

مدل کردن رفتار سد براساس منطق فازی

چکیده

جابجایی شعاعی یک یا چندین نقطه‌ی سد یک شاخص رفتاری وابسته به زمان مهم است و تابعی غیرخطی از فشار هیدرواستاتیک، دما و دیگر پارامترهای ناشناخته می‌باشد. شناسایی (تعیین هویت) سیستم غیرخطی به یک ابزار ضروری تبدیل شده که برای مدل کردن رفتار وابسته به زمان سازه‌های مهندسی استفاده می‌شود. شناسایی و پیش‌بینی رفتار سازه‌ای غیرخطی پیچیده وظایف بغرنجی هستند که برای این منظور از مدل‌های غیر پارامتری استفاده می‌شود. هدف این پژوهش ارائه یک مدل شناسایی مبتنی بر منطق فازی، برای پیش‌بینی جابجایی شعاعی سد قوسی، می‌باشد. مدل‌های ANFIS (سیستم شبکه انطباقی مبتنی بر منطق فازی) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی جمع شده طی ۱۱ سال تهیه و آزمایش شدند. مقایسه نتایج پیش‌بینی شده توسط ANFIS با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مدل‌های نرم نتایج دقیقی ارائه می‌دهند. این مدل‌ها می‌توانند برای پیش‌بینی جابجایی در پژوهش‌های آینده استفاده شوند.

کلیدواژه‌ها: سد قوسی، رفتار سد، شناسایی، ANFIS، جابجایی شعاعی

۱- مقدمه

برنامه‌های کنترل ایمنی سد برای سدها بسیار ضروری بوده و به طور گسترده‌ای توسط عموم پذیرفته شده‌اند. به عنوان بخشی از برنامه‌های ایمنی سد، به منظور اندازه‌گیری پارامتر خاصی، تجهیزاتی نصب می‌گردد. این پارامترها شامل ارتفاع آب، تغییر شکل‌ها و جابجایی‌ها، فشارها، شرایط بارگذاری، نوسانات دما، جریان‌های نشتی، شفافیت آب نشتی، سطوح پیزومتریک و ... می‌باشد. هدف تعیین به موقع رفتار غیر عادی سد می‌باشد که لزوماً از طریق کنترل دائمی یا جمع‌آوری مجموعه بزرگی از داده‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. مهم این است که این داده‌ها نشان‌دهنده وضعیت کل سد بوده و به دقت تفسیر شوند. تفسیر داده‌های موجود، برای کنترل ایمنی سد، بسیار مهم می‌باشد.

هنگام تحلیل پاسخ سازه‌ای سد، باید اثرات متغیرهای اصلی مانند نوسانات فشار هیدرواستاتیکی، دما و دیگر پارامترهای غیر منتظره و تأثیر گذر زمان را در نظر گرفت. روش‌های قطعی و آماری به منظور تهیه مدل‌هایی برای پیش‌بینی رفتار سازه‌ای غیرخطی سد استفاده می‌شوند. روش ترکیبی (دوگانه)، که ترکیبی از دو روش بنیادین می‌-

باشد، برای پیش‌بینی رفتار سد استفاده می‌گردد. مدل‌سازی قطعی نیازمند حل کردن معادلات دیفرانسیلی می‌باشد که تعیین جواب دقیق آن‌ها مشکل یا ناممکن می‌باشد. بنابراین، روش‌های عددی، مانند روش اجزای محدود، استفاده می‌شوند. مزایای روش‌های آماری، مانند رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، دارای فرمول ساده‌ای بوده و سرعت اجرای بالایی دارند. در مدل (MLR)، تعیین سهم هر کدام از بارها بر پاسخ سازه‌ای ممکن می‌باشد. به منظور ربط دادن رفتار سد به پارامترهای طبیعی سد مانند اندازه سازه، شرایط مرزی و ویژگی‌های الاستیک، برای تحلیل داده‌های (اندازه‌گیری‌های) جمع‌آوری شده از تکنیک‌های شناسایی سازه‌ای استفاده می‌شود. تغییر شکل سد یک مثال نوعی از رفتار غیر خطی وابسته به زمان (متغیر زمانی) می‌باشد. شناسایی سیستم سدهای بتنی را می‌توان یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مهندسی سد دانست. شناسایی و پیش‌بینی تغییر شکل سد وظایف بغرنجی هستند که برای این منظور اغلب از مدل‌های غیر پارامتری استفاده می‌شود. Gual و همکاران، برای ارزیابی جابجایی‌های افقی در سد، از مدل ARX (اتورگرسو با ورودی‌های برون‌زا) محاسبه شده از یک مدل اجزای محدود سه بعدی استفاده کردند. جابجایی یک یا چندین نقطه سد تابعی غیر خطی از فشار هیدرواستاتیک، دما و دیگر پارامترهای ناشناخته غیر منتظره می‌باشد. در دهه گذشته، تکنیک‌های محاسبه نرم به طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی سری‌های زمانی پیچیده استفاده شده‌اند. مدل‌ها و شناسایی‌های مبتنی بر شبکه عصبی ابزارهای مفیدی برای تقریب سیستم‌های دینامیکی غیر خطی نامعین می‌باشند. شبکه‌های عصبی باز رخدادگر و پیش‌خورنده به طور گسترده‌ای در شناسایی سیستم‌های غیر خطی بررسی شده‌اند.

در سال‌های اخیر، سیستم‌های فازی Takagi- Sugeno، به عنوان دسته‌ای از مدل‌های فازی، به عنوان شناسه‌های سیستم غیر خطی استفاده شده‌اند. مدل فازی Takagi- Sugeno نتایج رضایت‌بخشی در مورد تشریح رفتار سیستم‌های پیچیده و نامعین فراهم می‌کند. Babuska روش‌های مدل‌سازی مبتنی بر منطق فازی را برای شناسایی سیستم غیر خطی بررسی کرد.

در مطالعه فعلی، برای شناسایی سازه‌ای سد قوسی، روش ANFIS به کار رفته است. ANFIS، اولین بار توسط Jang معرفی شد، این یک تقریب گر کلی است و چون این قابلیت را دارد که هر تابع پیوسته‌ای را بر روی مجموعه فشرده‌ای با دقتی مناسب تقریب بزند. حمیدیان و سیدپور، سیدپور و همکاران، با استفاده از سیستم شبکه انطباقی مبتنی بر منطق فازی، روش کارایی را برای یافتن شکل بهینه سدهای قوسی ارائه کردند.

فرآیند مبتنی بر مدل سازی منطق فازی برای جابجایی های افقی یک سد قوسی، توسط Demirkaya ارائه و شرح داده شده اند.

هدف این پژوهش ارائه یک مدل شناسایی منطق فازی برای پیش بینی جابجایی شعاعی سد و اثبات کاربرد آن برای تعیین روابط غیر خطی پیچیده بین متغیرهای ورودی و خروجی می باشد. رویکرد پیشنهادی مبتنی بر شناسایی ANFIS ابزار مفیدی برای مدل سازی رفتار وابسته به زمان سازه های مهندسی می باشد.

