

ارزیابی شبکه‌های عصبی و منطق فازی در شبیه‌سازی نفوذ آب در جویچه‌های بازسازی شده و غیربازسازی شده در مزارع نیشکر

محسن احمدی^۱، سعید برومند نسب^۲، عبدعلی ناصری^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

نوع مقاله: کاربردی

مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری

چکیده

نیشکر از جمله گیاهان پر مصرف از نظر آبیاری است که در استان خوزستان و به روش جویچه‌ای بازسازی شده و غیربازسازی شده آبیاری می‌شود. عمده تلفات در این روش به صورت نفوذ انجام می‌شود لیکن اندازه‌گیری نفوذ در هر مزرعه بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. بنابراین ارائه روشی آسان و سریع برای تعیین و مدیریت نفوذ در این مزارع بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، در تحقیق حاضر به ارزیابی دو روش شبکه عصبی و منطق فازی در شبیه‌سازی نفوذ آب در ۵ کشت و صنعت نیشکر در استان خوزستان پرداخته شد. شبکه عصبی با ۱۲ سناریو (دو تابع فعال LogSig و TanSig با ۳، ۵ و ۷ نرون در لایه پنهان) و روش منطق فازی با ۸ سناریو (دو تابع عضویت TriMF و GaussMF با ۲ و ۳ تابع عضویت برای هر ورودی) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی با تابع فعال LogSig به همراه ۵ نرون لایه پنهان، خطا ($m^3.m^{-1}$) $RMSE=0.121$ ، دقت ($NRMSE=0.037$) و کارایی ($EF=0.99$ و $d=0.99$) مناسبی برای شبیه‌سازی نفوذ در جویچه‌های بازسازی شده داشت. روش شبکه عصبی با تابع فعال TanSig با ۵ نرون در لایه پنهان نیز خطا ($RMSE=0.20 m^3.m^{-1}$)، دقت ($NRMSE=0.11$) و کارایی ($EF=0.99$ و $d=0.99$) لازم برای شبیه‌سازی نفوذ در جویچه‌های غیربازسازی شده داشت. روش منطق فازی برای شبیه‌سازی در جویچه‌های غیربازسازی شده دقت و کارایی پایینی داشت ولی تابع عضویت TriMF-2 خطا ($RMSE=1/3 m^3.m^{-1}$)، دقت ($NRMSE=0.052$) و کارایی ($EF=0.98$ و $d=0.99$) قابل قبول را برای شبیه‌سازی نفوذ در جویچه‌های بازسازی شده داشت. براساس مقایسه نتایج کلیه سناریوها، روش دقت شبکه‌های عصبی نسبت به منطق فازی ۸۲ درصد بهتر بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، تابع عضویت TriMF، تابع فعال LogSig، روش بیلان حجم، کارایی مدل.

^۱ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، m.ahmadee@gmail.com

^۲ استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. boroomand@scu.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ استاد گروه آبیاری و زهکشی و مدیرعامل کشت و صنعت‌های نیشکر، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. abdalinaseri@scu.ac.ir

مقدمه

نیشکر (*Saccharum spontaneum L.*) گیاهی چند ساله و مهم در دنیا است و عمده شکر مصرفی در جهان را تولید می‌کند (Welker et al., 2019). در کشور ما، کشت این گیاه تنها در استان خوزستان انجام می‌شود. نیاز آبی این گیاه بسیار بالا و حدود ۳۰۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار است (زنگنه یوسف‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به مساحت ۱۰۰ هزار هکتاری تحت پوشش این گیاه در استان خوزستان، مقادیر بالایی آب برای آبیاری این گیاه زراعی مصرف می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). این موضوع سبب صرف هزینه بسیار برای تأمین آب این مزارع می‌گردد.

با توجه به شرایط حاکم در این استان، آبیاری نیشکر تنها با روش جویچه‌ای امکان پذیر است. جویچه‌های ایجاد شده در مزارع نیشکر، در اواسط کشت برگردانده شده و محل جویچه‌ها تغییر پیدا می‌کند. به این عمل هیلنگ‌آپ و به جویچه‌های حاصل از آن جویچه‌بازسازی شده گفته می‌شود. بنابراین شرایط آبیاری نیشکر در دو حالت غیربازسازی شده و بازسازی شده انجام می‌شود (احمدپور و همکاران، ۱۳۸۹).

مشکل عمده روش آبیاری جویچه‌ای، پایین بودن راندمان آن به دلیل تلفات نفوذ است و به طور عمده از ضعف مدیریت و طراحی نامناسب ناشی می‌شود. نفوذ آب فرایندی پیچیده و وابسته به پارامترهای متعددی است. از طرفی محاسبه همه‌ی این پارامترها در هر مزرعه مشکل و زمان‌بر است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۴). استفاده از پارامترهای موثر بر نفوذ، سبب افزایش راندمان در آبیاری سطحی (Smith et al., 2005) و کاهش تلفات نفوذ (Oyonarte et al., 2002) می‌شود.

در بین مشخصات هندسی جویچه، برخی پارامترها مانند شیب مزرعه اثر کمتری بر طراحی داشته و در مزارع تحت بهره‌برداری نیشکر امکان تغییر آن‌ها وجود ندارد. بنابراین، در مزارع نیشکر که قابلیت تغییر پارامترهای طراحی را ندارند تنها با اعمال مدیریت مناسب می‌توان راندمان مصرف آب را بالا برد.

پارامترهای طول جویچه، دبی ورودی، زمان پیشروی و فرصت نفوذ قابلیت تغییر در شرایط مختلف مزارع نیشکر را داشته همچنین بیشترین اثر را بر راندمان آبیاری (و میزان نفوذ) می‌گذارند (Bautista and Walker, 2010). پارامتر طول جویچه نیز در برخی شرایط امکان تغییر دارد ولی در اکثر مزارع امکان تغییر آن وجود ندارد. با این وجود به دلیل اهمیت آن بر میزان نفوذ در مزارع نیشکر (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷) می‌بایست مد نظر قرار گیرد. بنابراین اطلاع و استفاده از این پارامترها می‌تواند کمک شایانی به افزایش راندمان آبیاری کند.

تعیین مقدار نفوذ براساس روش‌های مختلف ریاضی و تجربی انجام می‌شود. این روش‌ها بسیار پر هزینه و زمان‌بر است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۴). به همین دلیل، استفاده از روش‌های سریع که نیاز به داده‌های کم و در دسترس داشته باشند برای برنامه‌ریزان و مدیران بسیار با اهمیت است. بر این اساس، روش‌های مختلفی از جمله شبکه‌های عصبی و منطق فازی بدین منظور پیشنهاد شده است (Mattar et al., 2015). این دو روش این خصوصیت را دارند که بدون اطلاع از روابط بین پارامترهای ورودی، بتوانند پارامتر هدف را پیش‌بینی یا شبیه‌سازی کنند (مهرابی گوهری و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدرضاپور، ۱۳۹۶؛ کریمی و محمدی، ۱۳۹۸). این خصوصیت سبب گسترش کاربرد این دو روش در بسیاری از زمینه‌های مرتبط با کشاورزی و آبیاری شده است. از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات (Seyedzadeh et al., 2020) و (Krishnan et al., 2020) اشاره کرد.

براساس ادبیات پژوهش، کاهش میزان نفوذ در مزارع نیشکر برای مدیران این مجموعه بسیار با اهمیت است. این مهم جز با بررسی سناریوهای متعدد در هر مزرعه امکان‌پذیر نیست. لیکن به دلیل عدم دسترسی به روشی سریع و دقیق برای تعیین نفوذ، بررسی این پارامتر برای سناریوهای مختلف در هر مزرعه انجام نمی‌شود. به همین دلیل، تحقیق حاضر به ارزیابی روش‌های شبکه عصبی و منطق فازی برای تعیین میزان نفوذ در مزارع نیشکر استان خوزستان پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق کشت و صنعت‌های دهخدا، امیرکبیر، فارابی، هفت‌تپه و کارون مورد مطالعه قرار گرفتند. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، طول جویچه‌ها در این مزارع بین ۲۶۸-۱۶۵ متر و دبی ورودی به این مزارع بین ۳/۰-۰/۹۶ لیتر در ثانیه متغیر بوده است. موقعیت این مزارع نیز در شکل (۱) نشان داده شده است.

