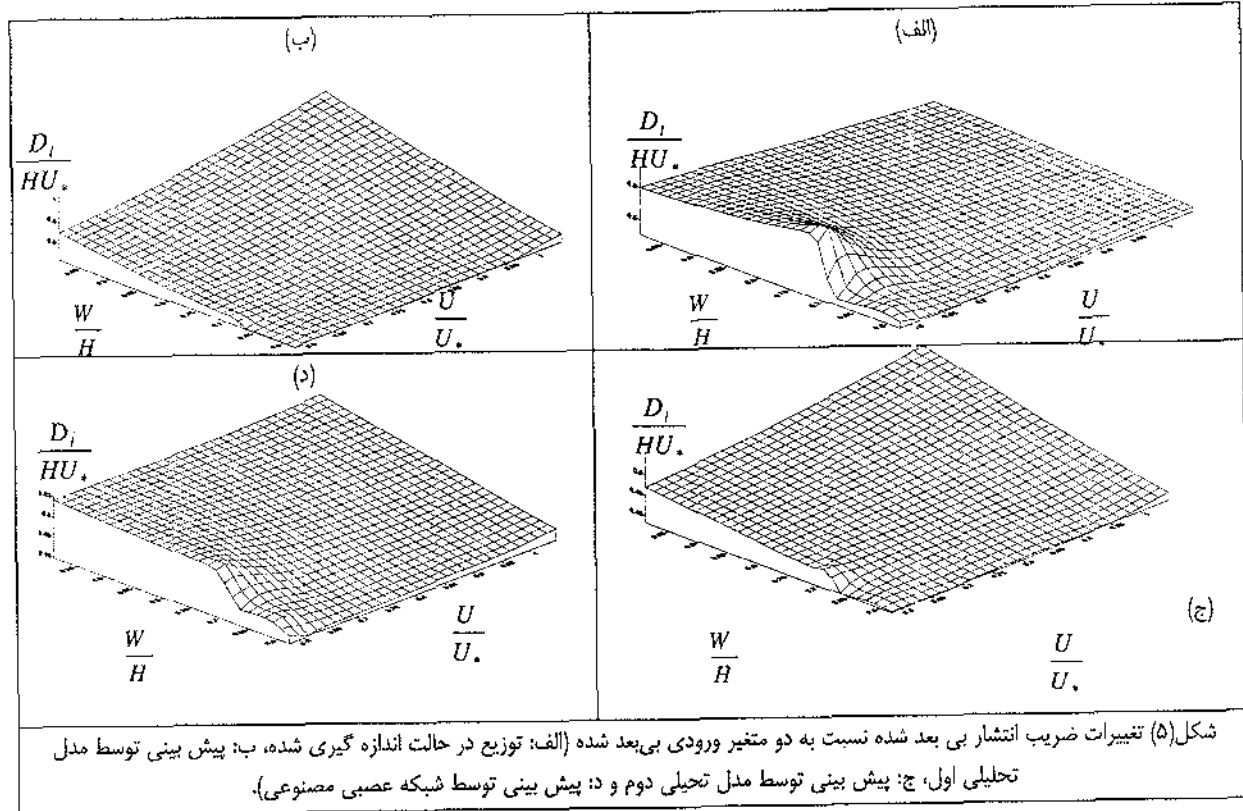
که D_{ip} و D_{im} به ترتیب بیانگر مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده ضریب انتشار طولی است. در صورتیکه این دو مقدار با هم برابر باشند، مقدار DR برابر صفر خواهد شد. پیش بینی مدل در DR بزرگتر از صفر، دست بالا و در DR کمتر از صفر، دست پایین است. دقت مدلی بالاتر است که متوسط خطا به صفر نزدیکتر باشد. با توجه به جدول (۱)، خطای پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی کمتر از مدل های تحلیلی مورد مطالعه است.

برای بررسی تغییرات ضریب انتشار طولی با متغیرهای ورودی سیستم، پارامترهای ورودی و خروجی از نظر هیدرولیکی بصورت زیر بی بعد شده اند:

$$\frac{D_i}{HU_*} = f\left(\frac{U}{U_*}, \frac{W}{H}\right) \quad (10)$$

جدول (۱) مقایسه مدل‌های مختلف با استفاده از تحلیل آماری

مدل	تعداد DR از ۸۱ عدد			ME
	DR<0.3	-0.3<DR<0.3	DR>0.3	
شبکه عصبی مصنوعی	۱۰	۶۳	۸	-/۱۷۴
مدل تحلیلی شماره ۱	۸	۵۱	۲۲	-/۳۶۵
مدل تحلیلی شماره ۲	۱۵	۵۲	۱۴	-/۲۲۱



3- Fischer, H.B. 1968. Dispersion predictions in natural streams. Journal of Sanitary Engineering Division. ASCE, 93: 187-216.

4- Seo, I.W. and T.S Cheong. 1998. Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 124: 25-32.

منابع مورد استفاده

- 1- Daily, W. and D. Harleman. 1966. Fluid dynamics. Addison-Wesley Publishing Company.
- 2- Falconer, R.A. 2002. Longitudinal dispersion coefficient in natural channels. Water Research, 36(6):1596-1608.