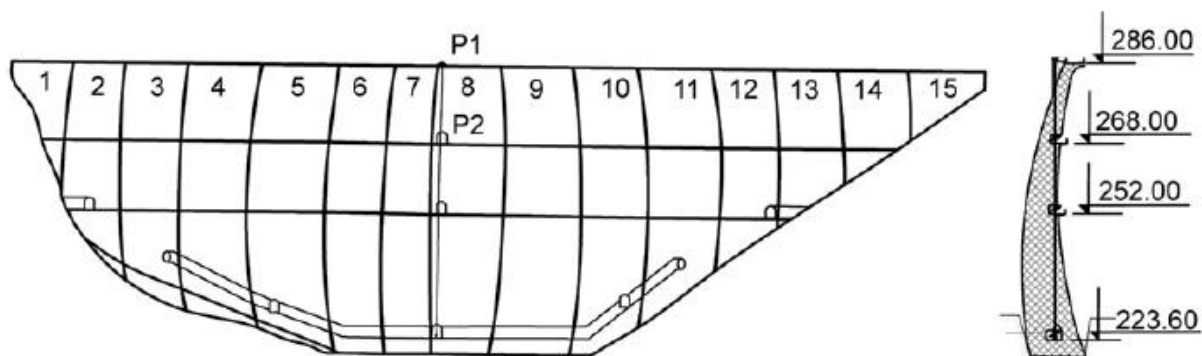
۲- مطالعه موردی

سد Bocac، بر روی رود Vrbas، یک سد با اندازه متوسط می باشد (شکل ۱) سد در جمهوری Srpska، ۲۵ کیلومتری شهر Banja Luka، واقع شده است. این سد بین سال های ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۱ ساخته شده است. این یک سد دوقوسی، ارتفاع آن با ۶۶ متر و ارتفاع بلندترین تاج آن ۲۲۱/۴ متر می باشد. ضخامت تاج آن ۳ متر و ضخامت فونداسیون آن ۱۴/۴ متر می باشد. سطوح عملکردی (بهره برداری) حداقل، میانگین و حداکثر به ترتیب ۲۵۴، ۲۸۲ و ۲۸۳ متر بالاتر از سطح دریا (asl) می باشند. ظرفیت مخزن ۵۲/۷ میلیون مترمکعب می باشد. سد به یک سیستم واپایش تجهیز شده است تا پارامترهایی مانند دماهای بتن، آب و هوا، سطح آب مخزن، جابجایی های قائم و افقی، چرخش ها (دوران ها)، جابجایی درزها، کرنش، تنش، فشار بالاروی، جابجایی های فونداسیون و تراوش را اندازه گیری نماید.

به منظور اندازه گیری تغییر شکل های شعاعی و مماسی، بر روی سد سه آونگ (پاندول) نصب شده است. در این مقاله، جابجایی شعاعی نقاط P_1 و P_2 در بلوک ۸ با استفاده از روش پیشنهادی تحلیل شده اند (شکل ۲) مجموعه داده ها شامل ۷۸۳ نمونه می باشد. این داده ها به مجموعه های آموزشی و آزمایشی تقسیم شده اند. داده های ژانویه ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۰۸ برای آموزش (آماده کردن روش یا کالیبره و اعتبارسنجی کردن روش) و داده های ژانویه ۲۰۰۹ تا دسامبر ۲۰۱۰ برای آزمایش استفاده شده اند.



شکل ۱- سد Bocac



شکل ۲- وجه بالادست سد و مقطع عرضی گذرنده از بلوک ۸.

۳- تعیین هویت (شناسایی) ANFIS

دسته‌ی وسیعی از سیستم‌های دینامیکی غیرخطی را می‌توان با یک مدل اتورگرسیو (خود برگشتی) غیرخطی با ورودی‌های برون‌زا (NARX) تشریح نمود. مدل غیرخطی برای پیش‌بینی جابجایی‌های شعاعی سد قوسی دو ورودی (u_1, u_2) و یک خروجی (y_m) دارد و می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$y_m(k) = f_m(\varphi(k), \theta) \quad (1)$$

که $y_m(k)$ خروجی مدل، k بازه زمانی،

$$\varphi(k) = (y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n_y), u_1(k-1), u_1(k-2), \dots, u_1(k-n_{u1}), u_2(k-1), u_2(k-2), \dots, u_2(k-n_{u2}))$$

بردار رگرسیون، θ پارامتری برداری، u_{n1} و u_{n2} تعداد تأخیر ورودی‌های (u_1, u_2) و n_y تعداد تأخیر خروجی (y) می‌باشد.

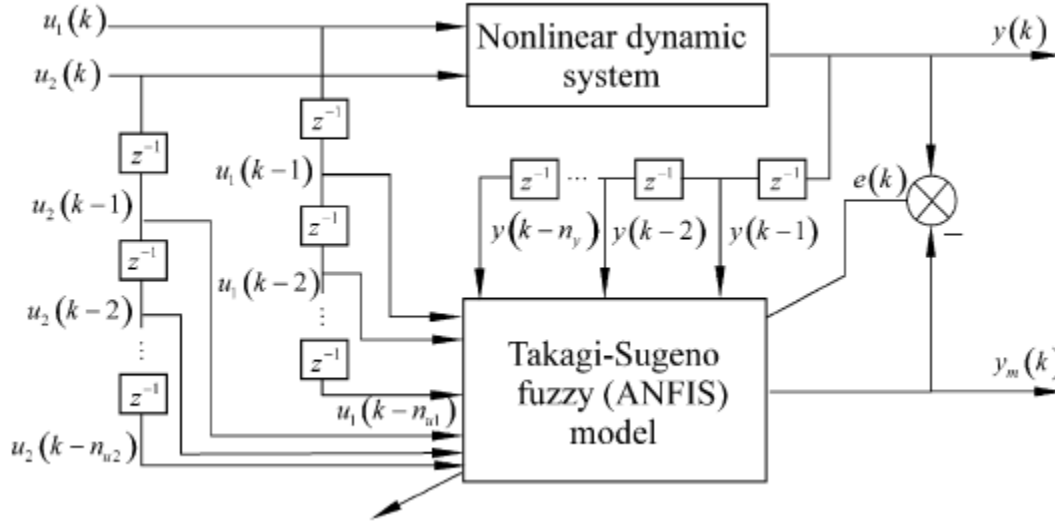
مشکل در تعیین هویت سیستم غیرخطی تقریب زدن تابع نامعلوم f_m در رابطه (۱) از داده‌های نمونه‌برداری شده $\{(u_1(k), u_2(k), y(k)): k = 1, 2, \dots, N\}$ می‌باشد که N تعداد داده‌هاست. سیستم فازی قابلیت تقریب کلی را دارد و می‌تواند برای انجام نگاشت (مسیردهی) ورودی-خروجی استفاده شود. به طور کلی، دو نوع مدل منطق فازی وجود دارد. مدل فازی Mamdani، که در آن داده‌های اولیه و نتایج فازی هستند، به منظور تحلیل‌های کمی استفاده می‌شود. مدل Mamdani به طور نوعی در سیستم‌های خبره استفاده می‌شود. نوع دوم مدل فازی مدل Takagi & Sugeno می‌باشد. در این مدل، نتیجه یک تابع خطی نسبی از متغیرهای ورودی می‌باشد. زمانی که نتیجه ثابت باشد، یک مدل Takagi & Sugeno مرتبه صفر تشکیل می‌شود که یک مورد خاص از سیستم منطق فازی Mamdani می‌باشد.