برای تعیین میزان نفوذ در این مزارع از معادله کوستیاکف لوییس اصلاح شده (رابطه ۱) استفاده شد.

$$Z = kt^a + f_0t \quad (1)$$

که در آن، Z نفوذ تجمعی در واحد حجم بر طول جویچه ($m^3.m^{-1}$)، t زمان سپری شده (min)، f_0 میزان نفوذ پایه ($m^3.m^{-1}.min^{-1}$) و k و a پارامترهای ثابت هستند. به دلیل خصوصیات نفوذ در جویچه‌ها، از حل معادله بیلان حجم (رابطه ۲) به روش دو نقطه‌ای برای تخمین پارامترهای k و a استفاده شد.

$$Q_0t_x = A_0x + \int_0^x Z(t_x - t_s) ds \quad (2)$$

در این رابطه، Q_0 دبی ورودی به جویچه ($m^3.min^{-1}$)، t_x زمان سپری شده (min^{-1})، A_0 سطح مقطع ورود جریان به جویچه (m^2)، x طول پیشروی (m)، Z میزان نفوذ در واحد طول در زمان ($t_x - t_s$) ($m^3.m^{-1}$) و t_s زمان پیشروی (min) تا نقطه s است. با فرض دو نقطه در وسط و انتهای هر جویچه، می‌توان رابطه (۲) را به صورت زیر نوشت:

$$Q_0t_x = \delta_y A_0x + \delta_z Z_0x \quad (3)$$

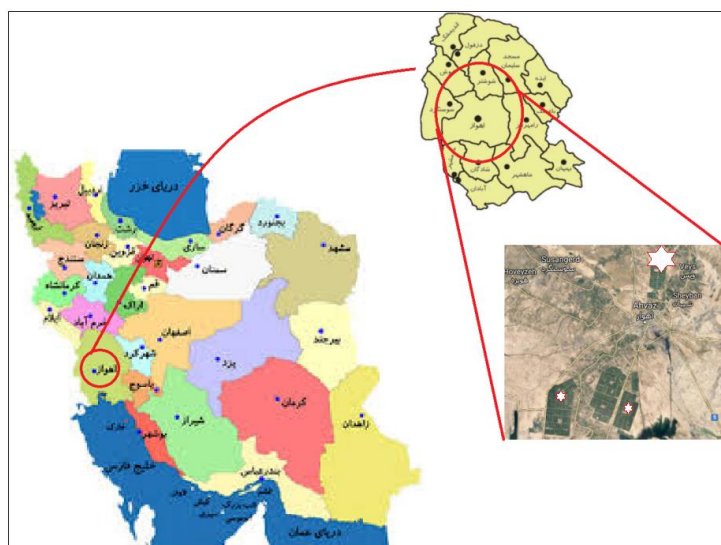
که در آن، Z_0 میزان نفوذ در ابتدا ($m^3.m^{-1}$)، δ_y ضریب شکل سطحی و δ_z ضریب شکل زیر سطحی است. با ترکیب رابطه (۳) و رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$Q_0t_x = \delta_y A_0x + \delta_z kt^a x + \frac{f_0 t x}{1+r} \quad (4)$$

مقدار f_0 از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$f_0 = \frac{Q_1 - Q_2}{L} \quad (5)$$

که در این رابطه، Q_1 و Q_2 به ترتیب میزان دبی در ابتدا و انتهای جویچه ($m^3.min^{-1}$) و L طول جویچه (m) است



شکل (۱): موقعیت کشت و صنعت‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر (موقعیت مزارع با ستاره مشخص شده است)

جدول (۱): مشخصات واحدهای زراعی مورد مطالعه

نام کشت و صنعت	بافت خاک	طول جویچه‌ها (متر)	شیب جویچه (درصد)	دبی مورد آزمایش (لیتر بر ثانیه)
هفت تپه	لومرسی/رسی سیلتی	۱۶۵ و ۲۶۸	۰/۰۱	۱/۴-۹/۴
دهخدا	سیلتی/لوم سیلتی	۲۵۷-۲۰۵	۰/۰-۰۳/۰۹	۱/۳-۷۴/۰
امیرکبیر	رسی/لومی	۲۶۰-۲۵۰	۰/۰-۰۳/۰۴	۱/۲-۲۹/۵۳
حکیم‌فارابی	رسی/رسی سیلتی	۲۴۵-۲۲۸	۰/۰-۰۱۵/۰۴۵	۰/۲-۹۶/۴۳
کارون	رسی/لومسیلتی	۲۵۲-۲۳۸	۰/۰-۰۱۶/۰۶۴	۱/۱-۱۴/۶۱

به منظور شبیه‌سازی نفوذ با استفاده از دو شبکه عصبی و منطق فازی، از پارامترهای طول جویچه، زمان پیشروی، فرصت نفوذ و دبی ورودی به عنوان پارامترهای ورودی استفاده شد. پیش از شبیه‌سازی، ابتدا نرمال‌سازی پارامترها براساس رابطه (۱۳) انجام شد:

$$x = \frac{x^* - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (13)$$

که در این رابطه، x مقدار پارامتر نرمال شده، x^* مقدار اولیه پارامتر، x_{\min} مقدار کمینه پارامتر و x_{\max} مقدار بیشینه پارامتر است.

برای ایجاد شبکه عصبی، از توابع فعال LogSig و TanSig برای نرون‌های لایه پنهان و تابع purelin برای نرون لایه خروجی استفاده شد. این توابع به ترتیب در رابطه‌های (۱۴) تا (۱۶) نشان داده شده است.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (14)$$

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (15)$$

$$f(x) = x \quad (16)$$

در روابط بالا، x نشان دهنده مقدار پارامتر است. برای هر شبکه عصبی، تعداد نرون‌های لایه پنهان ۳، ۵ و ۷ عدد در نظر گرفته شد. الگوریتم مورد استفاده جهت به روز کردن خطاها و وزن‌ها در شبکه عصبی، لونیگ-مارکوات بود. مدل منطق فازی نیز با استفاده از توابع عضویت TriMF (رابطه ۱۷) و GaussMF (رابطه ۱۸) و با در نظر گرفتن ۲ و ۳ تابع عضویت برای هر ورودی مورد ارزیابی قرار گرفت. تابع عضویت مورد استفاده جهت خروجی از نوع linear بود.