طرح ساختار تعیین هویت سیستم فازی Takagi & Sugeno در شکل ۳ نشان داده شده است.

بردار ورودی برای سیستم فازی Takagi & Sugeno شامل y, u_1 و u_2 می‌باشد که به ترتیب مقادیر خروجی و ورودی سابق می‌باشند:

$$I^T(k) = [y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n_y), u_1(k-1), u_1(k-2), \dots, u_1(k-n_{u1}), u_2(k-1), u_2(k-2), \dots, u_2(k-n_{u2})] \quad (2)$$

$y_m(k)$ خروجی می باشد.



شکل ۳- طرح ساختار مدل فازی Takagi- Sugeno

فرض شده است که سیستم منطق فازی مورد نظر $n_y + n_{u1} + n_{u2} + 1$ متغیر، $n_y + n_{u1} + n_{u2}$ متغیر ورودی و ۱ متغیر خروجی دارد. فرض شده است که تمامی متغیرهای زبانی ورودی تعدادی برابر با مقادیر زبانی، n دارند. مقدار زبانی متغیر $y(k-j)$ برابر A_{ij} ، $i = 1, n$ ، $j = 1, n_y$ ؛ $u_1(k-1)$ برابر B_{il} ، $i = 1, n$ ، $l = 1, n_{u1}$ و $u_2(k-m)$ برابر C_{im} ، $i = 1, n$ ، $m = 1, n_{u2}$ می باشند.

برای مدل فازی TS مرتبه صفر با $n_y + n_{u1} + n_{u2}$ ورودی و یک خروجی، مجموعه ای از قوانین زبانی به صورت زیر تعریف می شوند:

R_1 : if $y(k-1)$ is A_{11} and $y(k-2)$ is A_{12} and ... $y(k-n_y)$ is A_{1ny} and $u_1(k-1)$ is B_{11} , $u_1(k-2)$ is B_{12} and ... and $u_1(k-n_{u1})$ is B_{1nu1} and $u_2(k-1)$ is C_{11} and $u_2(k-2)$ is C_{12} and ... and $u_2(k-n_{u2})$ is C_{1nu2} then $f_1 = \gamma_1$.

R_2 : if $y(k-1)$ is A_{11} and $y(k-2)$ is A_{12} and ... $y(k-n_y)$ is A_{1n_y} and $u_1(k-1)$ is B_{11} , $u_1(k-2)$ is B_{12} and ... and $u_1(k-n_{u1})$ is $B_{1n_{u1}}$ and $u_2(k-1)$ is C_{11} and $u_2(k-2)$ is C_{12} and ... and $u_2(k-n_{u2})$ is $C_{2n_{u2}}$ then $f_2 = \gamma_2$.

...

R_q : if $y(k-1)$ is A_{21} and $y(k-2)$ is A_{22} and ... $y(k-n_y)$ is A_{2n_y} and $u_1(k-1)$ is B_{21} , $u_1(k-2)$ is B_{22} and ... and $u_1(k-n_{u1})$ is $B_{2n_{u1}}$ and $u_2(k-1)$ is C_{21} and $u_2(k-2)$ is C_{22} and ... and $u_2(k-n_{u2})$ is $C_{2n_{u2}}$ then $f_q = \gamma_q$.

...

R_p : if $y(k-1)$ is A_{n1} and $y(k-2)$ is A_{n2} and ... $y(k-n_y)$ is A_{nny} and $u_1(k-1)$ is B_{n1} , $u_1(k-2)$ is B_{n2} and ... and $u_1(k-n_{u1})$ is B_{nnu1} and $u_2(k-1)$ is C_{n1} and $u_2(k-2)$ is C_{n2} and ... and $u_2(k-n_{u2})$ is C_{nnu2} then $f_p = \gamma_p$.

که f_p تابع نتیجه برای قانون q و γ_q پارامتر نتیجه $(q = 1, p)$ می باشد.

تعداد قوانین زبانی (linguistic rules) برابر است با: $p = n^{(n_y + n_{u1} + n_{u2})}$

خروجی سیستم فازی Takagi- Sugeno برابر است با:

$$y_m(k) = \sum_{q=1}^p \bar{Z}_q f_q \quad (3)$$

که

$$\bar{Z}_q = \frac{Z_q}{\sum_{q=1}^p Z_q} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Z_1 = & \mu_{A_{11}}(y(k-1)) * \mu_{A_{12}}(y(k-2)) * \dots * \mu_{A_{1n_y}}(y(k-n_y)) \\ & * \mu_{B_{11}}(u_1(k-1)) * \mu_{B_{12}}(u_1(k-2)) * \dots * \mu_{B_{1n_{u1}}}(u_1(k-n_{u1})) \\ & * \mu_{C_{11}}(u_2(k-1)) * \mu_{C_{12}}(u_2(k-2)) * \dots * \mu_{A_{1n_y}}(u_2(k-n_{u2})) \end{aligned}$$

$$Z_2 = \mu_{A_{11}}(y(k-1)) * \mu_{A_{12}}(y(k-2)) * \dots * \mu_{A_{1n_y}}(y(k-n_y)) \\
* \mu_{B_{11}}(u_1(k-1)) * \mu_{B_{12}}(u_1(k-2)) * \dots * \mu_{B_{1n_{u_1}}}(u_1(k-n_{u_1})) \\
* \mu_{C_{11}}(u_2(k-1)) * \mu_{C_{12}}(u_2(k-2)) * \dots * \mu_{C_{1n_{u_2}}}(u_2(k-n_{u_2}))$$

....

$$Z_q = \mu_{A_{21}}(y(k-1)) * \mu_{A_{22}}(y(k-2)) * \dots * \mu_{A_{2n_y}}(y(k-n_y)) \\
* \mu_{B_{21}}(u_1(k-1)) * \mu_{B_{22}}(u_1(k-2)) * \dots * \mu_{B_{2n_{u_1}}}(u_1(k-n_{u_1})) \\
* \mu_{C_{21}}(u_2(k-1)) * \mu_{C_{22}}(u_2(k-2)) * \dots * \mu_{C_{2n_{u_2}}}(u_2(k-n_{u_2}))$$