مقدار δ_y بین ۰/۷-۰/۹ است و بنا به پیشنهاد Walker and Strelkoff and Katopodes (۱۹۷۷) و Skogerboe (۱۹۸۷) برابر با ۰/۷۷ فرض می‌شود. متوسط سطح جریان نیز در طول مسیر یکسان و برابر با رابطه (۶) فرض می‌شود:

$$A_0 = \left(\frac{Q_0 n}{p_1 S^{0.5}} \right)^{p_2} \quad (6)$$

که در این رابطه، n ضریب زبری مانینگ، S_0 شیب جویچه ($m.m^{-1}$) و p_1 و p_2 پارامترهای هندسه جویچه است. برای تعیین δ_z از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\delta_z = \frac{a+r(1-a)+1}{(1+a)(1+r)} \quad (7)$$

که در این رابطه، r توان معادله پیشروی جریان در طول جویچه است (رابطه ۸):

$$x = pt^r \quad (8)$$

که در این رابطه، p و r پارامترهای تجربی هستند. با فرض دو نقطه در وسط (0.5L) و انتهای جویچه (L)، رابطه (۴) به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$V_{0.5L} = \frac{Q_0 t_{0.5L}}{0.5L} - \delta_y A_0 + \frac{f t_{0.5L}}{1+r} \quad (9)$$

$$V_L = \frac{Q_0 t_L}{L} - \delta_y A_0 + \frac{f t_L}{1+r} \quad (10)$$

براساس کلیه معادلات بالا، مقادیر a و k در رابطه (۱) به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$a = \frac{\log\left(\frac{V_L}{V_{0.5L}}\right)}{\log\left(\frac{t_L}{t_{0.5L}}\right)} \quad (11)$$

$$k = \frac{V_L}{\delta_z t_L^a} \quad (12)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (21)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (22)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (23)$$

در معادله‌های فوق P_i مقدار شبیه‌سازی شده نفوذ، O_i مقدار اندازه‌گیری شده نفوذ، \bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده نفوذ، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ و n برابر تعداد داده‌های برداشت شده می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان دهنده این است که شبکه‌های عصبی یا منطق فازی مقدار پارامتر نفوذ را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که این مدل‌ها در برآورد پارامتر نفوذ عدد کوچکتری به دست داده‌اند. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲، و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار EF نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq ax - ab - a, \\ a \leq x \leq bc - xc - b, \\ b \leq x \leq c, \\ c \leq x \end{cases} \quad (17)$$

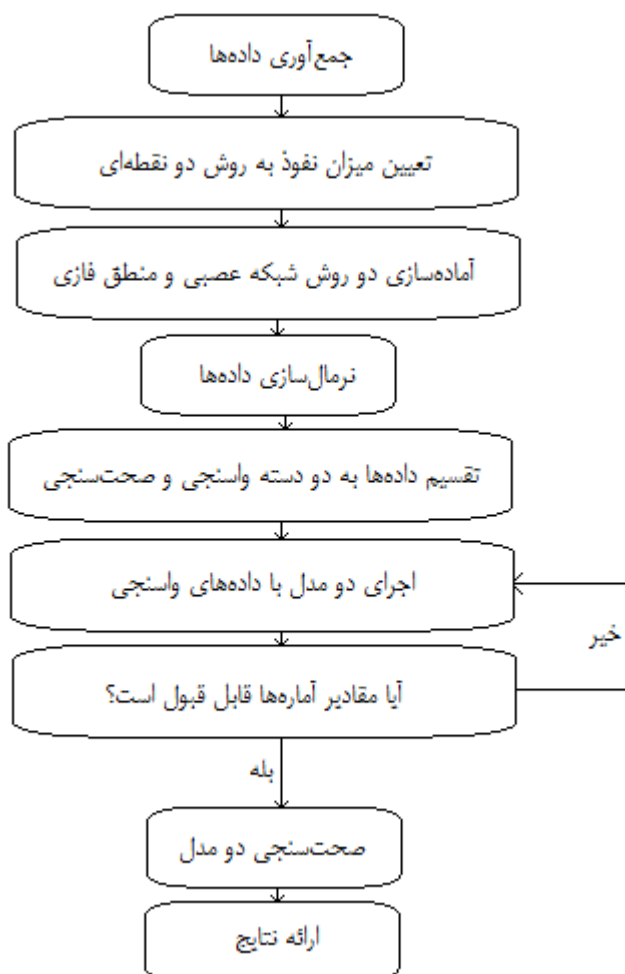
$$f(x) = \frac{e^{-(x-c)^2}}{2\sigma^2} \quad (18)$$

در رابطه (۷)، x نشان دهنده مقدار پارامتر a و b و c سه مقدار ثابت هستند که در زمان واسنجی تعیین می‌شوند. در رابطه (۱۸)، c نشان دهنده میانگین و σ واریانس داده‌ها است.

به منظور ارزیابی دقت شبکه عصبی و منطق فازی، ابتدا واسنجی این مدل‌ها با استفاده از ۷۰ درصد داده‌ها انجام شد. معیار میانگین مربعات خطا نیز جهت بهتر شدن عملکرد هر دو روش مورد استفاده در مرحله واسنجی مورد نظر قرار گرفت. سپس صحت‌سنجی آن‌ها براساس داده‌های باقیمانده انجام شد. این مراحل در شکل (۲) نشان داده شده است. بدین منظور، از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، کارایی مدل (EF) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۱۹) تا (۲۳) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (19)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (20)$$



شکل (۲): دیاگرام مراحل انجام کار در پژوهش حاضر

نتایج و بحث

در این پژوهش، دقت و کارایی شبکه‌های عصبی و منطق فازی به منظور پیش بینی میزان نفوذ در آبیاری جویچه‌ای مزارع نیشکر مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر پارامترهای نفوذ کاستیاکف لوییس در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به اینکه آزمایش‌های متعددی در این مزارع انجام شده است، مقادیر هر پارامتر در بازه حداقل و حداکثر نیز تعیین شد. متوسط مقادیر a ، k و f_0 به ترتیب برابر با ۰/۳۲، ۰/۲۴۹ و $(m^3.m^{-1}.min^{-a})$ ۰/۰۰۰۷ بود. این نتایج با نتایج

محققان دیگر از جمله جنوبی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت داشت. مقادیر تعیین شده توسط جنوبی و همکاران (۱۳۹۵) برای پارامترهای a ، k و f_0 به ترتیب در بازه‌های ۰/۱۲-۰/۷۲، ۰/۰۰۰۳۵-۰/۰۱۰ و $(m^3.m^{-1}.min^{-a})$ ۰/۰۰۰۰۲-۰/۰۰۳ و $(m^3.m^{-1}.min^{-1})$ قرار داشت. در تحقیقات تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) این مقادیر به ترتیب در بازه‌های ۰/۰۱-۰/۱۷، ۰/۰۰۰۴۶-۰/۰۰۱۱ و $(m^3.m^{-1}.min^{-a})$ ۰/۰۰۰۱-۰/۰۰۰۸ قرار داشت.^(۱)