...

$$Z_p = \mu_{A_{n1}}(y(k-1)) * \mu_{A_{n2}}(y(k-2)) * \dots * \mu_{A_{nn_y}}(y(k-n_y)) \\
* \mu_{B_{n1}}(u_1(k-1)) * \mu_{B_{n2}}(u_1(k-2)) * \dots * \mu_{B_{nn_{u_1}}}(u_1(k-n_{u_1})) \\
* \mu_{C_{n1}}(u_2(k-1)) * \mu_{C_{n2}}(u_2(k-2)) * \dots * \mu_{A_{nn_y}}(u_2(k-n_{u_2}))$$

اگر تابع عضویت را به شکل گوسین بدست آوریم، پس:

$$\mu_{A_{ij}}(y(k-j)) = \exp\left(\frac{-0.5(y(k-j) - C_{A_{ij}})^2}{\sigma_{A_{ij}}^2}\right), i = 1, n; j = 1, n_y \quad (5)$$

$$\mu_{B_{il}}(u_1(k-l)) = \exp\left(\frac{-0.5(u_1(k-l) - C_{B_{il}})^2}{\sigma_{B_{il}}^2}\right), i = 1, n; l = 1, n_{u_1} \quad (6)$$

و

$$\mu_{C_{im}}(u_2(k-m)) = \exp\left(\frac{-0.5(u_2(k-m) - C_{C_{im}})^2}{\sigma_{C_{im}}^2}\right), i = 1, n; m = 1, n_{u_2} \quad (7)$$

این‌ها پارامترهای $\mu_{C_{im}}$ و $\mu_{B_{il}}$ ، $\mu_{A_{ij}}$ ، $\sigma_{C_{im}}$ و $C_{C_{im}}$ ، $\sigma_{B_{il}}$ ، $C_{B_{il}}$ ، $\sigma_{A_{ij}}$ ، $C_{A_{ij}}$ منطقی می‌باشند.

$$f_q = \gamma_q \quad (8)$$

با جایگزین کردن روابط (۴) و (۸) در رابطه (۳) خروجی سیستم به صورت زیر بدست می آید:

$$y_m(k) = \frac{1}{\sum_{q=1}^p Z_q} \sum_{q=1}^p Z_q \gamma_q \quad (9)$$

این سیستم، سیستم انطباقی مبتنی بر منطق فازی (ANFIS) می باشد.

تفاوت بین خروجی صفحه $y(k)$ و خروجی شبکه $y_m(k)$ خطای پیش بینی نامیده می شود:

$$e(k) = y(k) - y_m(k) \quad (10)$$

خطا برای تصحیح پارامترهای سیستم منطق فازی، از طریق حداقل کردن تابع هزینه زیر، به کار می روند:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_m(k)]^2 \quad (11)$$

برای به روز کردن پارامترهای منطقی از روش گرادیان نزولی استفاده شده است. روش حداقل مربعات برای به روز نمودن پارامترهای نتیجه (حاصله) به کار رفته است. هر تکرار الگوریتم آموزشی دوگانه شامل یک حرکت رفت و یک حرکت برگشت در ANFIS می باشد. Jang پیش زمینه ریاضی الگوریتم آموزش (یادگیری) دوگانه را توضیح داده است (مرجع ۲۱).

۴- نتایج شبیه سازی و بحث

هدف اصلی این پژوهش، ساخت یک مدل ANFIS برای پیش بینی جابجایی شعاعی سد قوسی می باشد.

انتخاب یک مجموعه مناسب از متغیرهای ورودی طی توسعه ANFIS برای مدل سازی مهم می باشد. فشار هیدرواستاتیک و بار حرارتی مهم ترین اجزایی هستند که باید هنگام مدل سازی جابجایی سد، در نظر گرفته شوند. بار هیدرواستاتیک را می توان بر مبنای سطح آب مخزن به دقت مدل نمود. توصیف بار گرمایی (حرارتی) نیازمند این است که مقدار دما در چندین نقطه از سازه مشخص باشد. این آگاهی معمولاً وجود ندارد. بنابراین، بار گرمایی

را می‌توان با پارامتر d نشان داد. در حالی که برای پیشنهاد مدلی جابجایی‌های افقی سد، Demirkaya متغیرهای ورودی زیر را انتخاب کرد: سطح آب مخزن، مقادیر نشان داده شده توسط گرماسنج تعبیه شده در وجه بالادست و پایین‌دست و در میانه سد و دمای هوا.

جابجایی سد یک نوع رفتار متغیر زمانی می‌باشد. در این پژوهش، برای محاسبه‌ی جابجایی شعاعی نقاط p_1 و p_2 در بلوک ۲، ۸ دو مدل ANFIS تهیه شده است. ورودی‌های مدل عبارتند از: $u_1 = d = \frac{2\pi J_d}{365}$ و $u_2 = h$ و مقادیر جابجایی افقی اندازه‌گیری شده در بازه‌های زمانی پیشین، که d بین ۰ و 2π تغییر می‌کند، J_d نشان دهنده تعداد روزها از اول ژانویه می‌باشد و h ارتفاع سطح آب است. محدوده تغییرات متغیر ورودی h بین ۲۷۱/۸۸ و ۲۸۲/۲۲ متر می‌باشد. جعبه ابزار فازی نرم‌افزار MATLAB برای اجرای مدل فازی استفاده شد.

تعداد ورودی ANFIS به ترتیب توسط تأخیرات ورودی و خروجی n_{u_1} ، n_{u_2} و n_y مشخص می‌شود. در فرآیند مدل‌سازی و فرآیند رفتاری، دانش و بینش قبلی می‌تواند را در انتخاب تعداد تأخیرهای ممکن کمک نمایند. در این پژوهش، برای هر دو مدل دقت مطلوب برای $n_{u_1} = 1$ ، $n_{u_2} = 1$ و $n_y = 3$ بدست آمد. بردار ورودی سیستم‌های فازی Takagi- Sugeno عبارت است از:

$$I^T(k) = [y(k-1), y(k-2), y(k-3), u_1(k-1), u_2(k-1)]$$

مقدار پیش‌بینی شده جابجایی شعاعی در بازه زمانی k به مقدار جابجایی شعاعی اندازه‌گیری شده در بازه زمانی $(k-1)$ ، $(k-2)$ و $(k-3)$ یعنی $(y(k-1), y(k-2), y(k-3))$ ، ارتفاع سطح آب و مقدار پارامتر d در بازه زمانی $k-1$ بستگی دارد. اثرات فشار هیدرواستاتیک و بار گرمایی بر روی جابجایی‌های سد به دو صورت در نظر گرفته شده است: به طور صریح از طریق پارامترهای d و h به عنوان ورودی‌های مدل و به صورت ضمنی از طریق مقادیر جابجایی شعاعی اندازه‌گیری شده به عنوان ورودی‌های مدل. بنابراین، اثر هر متغیر بر روی خروجی مدل را نمی‌توان به صورت جداگانه بررسی کرد.