جدول (۲): متوسط مقادیر پارامترهای معادله کاستیاکف لوییس اصلاح شده

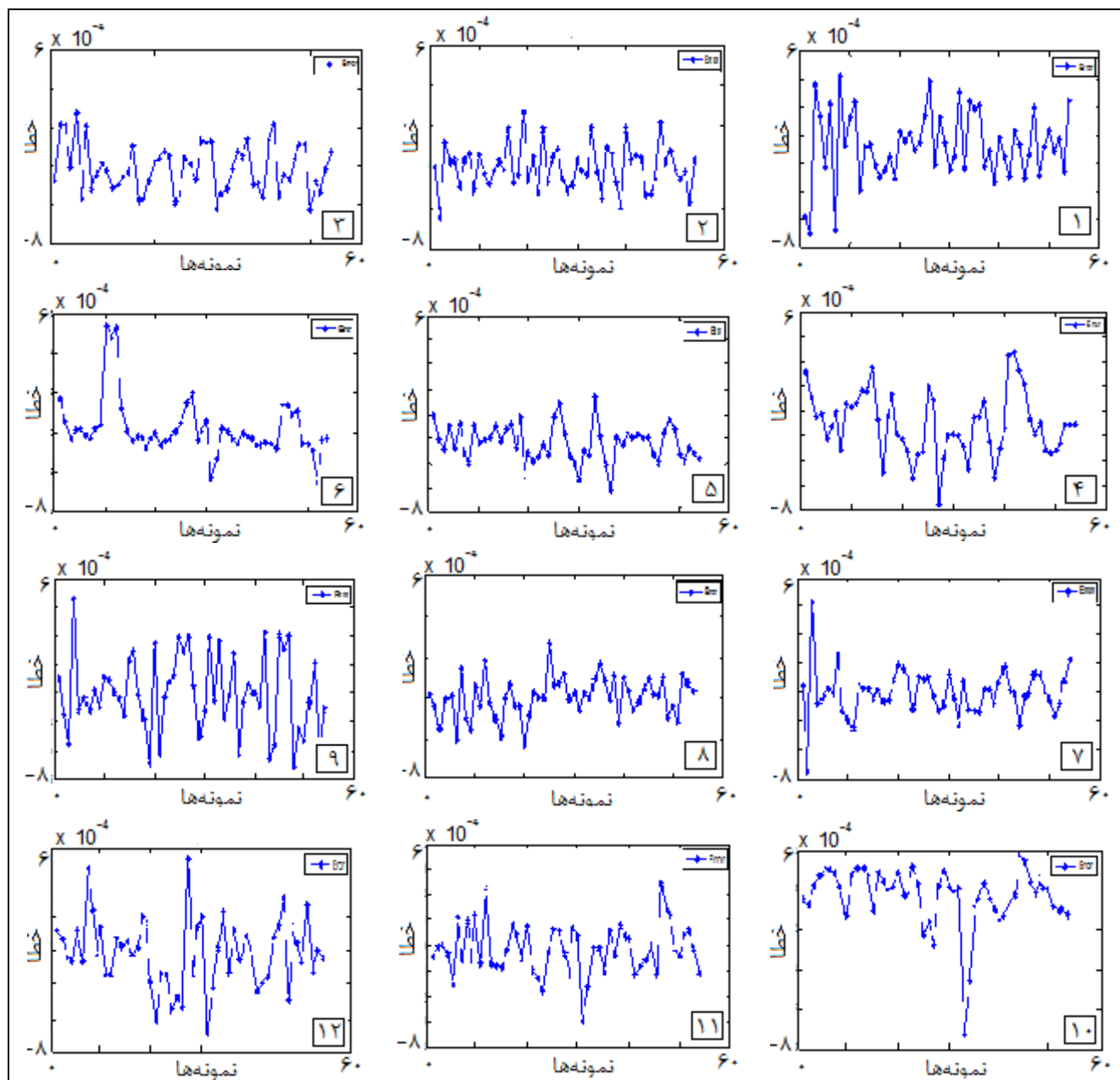
پارامتر	a	k	f0
واحد	-	$m^3 \cdot m^{-1} \cdot min^{-a}$	$m^3 \cdot m^{-1} \cdot min^{-1}$
حداقل	۰/۰۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۲
حداکثر	۰/۸۲	۰/۰۷۶۶	۰/۰۰۱۱
متوسط	۰/۳۲	۰/۰۲۴۹	۰/۰۰۰۷

و ۱۲ دچار خطای کم‌برآوردی شدند. خطای سناریوهای ۷ و ۹ از سایر سناریوها بیشتر بود. کمترین خطا نیز به سناریوی ۱۲ اختصاص داشت که ۵/۴۲ و ۴/۷۱ برابر به ترتیب از سناریوهای ۷ و ۹ کمتر بود. دقت همه سناریوها از نظر آماره NRMSE عالی بود. مقایسه کلیه نتایج به دست آمده برای شبکه عصبی با تابع فعال TanSig نشان داد که خطای این روش در حالت غیربازسازی شده کمتر بود.

مقایسه دو روش شبکه عصبی مورد استفاده در سناریوهای ۱ تا ۱۲ نشان داد که کمترین خطا در سناریوهای ۴، ۵، ۶ و ۱۲ و بیشترین خطا در سناریوهای ۳، ۷ و ۹ وجود داشت. دقت سناریوهای ۸، ۱، ۲ و ۵ از سایر سناریوها بیشتر بود و سناریوهای ۱۱، ۱۰ و ۳ کمترین دقت را در بین سناریوها داشتند. کارایی همه سناریوها یکسان و قابل قبول بود ولی دو سناریوی ۷ و ۱۲ نسبت به سایر سناریوها کارایی کمتری داشتند. بهترین سناریو برای شبیه‌سازی نفوذ در حالت غیربازسازی شده استفاده از تابع فعال LogSig با ۵ نرون در لایه پنهان (سناریو ۵) بود. مناسب‌ترین سناریو برای شبیه‌سازی نفوذ در حالت بازسازی شده استفاده از تابع فعال TanSig با ۵ نرون در لایه پنهان (سناریو ۸) تعیین شد.

پیش از صحت‌سنجی، واسنجی هر دو روش شبکه عصبی و منطق فازی انجام شد. نتایج به دست آمده میانگین مربعات خطا در این مرحله به ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است. پس از واسنجی، صحت‌سنجی هر دو مدل انجام شد. مقادیر آماره‌های معرفی شده در روابط (۷) تا (۱۰) در جدول (۳) نشان داده شده است. این مقادیر برای دو روش شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی و منطق فازی و براساس ۲۰ سناریوی تعریف شده در مرحله صحت‌سنجی می‌باشد. روش شبکه عصبی با تابع فعال LogSig در سناریوهای ۱ تا ۶ نشان داده شده است. کارایی این سناریوها یکسان و برابر با ۰/۹۹ بود. مقدار آماره MBE در دو سناریوی ۲ و ۴ منفی و برای سایر سناریوها مثبت بود. در نتیجه سناریوهای ۲ و ۴ دچار خطای کم‌برآوردی شدند. مقدار آماره RMSE در سناریوهای ۴، ۵ و ۶ کمتر از سه سناریوی دیگر بود. آماره NRMSE نیز نشان داد که همه سناریوها دارای دقت عالی بودند. مقایسه نتایج به دست آمده برای جویچه‌ها نشان داد که شبکه عصبی با تابع فعال LogSig در حالت غیربازسازی شده خطای کمتری داشت.

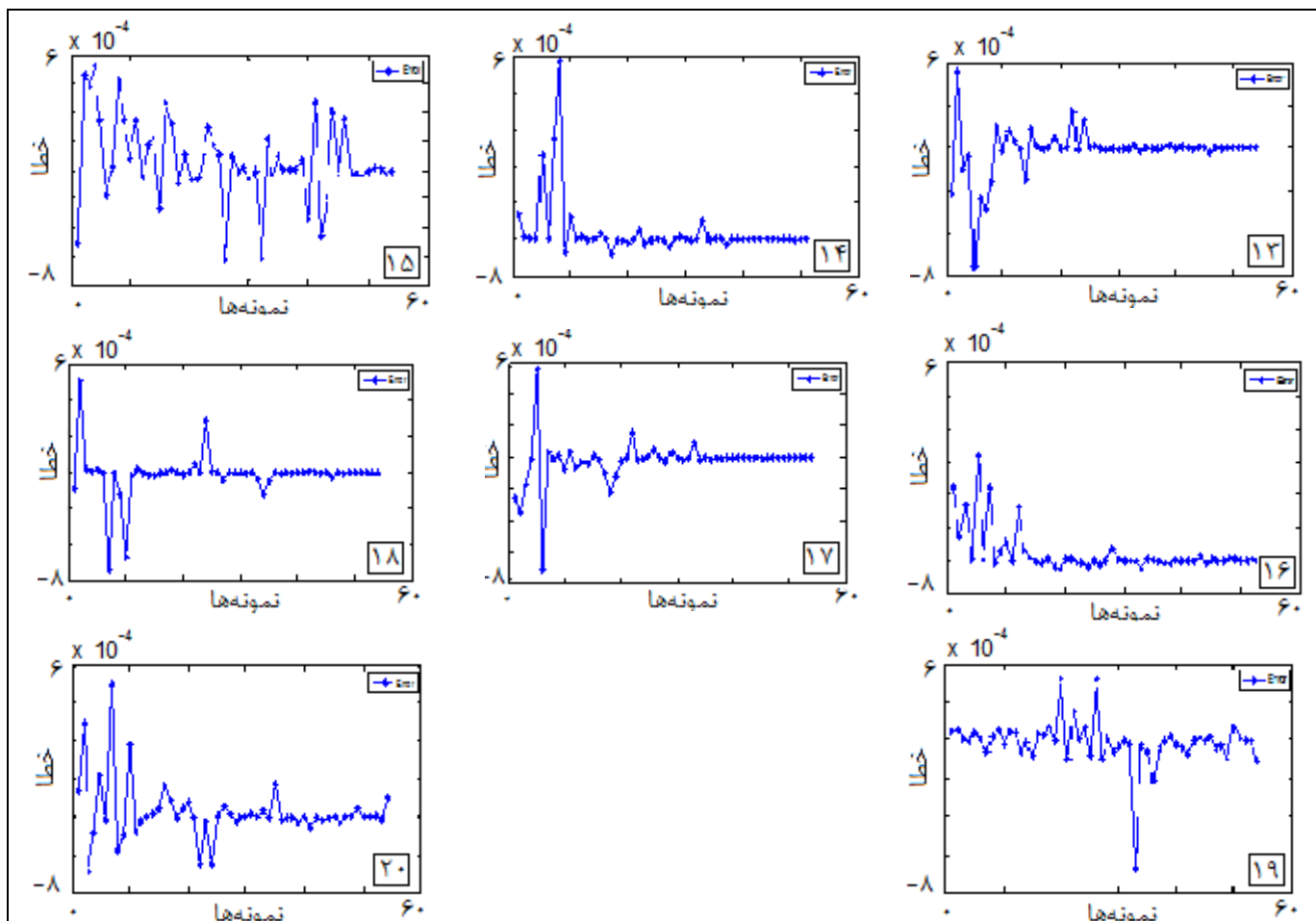
نتایج به دست آمده از روش شبکه عصبی با تابع فعال TanSig نشان داد که کارایی سناریوهای ۷ و ۱۲ از سایر مدل‌ها کمتر بود. براساس آماره MBE، دو سناریو ۸



شکل (۳): میزان خطای شبیه‌سازی شده نفوذ آب در جویچه در مرحله آموزش با استفاده از روش شبکه‌های عصبی براساس شماره سناریوهای ارائه شده در جدول (۳)

خطای کم‌برآوردی در شبیه‌سازی میزان نفوذ داشتند. براساس آماره RMSE، میزان خطای سناریوهای ۱۳ و ۱۵ برابر و از دو سناریوی دیگر کمتر بود. در این دو سناریو دو تابع عضویت برای هر ورودی در نظر گرفته شده بود. دقت این مدل در سناریوهای ۱۳ و ۱۴ عالی و در سناریوهای ۱۵ و ۱۶ ضعیف بود.

نتایج روش منطق فازی در سناریوهای ۱۳ تا ۲۰ در جدول (۳) نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده از تابع عضویت GaussMF، کارایی سناریوی ۱۳ از سه سناریوی دیگر بهتر بود. سناریوی ۱۶ نیز بدترین کارایی را داشت. براساس آماره MBE، تنها سناریوی ۱۵ دچار خطای بیش‌برآوردی شد و سه سناریوی دیگر



شکل (۴): میزان خطای شبیه‌سازی شده نفوذ آب در جویچه در مرحله آموزش با استفاده از روش منطق فازی براساس شماره سناریوهای ارائه شده در جدول (۳)

جدول (۳): مقادیر آماره‌های مورد بررسی برای میزان نفوذ شبیه‌سازی شده در جویچه توسط شبکه‌های عصبی و منطق فازی

شماره سناریو	روش شبیه‌سازی	نوع جویچه [†]	تابع عضویت/فعال ^{††}	RMSE ^{†††}	MBE ^{†††}	NRMSE	EF	d
۱	شبکه عصبی	H	LogSig-3	۰/۱۲	۰/۴۰	۰/۰۱۷	۰/۹۹	۰/۹۹
۲	شبکه عصبی	H	LogSig-5	-۰/۰۷	۰/۷۳	۰/۰۳۳	۰/۹۹	۰/۹۹
۳	شبکه عصبی	H	LogSig-7	۰/۱۷	۱/۱۰	۰/۰۵۰	۰/۹۹	۰/۹۹
۴	شبکه عصبی	N	LogSig-3	-۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۳۸	۰/۹۹	۰/۹۹
۵	شبکه عصبی	N	LogSig-5	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۳۷	۰/۹۹	۰/۹۹
۶	شبکه عصبی	N	LogSig-7	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۴۵	۰/۹۹	۰/۹۹
۷	شبکه عصبی	H	TanSig-3	۰/۰۶	۰/۹۰	۰/۰۴۳	۰/۹۸	۰/۹۹
۸	شبکه عصبی	H	TanSig-5	-۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۰۱۱	۰/۹۹	۰/۹۹
۹	شبکه عصبی	H	TanSig-7	۰/۲	۰/۸۰	۰/۰۳۹	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۰	شبکه عصبی	N	TanSig-3	۰/۸۷	۰/۱۵	۰/۰۵۱	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۱	شبکه عصبی	N	TanSig-5	۰/۴۶	۰/۱۸	۰/۰۵۵	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۲	شبکه عصبی	N	TanSig-7	-۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۴۴	۰/۹۸	۰/۹۹
۱۳	منطق فازی	H	GaussMF-2	-۰/۳۸	-۲/۱	۰/۰۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۴	منطق فازی	H	GaussMF-3	-۱/۳	۲/۳	۰/۰۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹
۱۵	منطق فازی	N	GaussMF-2	۰/۹۱	۲/۱	۰/۶۸۷	۰/۶۶	۰/۹۱
۱۶	منطق فازی	N	GaussMF-3	-۲/۵	۲/۷	۰/۹۴۵	۰/۳۱	۰/۸۰
۱۷	منطق فازی	H	TriMF-2	-۰/۹۲	۱/۳	۰/۰۵۲	۰/۹۸	۰/۹۹
۱۸	منطق فازی	H	TriMF-3	-۲/۱	۴/۵	۰/۲۰۸	۰/۹۸	۰/۹۹
۱۹	منطق فازی	N	TriMF-2	-۳/۲	۱/۴	۰/۴۶۱	۰/۵۴	۰/۹۵
۲۰	منطق فازی	N	TriMF-3	-۳/۵	۹/۷	۰/۳۲۲	۰/۷۹	۰/۹۷

[†] نوع جویچه در دو حالت بازسازی شده (H) و غیربازسازی شده (N)