اثر زمان از طریق مقادیر جابجایی شعاعی اندازه‌گیری شده در بازه‌های زمانی قبلی به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شده است. این مقادیر اندازه‌گیری شده فقط به تغییرات فشار هیدرواستاتیک و دما بستگی ندارند، بلکه به عوامل دیگری مانند کاهش کیفیت مصالح در طول عمر سازه نیز بستگی دارند.

انتخاب پارمترها برای فرآیند آموزش و اثر آن‌ها بر ANFIS موضوع مرجع ۲۱ می‌باشد. اندازه گام اولیه ۰/۰۱ تعریف شد. اندازه گام با نرخ ۰/۹ کاهش و با نرخ ۱/۱ افزایش می‌یابد. افراز فازی متغیرهای ورودی ANFIS توسط انتخاب دو مجموعه فازی اولیه تحقق می‌یابد.

یک تابع عضویت گوسین دو طرفه (gauss2mf) در نظر گرفته شد. تابع $gauss2mf \mu_{A_{ij}}(y(k-j))$ ترکیبی از دو تابع گوسین می‌باشد. اولین تابع، با $\sigma_{A_{ij(1)}}$ و $C_{A_{ij(1)}}$ مشخص می‌شود، شکل قوس سمت چپ را مشخص می‌نماید. دومین تابع، $\sigma_{A_{ij(2)}}$ و $C_{A_{ij(2)}}$ مشخص می‌شود، شکل قوس سمت راست را مشخص می‌نماید. هنگامی که $C_{A_{ij(1)}} < C_{A_{ij(2)}}$ ، تابع gauss2mf به مقدار بیشینه ۱ می‌رسد. در غیر این صورت، مقدار بیشینه کم‌تر از ۱ می‌باشد.

پارامترهای توابع عضویت مدل‌های ورودی برای پیش‌بینی جابجایی شعاعی نقاط p_1 و p_2 بعد از آموزش در جداول ۱ و ۲ آورده شده‌اند. برای به روز نمودن پارامترهای منطقی (۴۰)، روش گرادیان نزولی استفاده شده است.

روش حداقل مربعات برای به روز نمودن پارامترهای نتیجه (خروجی) (۳۲) به کار برده شده است.

پارامترهای نتیجه مدل‌های فازی $\gamma = [\gamma_1 \ \gamma_2 \ \dots \ \gamma_{32}]^T$ در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- پارامترهای توابع عضویت ورودی مدل‌های پیش‌بینی جابجایی شعاعی نقطه p_1

Input variable	Range	Membership function	Parameters of the membership functions
$y(k-1)$	[-4.6 19]	A_{11}	$\sigma_{A11(1)} = 4.009$; $C_{A11(1)} = -11.68$; $\sigma_{A11(2)} = 4.349$; $C_{A11(2)} = 2.666$
		A_{21}	$\sigma_{A21(1)} = 4.683$; $C_{A21(1)} = 11.67$; $\sigma_{A21(2)} = 4.009$; $C_{A21(2)} = 26.08$
$y(k-2)$	[-4.6 19]	A_{12}	$\sigma_{A12(1)} = 4.009$; $C_{A12(1)} = -11.68$; $\sigma_{A12(2)} = 4.318$; $C_{A12(2)} = 2.644$
		A_{22}	$\sigma_{A22(1)} = 4.413$; $C_{A22(1)} = 11.81$; $\sigma_{A22(2)} = 4.009$; $C_{A22(2)} = 26.08$
$y(k-3)$	[-4.6 19]	A_{13}	$\sigma_{A13(1)} = 4.009$; $C_{A13(1)} = -11.68$; $\sigma_{A13(2)} = 6.389$; $C_{A13(2)} = 3.486$
		A_{23}	$\sigma_{A23(1)} = 6.15$; $C_{A23(1)} = 10.95$; $\sigma_{A23(2)} = 4.009$; $C_{A23(2)} = 26.08$
$d(k-1)$	[0.08575 6.26]	B_{11}	$\sigma_{B11(1)} = 1.049$; $C_{B11(1)} = -1.767$; $\sigma_{B11(2)} = 1.572$; $C_{B11(2)} = 2.52$
		B_{21}	$\sigma_{B21(1)} = 0.07908$; $C_{B21(1)} = 4.321$; $\sigma_{B21(2)} = 1.049$; $C_{B21(2)} = 8.112$
$h(k-1)$	[271.9 282.2]	C_{11}	$\sigma_{C11(1)} = 1.756$; $C_{C11(1)} = 268.8$; $\sigma_{C11(2)} = 2.749$; $C_{C11(2)} = 275.9$
		C_{21}	$\sigma_{C21(1)} = 2.298$; $C_{C21(1)} = 278.9$; $\sigma_{C21(2)} = 1.756$; $C_{C21(2)} = 285.3$

جدول ۲- پارامترهای توابع عضویت ورودی مدل‌های پیش‌بینی جابجایی شعاعی نقطه p_2

Input variable	Range	Membership functions	Parameters of the membership function
$y(k-1)$	[2.1 17.5]	A_{11}	$\sigma_{A11(1)} = 2.616; c_{A11(1)} = -2.52;$ $\sigma_{A11(2)} = 2.763; c_{A11(2)} = 7.707$
		A_{21}	$\sigma_{A21(1)} = 1.703; c_{A21(1)} = 10.77;$ $\sigma_{A21(2)} = 2.616; c_{A21(2)} = 22.12$
$y(k-2)$	[2.1 17.5]	A_{12}	$\sigma_{A12(1)} = 2.616; c_{A12(1)} = -2.52;$ $\sigma_{A12(2)} = 1.98; c_{A12(2)} = 6.994$
		A_{22}	$\sigma_{A22(1)} = 0.9371; c_{A22(1)} = 13.93;$ $\sigma_{A22(2)} = 2.616; c_{A22(2)} = 22.12$
$y(k-3)$	[2.1 17.5]	A_{13}	$\sigma_{A13(1)} = 2.616; c_{A13(1)} = -2.52;$ $\sigma_{A13(2)} = 3.491; c_{A13(2)} = 8.029$
		A_{23}	$\sigma_{A23(1)} = 4.369; c_{A23(1)} = 13.15;$ $\sigma_{A23(2)} = 2.616; c_{A23(2)} = 22.12$
$d(k-1)$	[0.08575 6.26]	B_{11}	$\sigma_{B11(1)} = 1.049; c_{B11(1)} = -1.767;$ $\sigma_{B11(2)} = 4.589; c_{B11(2)} = 3.609$
		B_{21}	$\sigma_{B21(1)} = 0.7791; c_{B21(1)} = 2.377;$ $\sigma_{B21(2)} = 1.049; c_{B21(2)} = 8.112$
$h(k-1)$	[271.9 282.2]	C_{11}	$\sigma_{C11(1)} = 1.756; c_{C11(1)} = 268.8;$ $\sigma_{C11(2)} = 1.718; c_{C11(2)} = 276.4$
		C_{21}	$\sigma_{C21(1)} = 1.833; c_{C21(1)} = 281.5;$ $\sigma_{C21(2)} = 1.756; c_{C21(2)} = 285.3$