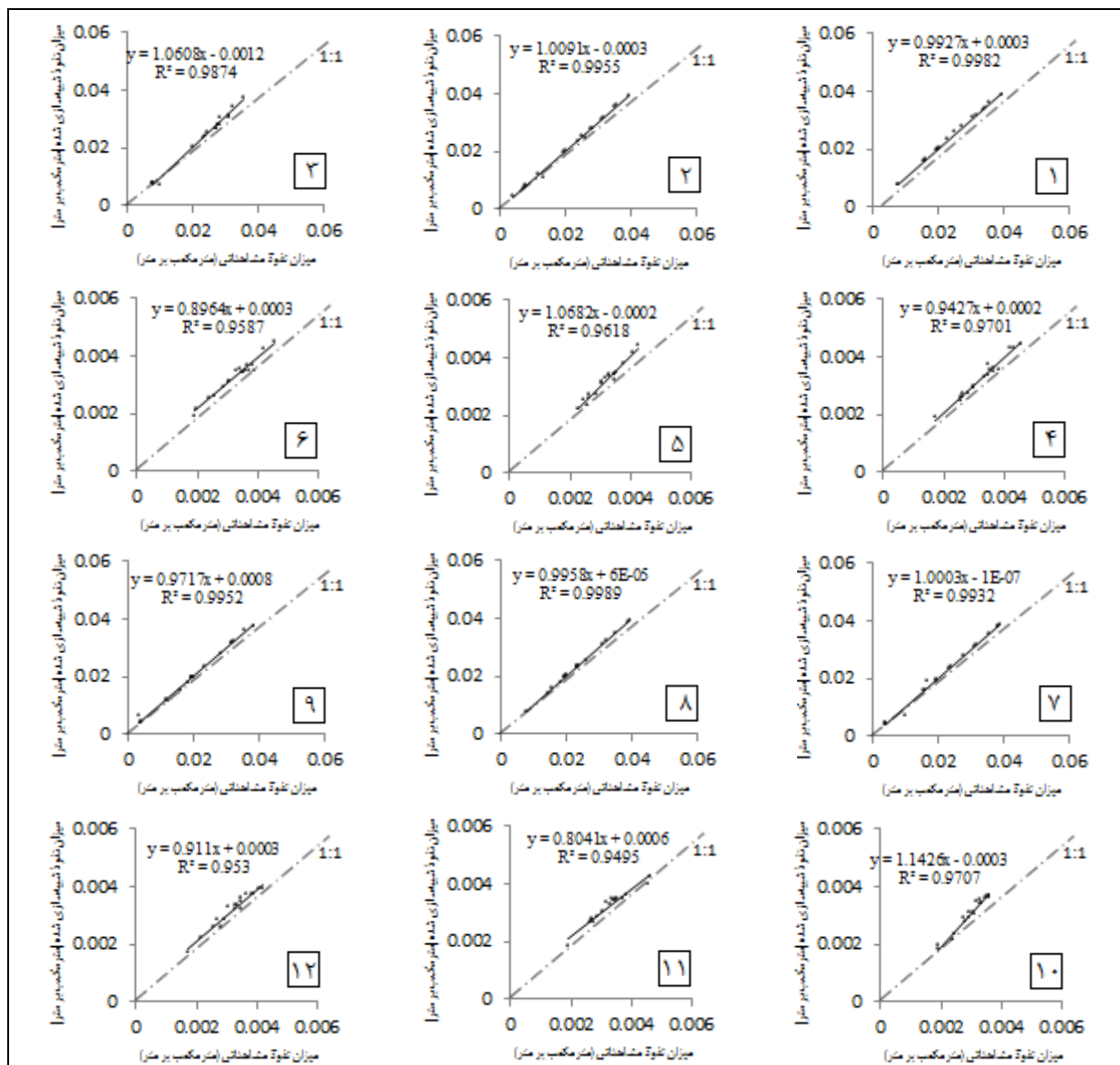
^{††} برای شبکه عصبی توابع فعال LogSig و TanSig و تعداد نرون‌های لایه پنهان ۳، ۵ و ۷ عدد و برای روش منطق فازی توابع عضویت TriMF و GaussMF و با در نظر گرفتن ۲ و ۳ تابع عضویت برای هر ورودی

^{†††} برحسب مترمکعب بر متر (E-04) ×

^{††††} برحسب مترمکعب بر متر (E-04) ×

خطای دو سناریوی ۱۷ و ۱۹ از سایر سناریوها کمتر بود. همانند نتایج قبل، در این دو سناریو نیز دو تابع عضویت برای هر ورودی در نظر گرفته شده بود. ابراساس آماره NRMSE، دقت سناریوهای ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ به ترتیب عالی، متوسط، ضعیف و ضعیف بود.

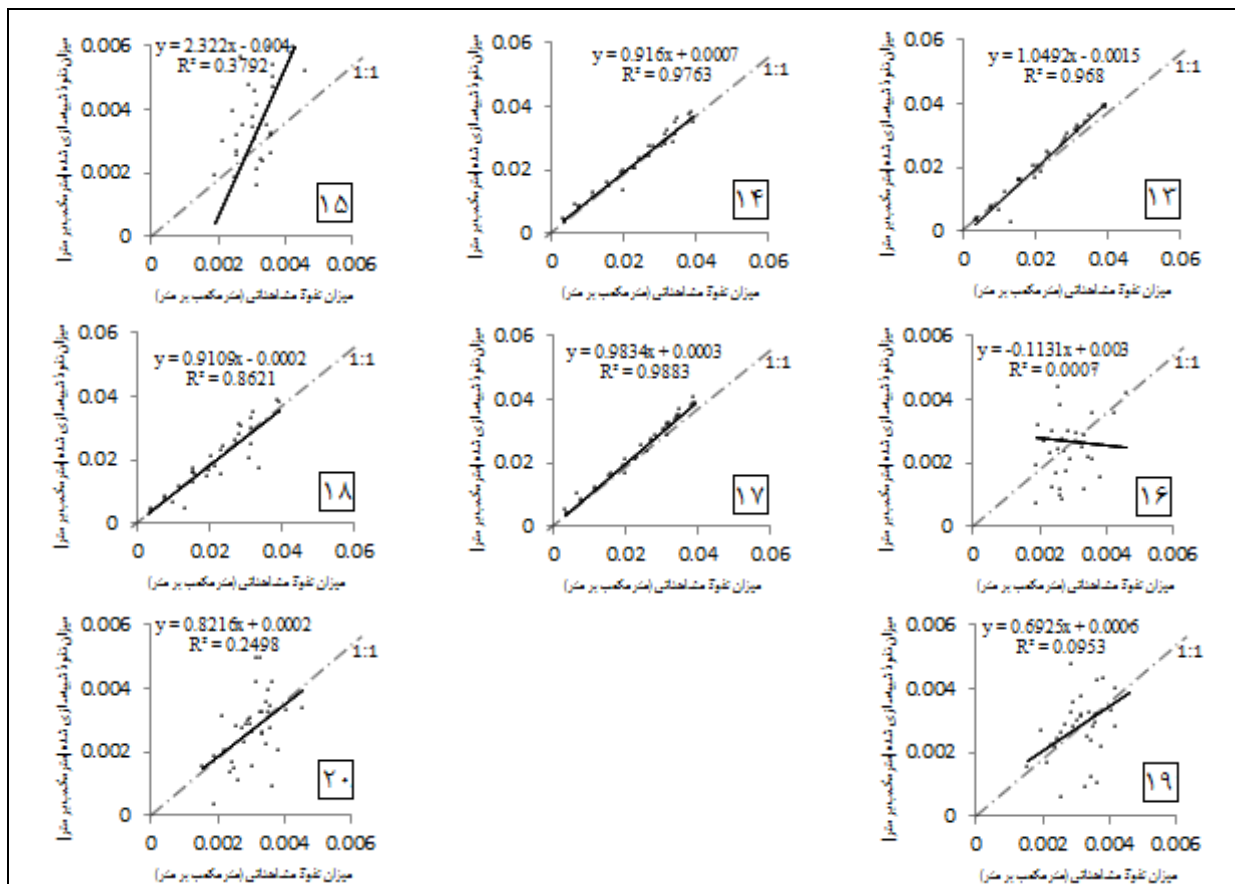
نتایج مدل منطق فازی با تابع عضویت TriMF در سناریوهای ۱۷ تا ۲۰ نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده، دو سناریوی ۱۷ و ۱۸ دارای کارایی مشابه و بالاتری نسبت به سایر سناریوها بودند. هر چهار سناریو دچار خطای کم‌برآوردی شدند. براساس آماره RMSE،



شکل (۵): همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نفوذ آب در جویچه با استفاده از روش شبکه‌های عصبی براساس شماره سناریوهای ارائه شده در جدول (۳)

شبیه‌سازی میزان نفوذ را نداشت. در حالت بازسازی شده، سناریوی ۱۷ (تابع عضویت TriMF-2) بهترین نتایج را نسبت به سایر سناریوها داشت

مقایسه کلیه نتایج به دست آمده از روش منطقی فازی در سناریوهای ۱۳ تا ۲۰ نشان داد که این روش در حالت غیربازسازی شده دقت و کارایی لازم برای



شکل (۶): همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نفوذ آب در جویچه با استفاده از روش منطق فازی براساس شماره سناریوهای ارائه شده در جدول (۳)

داشت. این مقادیر بسیار بیشتر از خطای به دست آمده توسط شبکه‌های عصبی در پژوهش حاضر است.

مقدار خطای منطق فازی برای جویچه‌های بازسازی شده در بازه ۵/۲-۲۰/۸ و برای جویچه‌های بازسازی نشده در بازه ۳۲/۲-۹۴/۵ درصد قرار داشت. بنابراین، روش شبکه عصبی در هر دو حالت بازسازی شده و غیربازسازی شده دقت و کارایی بهتری نسبت به روش منطق فازی داشت.

این موضوع با مقایسه شکل‌های (۴) و (۵) قابل مشاهده است. در روش شبکه‌های عصبی، ضریب تبیین سناریوها بین ۰/۹۴۹۵ تا ۰/۹۹۸۹ متغیر بود. مقدار ضریب تبیین برای روش منطق فازی بین ۰/۰۹۵۳ تا ۰/۹۸۸۳ به دست آمد. در روش منطق فازی، ضریب تبیین برای حالت بازسازی شده بسیار بالاتر از حالت غیر

خطای شبکه عصبی در این سناریوها در بازه ۵/۵-۱/۱ درصد متغیر بود که بسیار بهتر از مقادیر به دست آمده توسط سایر محققان است. رضوردی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) با انجام چهار سری آزمایش، مقادیر خطای پیش‌بینی نفوذ با استفاده از مدل‌های بهینه‌ساز رودریگز و مارتوس، میلاپالی و همکاران و والینانتزاس و همکاران به ترتیب در بازه‌های ۰/۲-۴۱/۶، ۰/۴-۱۸/۲ و ۱/۳-۲۱/۹ درصد گزارش کردند. ابراهیمیان و همکاران (۱۳۸۹) با انجام سه آزمایش در آبیاری جویچه‌ای، گزارش کردند که خطای روش‌های بنامی و افن، والینانتزاس و همکاران و شپارد و همکاران به ترتیب در بازه‌های ۱۲/۴-۵۹/۰، ۱/۵-۲۰/۳۴ و ۱/۴-۳۸/۱ درصد قرار داشت. این محققان روشی پیشنهادی برای تعیین نفوذ در آبیاری جویچه‌ای ارائه کردند که خطای آن روش در بازه ۶/۹-۲۷/۴ قرار

سایر سناریوها داشت. اگر از روش منطق فازی استفاده شود، سناریوی ۱۷ (تابع عضویت TriMF-2)، به دلیل نتایج بهتری که نسبت به سایر سناریوها داشت، برای شبیه‌سازی نفوذ در جویچه‌های بازسازی شده پیشنهاد می‌شود. لیکن استفاده از روش منطق فازی به دلیل دقت و کارایی پایین برای شبیه‌سازی جریان در جویچه‌های غیر بازسازی شده پیشنهاد نمی‌شود. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود مدیران و برنامه‌ریزان در کشت و صنعت‌های نیشکر از این دو روش در شرایط ذکر شده استفاده کنند. با توجه به پارامترهای موثر در آبیاری نیشکر، به ویژه دبی و زمان نفوذ، با این دو روش می‌توان مقدار نفوذ را برای هر قطعه زراعی محاسبه و تلفات نفوذ را تخمین زد. این عمل به صرفه‌جویی در مصرف آب در این مزارع و کاهش هزینه خرید آب توسط کشت و صنعت‌های نیشکر کمک شایانی می‌کند.

بازسازی شده بود به طوری که مقدار این آماره برای سناریوهای ۱۳، ۱۴، ۱۷ و ۱۸ به ترتیب برابر با ۰/۹۶۸، ۰/۹۷۶۳، ۰/۹۸۸۳ و ۰/۸۶۲۱ بود. این مقادیر بسیار نزدیک به سناریوهای اجرا شده در روش شبکه عصبی بود.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از مقایسه دو روش شبکه عصبی و منطق فازی نشان داد که روش شبکه عصبی در دو حالت بازسازی شده و غیربازسازی شده دقت و کارایی بالاتری نسبت به روش منطق فازی داشته و در صورت استفاده از روش شبکه عصبی، استفاده از تابع فعال LogSig با ۵ نرون در لایه پنهان (سناریو ۵) برای شبیه‌سازی میزان نفوذ در جویچه‌های بازسازی شده از سایر سناریوها بهتر بود. تابع فعال TanSig با ۵ نرون در لایه پنهان (سناریو ۸) نیز برای شبیه‌سازی میزان نفوذ در جویچه‌های غیربازسازی شده بهترین نتیجه را نسبت به

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از رساله دکترای آبیاری و زهکشی است که نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه با شماره پژوهانه SCU.W198.399 تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

- احمدپور، س. ر.، ح. علیزاده و ن. مجنون حسینی. ۱۳۸۹. تلفیق عملیات بازسازی شده و کولتیواسیون با سمپاشی نواری در کنترل علف‌های هرز مزارع نیشکر. علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۱(۴): ۷۱۹-۷۲۹.
- احمدی، م.، س. برومند نسب و ع. ناصری. ۱۳۹۷. تحلیل حساسیت میزان نفوذپذیری در آبیاری جویچه ای به پارامترهای طراحی به منظور مدیریت تقاضای آب در مزارع نیشکر. همایش ملی آموزش سبز، حفظ محیط زیست و ارتقای سرمایه‌های اجتماعی، اصفهان، مدیریت آموزش و پرورش ناحیه سه اصفهان با همکاری اداره کل آموزش و پرورش استان اصفهان.
- تقی‌زاده، ز.، و. رضوردی‌نژاد، ح. ابراهیمیان و ن. خان‌محمدی. ۱۳۹۱. ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۶): ۱۴۵۹-۱۴۵۰.
- توکلی، ع.، ح. بابازاده، ف. عباسی و ح. صدقی. ۱۳۹۴. توسعه رابطه‌ی برآورد نفوذ آب در خاک با استفاده از مقیاس‌سازی در آبیاری جویچه‌ای، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۶(۲): ۱-۱۲.
- جنوبی، ر.، و. رضوردی‌نژاد و ف. عباسی. ۱۳۹۵. ارائه مدل بهینه‌سازی برآورد پارامترهای نفوذ و ضریب زبری آبیاری با استفاده از داده‌های پیشروی و رواناب. مدیریت آب و آبیاری، ۱۶(۱): ۲۹-۴۵.