جدول ۳- پارامترهای نتیجه (خروجی) مدل‌های فازی

ANFIS model point P1	$\gamma = [-10.05 \ -1.035 \ -3.234 \ 0.2076 \ 34.11 \ 7.047 \ 44.67 \ 6.528 \ 6.528 \ -6.504 \ -30.79 \ 12.88 \ 47.52 \ 21.54 \ 27.61 \ 11.22 \ 45.57 \ -4.537 \ -20.93 \ -5.292 \ -81.12 \ 29.12 \ 15.05 \ 31.25 \ 13.13 \ -11.43 \ 11.87 \ -9.628 \ 18.2 \ 19.39 \ 19.5 \ 19.43]^T$
ANFIS model point P2	$\gamma = [-171.1 \ -41.32 \ 173.8 \ 52.15 \ 150.4 \ -39.14 \ -117.6 \ 59.66 \ -41.91 \ 97.45 \ 73.06 \ -70.96 \ 14.88 \ -8.423 \ 33.56 \ 38.7 \ 169.4 \ -50.56 \ -144.3 \ 61.11 \ -220.1 \ 49.29 \ 232.8 \ -16.49 \ 16.78 \ 1.356 \ -8.53 \ 1.138 \ 16.65 \ 17.47 \ 15.21 \ 15.32]$

مدل‌های ANFIS در مثال‌های بررسی شده ۳۲ قانون دارند:

R_1 : if $y(k-1)$ is A_{11} and $y(k-2)$ is A_{12} and $y(k-3)$ is A_{13} and $d(k-1)$ is B_{11} and $h(k-1)$ is C_{11} then: $f_1 = c_1$.

R_2 : if $y(k-1)$ is A_{11} and $y(k-2)$ is A_{12} and $y(k-3)$ is A_{13} and $d(k-1)$ is B_{11} and $h(k-1)$ is C_{21} then: $f_2 = c_2$.

R_3 : if $y(k-1)$ is A_{11} and $y(k-2)$ is A_{12} and $y(k-3)$ is A_{13} and $d(k-1)$ is B_{21} and $h(k-1)$ is C_{11} then: $f_3 = c_3$.

R_4 : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_4 = c_4$.
 R_5 : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_5 = c_5$.
 R_6 : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_6 = c_6$.
 R_7 : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_7 = c_7$.
 R_8 : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_8 = c_8$.
 R_9 : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_9 = c_9$.
 R_{10} : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_{10} = c_{10}$.
 R_{11} : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_{11} = c_{11}$.
 R_{12} : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_{12} = c_{12}$.
 R_{13} : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_{13} = c_{13}$.
 R_{14} : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_{14} = c_{14}$.
 R_{15} : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_{15} = c_{15}$.
 R_{16} : if $y(k - 1)$ is A_{11} and $y(k - 2)$ is A_{22} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_{16} = c_{16}$.
 R_{17} : if $y(k - 1)$ is A_{21} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_{17} = c_{17}$.
 R_{18} : if $y(k - 1)$ is A_{21} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_{18} = c_{18}$.
 R_{19} : if $y(k - 1)$ is A_{21} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_{19} = c_{19}$.
 R_{20} : if $y(k - 1)$ is A_{21} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{13} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_{20} = c_{20}$.
 R_{21} : if $y(k - 1)$ is A_{21} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_{21} = c_{21}$.
 R_{22} : if $y(k - 1)$ is A_{21} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{11} and $h(k - 1)$ is C_{21} then: $f_{22} = c_{22}$.
 R_{23} : if $y(k - 1)$ is A_{21} and $y(k - 2)$ is A_{12} and $y(k - 3)$ is A_{23} and $d(k - 1)$ is B_{21} and $h(k - 1)$ is C_{11} then: $f_{23} = c_{23}$.

R24: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A12 and $y(k - 3)$ is A23 and $d(k - 1)$ is B21 and $h(k - 1)$ is C21 then: $f_{24} = c_{24}$.

R25: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A13 and $d(k - 1)$ is B11 and $h(k - 1)$ is C11 then: $f_{25} = c_{25}$.

R26: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A13 and $d(k - 1)$ is B11 and $h(k - 1)$ is C21 then: $f_{26} = c_{26}$.

R27: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A13 and $d(k - 1)$ is B21 and $h(k - 1)$ is C11 then: $f_{27} = c_{27}$.

R28: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A13 and $d(k - 1)$ is B21 and $h(k - 1)$ is C21 then: $f_{28} = c_{28}$.

R29: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A23 and $d(k - 1)$ is B11 and $h(k - 1)$ is C11 then: $f_{29} = c_{29}$.

R30: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A23 and $d(k - 1)$ is B11 and $h(k - 1)$ is C21 then: $f_{30} = c_{30}$.

R31: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A23 and $d(k - 1)$ is B21 and $h(k - 1)$ is C11 then: $f_{31} = c_{31}$.

R32: if $y(k - 1)$ is A21 and $y(k - 2)$ is A22 and $y(k - 3)$ is A23 and $d(k - 1)$ is B21 and $h(k - 1)$ is C21 then: $f_{32} = c_{32}$.

عملکرد مدل‌های محاسبات نرم با استفاده از ضریب هم‌بستگی (r)، خطای میانگین مطلق (MAE) و خطای مربع میانگین (MSE) به صورت زیر ارزیابی می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{k=4}^N (y_m(k) - \bar{y}_m)(y(k) - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=4}^N (y_m(k) - \bar{y}_m)^2 \sum_{k=4}^N (y(k) - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=4}^N |y_m(k) - y(k)| \quad (13)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=4}^N (y_m(k) - y(k))^2 \quad (14)$$

که y_m و y به ترتیب نشان دهنده خروجی مدل و مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشند؛ \bar{y}_m و \bar{y} به ترتیب مقادیر میانگین آن‌ها می‌باشند و N تعداد مشاهدات است.

مقادیر کوچک‌تر MAE و MSE نمایانگر عملکرد بهتر می‌باشند.

پارامترهای عملکردی مدل‌های ANFIS برای پیش‌بینی جابجایی شعاعی در جدول ۴ آورده شده‌اند.