- رضوردی نژاد، و.، ح. احمدی، م. همتی و ح. ابراهیمیان. ۱۳۹۵. ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ در سیستم‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای و رژیم‌های مختلف جریان ورودی. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۰(۷۶): ۱۷۶-۱۶۱.
- زنگنه یوسف‌آبادی، ا.، ع. هوشمند، ع. ناصری، س. برومند نسب و م. پرویزی. ۱۳۹۸. تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر بهره‌وری آب آبیاری، عملکرد و اجزای عملکرد نیشکر رقم CP69-1062. علوم و مهندسی آبیاری. آماده انتشار.
- کریمی، ب. و پ. محمدی. ۱۳۹۸. شبیه‌سازی الگوی توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. آب و آبیاری کرمان. ۱۱۰(۱): ۱۸۰-۱۹۴.
- محمدرضاپور، ا. ۱۳۹۶. پیش‌بینی تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه با استفاده از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی ژنتیک و سیستم استنتاج عصبی-فازی. آب و آبیاری کرمان. ۷(۳): ۱۳۵-۱۵۰.
- مهرابی گوهری، ا.، ف. سرمدیان و ر. تقی‌زاده مهرجردی. ۱۳۹۱. برآورد رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی با استفاده از شبکه عصبی-مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره. آب و آبیاری کرمان، ۳(۲-پیاپی ۱۰): ۴۲-۵۲.
- Bautista, E., and W. R. Walker. 2010. Advances in estimation of parameters for surface irrigation modeling and management. An ASABE Conference Presentation. Paper Number: IRR10-9643. Phoenix, Arizona. December 5 -8.
- Krishnan, R. S., E. G. Julie, Y. H. Robinson, S. Raja, R. Kumar, P. H. Thong and L. H. Song. 2020. Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. Journal of Cleaner Production. 252.
- Mattar, M. A., A. Alazba and T. K. Zin El-Abedin. 2015. Forecasting furrow irrigation infiltration using artificial neural network. Agricultural Water Management. 48: 63-71.
- Oyonarte, N. A., L. Mateos and M. J. Palomo. 2002. Infiltration variability in furrow irrigation. Irrigation and Drainage Engineering. 128(1): 26-33.
- Seyedzadeh, A., S. Maroufpoor, E. Maroufpoor, J. Shiri, O. Bozorg-Haddad and F. Gavazi. 2020. Artificial intelligence approach to estimate discharge of drip tape irrigation based on temperature and pressure. Agricultural Water Management. 228.
- Smith, R. J., S. R. Raine and J. Minkevich. 2005. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton. Agricultural Water Management. 71(2): 117-130.
- Strelkoff, T.S. and N. D. Katopodes. 1977. Border-irrigation hydraulics with zero-inertia. Irrigation and Drainage Division, 103(3): 325-342.
- Walker, W. R. and G. V. Skogerboe. 1987. Surface irrigation: theory and practice. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ.
- Welker, CAD., M. R. McKain, M. S. Vorontsova, M. C. Peichoto and E. A. Kellogg. 2019. Plastome phylogenomics of sugarcane and relatives confirms the segregation of the genus *Tripidium* (Poaceae: Andropogoneae). Taxon, 68(2): 246-267.



Artificial Neural Network and Fuzzy Logic Evaluation for Helling Up and Non-helling Up Furrows Infiltration Simulation in Sugarcane Farms

Mohsen Ahmadee¹, Saeed Boroomand Nasab², Abd Ali Naseri³

Abstract

Sugarcane (*Saccharum.spontaneum* L.) is one of the high consumption water plants which is irrigated by both helling up (H) and non-helling up (N) furrow irrigation methods in Khuzestan. The major water losses in furrows are due to infiltration, however, measuring amount of infiltration is time consuming and costly. So, it is important to use a method for determining and management of infiltration in the farms. Regarding that, fuzzy logic (FL) and artificial neural network (ANN) were evaluated for five sugarcane industrial farms in Khuzestan. ANN with 12 scenarios (LogSig and TanSig activation functions with 3, 5 and 7 neurons in hidden layer for both N and H farrows) and FL with 8 scenarios (TriMF and GaussMF with 2 and 3 membership functions for both N and H farrows) were studied. Results showed that ANN with LogSig-5 activation function had the best error (RMSE=0.12 m³.m⁻¹), accuracy (NRMSE=0.037) and efficiency (d=0.99 and EF=0.99) for simulation of infiltration in H furrows. ANN with TanSig-5 had the best error (RMSE=0.20 m³.m⁻¹), accuracy (NRMSE=0.11) and efficiency (d=0.99 and EF=0.99) for simulation of infiltration in N furrows. FL had weak accuracy and efficiency for simulation of infiltration in N furrows, however, TriMF-2 had acceptable error (RMSE=1.3 m³.m⁻¹), accuracy (NRMSE=0.052) and efficiency (d=0.99 and EF=0.98) for simulation of infiltration in H furrows. According to comparison of all scenarios, ANN accuracy was about 82% more than FL.

Keywords: Furrow Irrigation, LogSig Activation Function, Model Efficiency, TriMF, Volume Balance Method.

¹ PhD student of irrigation and drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz; Faculty of water science; m.ahmadee@ymail.com

² Professor of irrigation and drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz; Faculty of water science; boroomand@scu.ac.ir (corresponding author)

³ Professor of irrigation and drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz; Faculty of water science; abdalinaseri@scu.ac.ir



Artificial Neural Network and Fuzzy Logic Evaluation for Helling Up and Non-helling Up Furrows Infiltration Simulation in Sugarcane Farms

Mohsen Ahmadee¹, Saeed Boroomand Nasab², Abd Ali Naseri³

Abstract

Introduction: Sugarcane (*Saccharum.spontaneum* L.) is one of the high consumption water crops which is irrigated by both helling up (H) and non-helling up (N) furrow irrigation methods in Khuzestan, Iran. Total area of sugarcane in Khuzestan is 22,600 hectares. So, Sugarcane managers have to buy a lot of water to irrigate the farms. The major water losses in furrows are due to infiltration, however, measuring amount of infiltration is time consuming and costly. So, it is important to use a method for determining and management of infiltration in the farms. Regarding that, fuzzy logic (FL) and artificial neural network (ANN) were evaluated for five sugarcane industrial farms in Khuzestan.

Methodology:

The length of furrows was between 268-165 meters and the inflow was between 0.3-0.96 liters per second. ANN with 12 scenarios (LogSig and TanSig activation functions with 3, 5 and 7 neurons in hidden layer for both N and H farrows) and FL with 8 scenarios (TriMF and GaussMF with 2 and 3 membership functions for both N and H farrows) were studied. In order to evaluate the accuracy of ANN and FL, the models were calibrated using 70% of data. The criterion of root mean squares error (RMSE) was also considered to improve the performance of both methods. Then, their validation was performed based on the remaining data. For this purpose, root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE), normalized root mean square error (NRMSE), model efficiency (EF) and coefficient of detemination (R^2) were used.

Discussion and Conclusion: Results showed that ANN with LogSig-5 activation function had the least error (RMSE=0.12 $m^3.m^{-1}$), and the best accuracy (NRMSE=0.037) and efficiency ($d=0.99$ and $EF=0.99$) for simulation of infiltration in H furrows. ANN with TanSig-5 had the least error (RMSE=0.20 $m^3.m^{-1}$), and the best accuracy (NRMSE=0.11) and efficiency ($d=0.99$ and $EF=0.99$) for simulation of infiltration in N furrows. FL had weak accuracy and efficiency for simulation of infiltration in N furrows, however, TriMF-2 had acceptable error (RMSE=1.3 $m^3.m^{-1}$), accuracy (NRMSE=0.052) and efficiency ($d=0.99$ and $EF=0.98$) for simulation of infiltration in H furrows. According to comparison of all scenarios, ANN in both H and NH furrows had higher accuracy and efficiency than FL. In General, ANN accuracy was about 82% more than FL. Since much money is spent on buying water for sugarcane cultivation in Iran every year, it is suggested the managers in sugarcane farms use ANN. Based on the results, by using discharge and infiltration time, the amount of infiltration can be easily calculated for each farm. This will help save water on these farms and reduce the cost of buying water for the sugarcane in Iran.

The most important references

Bautista, E., and W. R. Walker. 2010. Advances in estimation of parameters for surface irrigation modeling and management. An ASABE Conference Presentation. Paper Number: IRR10-9643. Phoenix, Arizona. December 5 -8.

¹ PhD student of irrigation and drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz; Faculty of water science; m.ahmadee@ymail.com

² Professor of irrigation and drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz; Faculty of water science; boroomand@scu.ac.ir (corresponding author)

³ Professor of irrigation and drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz; Faculty of water science; abdalinaseri@scu.ac.ir



Mattar, M. A., A. Alazba and T. K. Zin El-Abedin. 2015. Forecasting furrow irrigation infiltration using artificial neural network. *Agricultural Water Management*. 48: 63-71.

Strelkoff, T.S. and N. D. Katopodes. 1977. Border-irrigation hydraulics with zero-inertia. *Irrigation and Drainage Division*, 103(3): 325-342.

Keywords: Furrow Irrigation, LogSig Activation Function, Model Efficiency, TriMF, Volume Balance Method.