جدول ۴- پارامترهای عملکردی مدل‌های ANFIS برای پیش‌بینی جابجایی شعاعی نقاط p_1 و p_2

Model	Data set	r	MAE	MSE
ANFIS model point P1	Training	0.9888	0.6811	0.7908
	Test	0.9832	0.8937	1.3142
ANFIS model point P2	Training	0.9815	0.5241	0.4555
	Test	0.9712	0.7035	0.7456

مدل NARX فرض می‌کند که مشاهدات با فرکانس یکسانی نمونه‌برداری شده‌اند. در شبیه‌سازی ما، مجموعه‌ی داده‌های آموزشی کامل بود. حتی اگر مجموعه داده‌های آموزشی ناقص باشد، تکنیک‌های فروانی برای تخمین داده‌های مفقوده وجود دارد. در موردی که مدل استفاده می‌شود و مقدار جابجایی اندازه‌گیری شده $y(k-i)$ وجود نداشته باشد، مقدار تخمین زده شده $y_m(k-i)$ را می‌توان به کار برد.

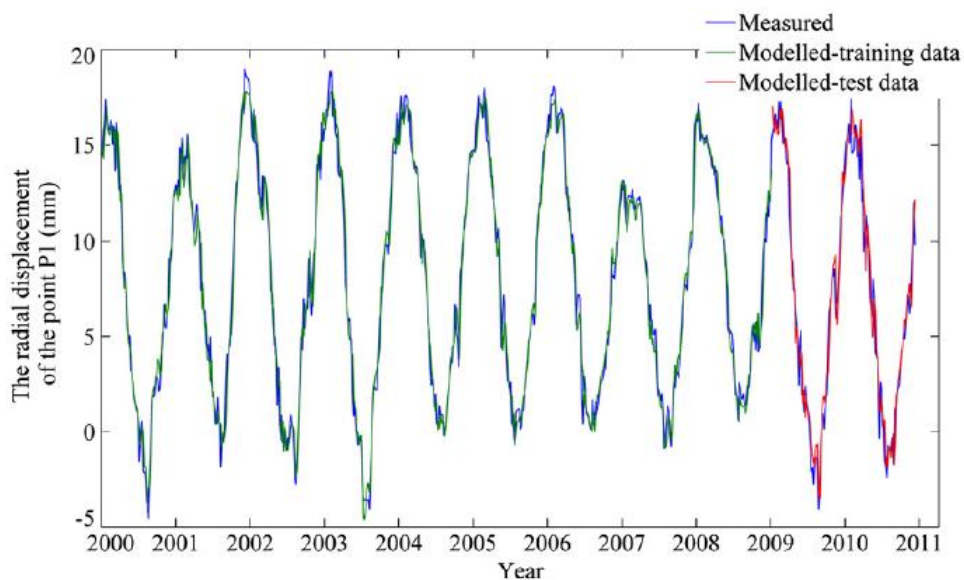
شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر جابجایی شعاعی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده براساس مدل را برای نقاط p_1 و p_2 در مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی نشان می‌دهند.

خطاهای بین مقادیر جابجایی شعاعی اندازه‌گیری شده و مدل‌شده برای نقاط p_1 و p_2 در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. متغیر ورودی d مدل ANFIS پیوسته نمی‌باشد (در ۳۱ دسامبر مقدارش 2π و در اول ژانویه مقدارش ۰ می‌باشد). منحنی خطا (شکل ۶) نشان می‌دهد که اختلاف قابل توجهی بین مقادیر مشاهده شده و مدل شده در این روزها وجود ندارد، زیرا اثرات بار گرمایی بر روی جابجایی‌های سد به طور صریح از طریق پارامترهای d به عنوان ورودی و از طریق مقادیر اندازه‌گیری شده جابجایی شعاعی به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شده است.

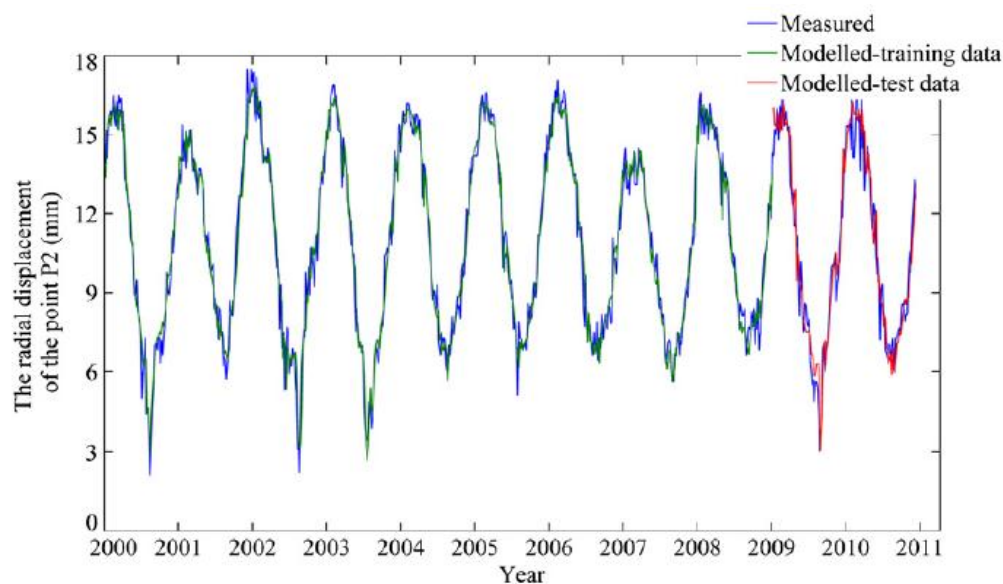
Mata مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه و مدل‌های شبکه عصبی پرسپترون چند لایه را برای پیش‌بینی جابجایی بالادست- پایین‌دست سد قوسی را با جابجایی‌های ثبت شده توسط یک آونگ (پاندول) مقایسه کرد. مدل‌ها براساس داده‌های تجربی تاریخیچه زمانی (قبل) سطوح آب مخزن، دماهای خارجی و پاسخ‌های سازه ایجاد شدند. ضریب هم‌بستگی برای مقادیر بدست آمده توسط مدل رگرسیون چند خطی و مقادیر جابجایی مشاهده شده ۰/۹۷ و ۰/۹۸ به ترتیب برای مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی بود. ضریب هم‌بستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر حاصله از شبکه عصبی، برای هر دو مجموعه آموزشی و آزمایشی ۰/۹۸ محاسبه شد.

De Sortis برای پیش‌بینی جابجایی افقی بالادست- پایین‌دست تاج، هم تحلیل آماری و هم تعیین هویت سازه‌ای را به کار برد. ضرایب هم‌بستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمین زده شده با تحلیل آماری از ۰/۸۷۷ تا ۰/۹۸۳ گزارش شد.

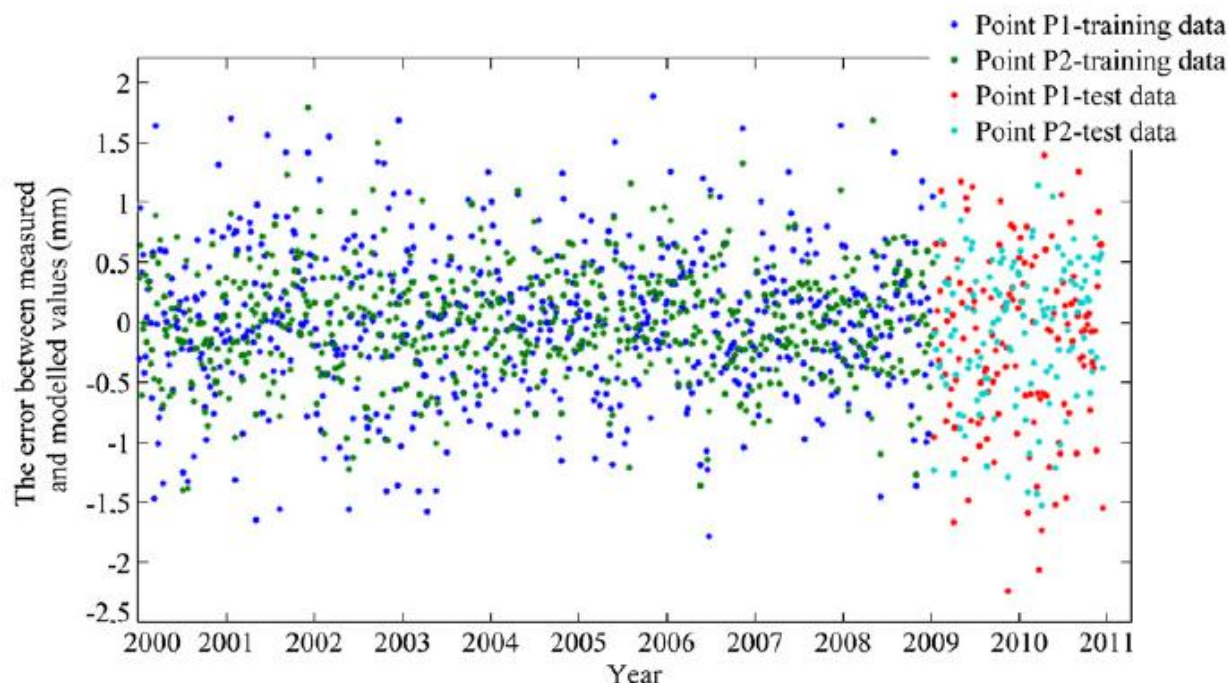
محققین نتیجه گرفتند که تکنیک تعیین هویت سازه، در پیش‌بینی رفتار آتی سازه، دقت بالاتری ارائه می‌دهد. ضرایب هم‌بستگی برای مقادیر مدل شده و مقادیر مشاهده شده در محدوده ۰/۹۳۳ تا ۰/۹۸۸ گزارش شده است.



شکل ۴- مقادیر جابجایی شعاعی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده برای نقطه p_1 در مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی.



شکل ۵- مقادیر جابجایی شعاعی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده برای نقطه p_2 در مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی.



شکل ۶- خطای بین مقادیر جابجایی شعاعی اندازه گیری شده و محاسبه شده براساس مدل.

Demirkaya، برای پیش‌بینی جابجایی، سه مدل ANFIS ارائه کرد. بهترین مدل ANFIS دارای ضرایب هم‌بستگی ۰/۹۹۳۶ و ۰/۹۹۹۶ به ترتیب برای مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی می‌باشد. داده‌های ثبت شده به صورت روزانه از ژانویه ۱۹۹۲ تا دسامبر ۱۹۹۸ برای آموزش (آماده کردن) و آزمایش مدل استفاده شدند.

در پژوهش ما، مدل تعیین هویت مبتنی بر منطق فازی پیشنهادی در پیش‌بینی جابجایی شعاعی دارای کارایی بالایی می‌باشد و با نتایج کارهای محققین دیگر هم‌خوانی دارد. عملکردهای پیش‌بینی مدل‌های تعیین هویت با ۷۸۳ نمونه داده ارائه شده در جدول ۴ آموزش داده (آماده گردیده) و آزمایش شده‌اند. تأثیر فرکانس اندازه‌گیری‌ها بر عملکرد مدل‌ها از طریق ایجاد مدل‌های جدید براساس اندازه‌گیری‌های ۱۵ روزه بررسی شد. در فرآیند آموزش ANFIS ۲۱۶ نمونه استفاده شد. برای اولین مدل ANFIS، مقادیر ضرایب هم‌بستگی برای مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی به ترتیب برابر ۰/۹۹۲۴ و ۰/۹۷۱۲ تعیین شدند. برای دومین مدل ANFIS، مقادیر ضرایب هم‌بستگی برای مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی به ترتیب برابر ۰/۹۸۶۶ و ۰/۹۶۲۸ تعیین شدند. کاهش فرکانس اندازه‌گیری‌ها سبب می‌شود مدل‌هایی به دست آیند که ضریب هم‌بستگی‌شان برای مجموعه آموزشی کمی بالاتر باشد، اما ضریب هم‌بستگی‌شان برای مجموعه آزمایشی کمی کم‌تر است.

۵- نتایج

پیش‌بینی جابجایی‌های آتی سد یک مسئله چالش برانگیز در مهندسی سد می‌باشد. رفتار سد تابعی غیر خطی از فشار هیدرواستاتیک، دما و دیگر عوامل نامعلوم مانند اثرات زمان می‌باشد. این مقاله شناسایی رفتار سازه‌ای غیر خطی را با استفاده از ANFIS بررسی کرد. مقایسه بین مقادیر جابجایی شعاعی مدل شده براساس ANFIS و داده‌های تجربی نشان می‌دهد که تعیین هویت (شناسایی) مبتنی بر منطق فازی، برای تخمین زدن رفتار سازه‌ای غیر خطی نامعین سد قوسی، ابزاری موثر می‌باشد. عملکرد مدل‌های محاسبات نرم با استفاده از ضرایب هم‌بستگی، خطای میانگین مطلق و خطای مربع میانگین بررسی گردید.

محدودیت اساس این رویکرد بر این اصل مبتنی است که به طور مستقیم ویژگی‌های مکانیکی و خرابی‌های محتمل را در نظر نمی‌گیرد. انجام تحلیل‌های اضافی به صورت آزمایش‌های غیر مخرب (استاتیکی و دینامیکی)، مدل‌سازی مکانیکی محاسباتی و تحلیل معکوس نیز ضروری می‌باشد.

در مورد امکان کاربرد رویکرد پیشنهادی مبتنی بر تعیین هویت ANFIS، به منظور محاسبه‌ی نشت (تراوش)، تنش و بازشدن ترک‌های سد بررسی‌های بیشتری می‌توان انجام داد. همین که مدل منطق فازی تهیه شود برای کارهای واپایش بیشتر، به عنوان یک ابزار مدیریتی پیشگویانه، می‌تواند استفاده شود.