

تخمین بار کمانشی ستون هوشمند با استفاده از برنامه ریزی ژنتیکی

رحمان میرزایی

دانشجوی دکتری عمران - زلزله، مربی دانشگاه آزاد اسلامی بناب

Rahman.Mirzaei@yahoo.com

یاسر شهبازی

دانشجوی دکتری عمران - سازه، دانشگاه صنعتی سهند

علیرضا بابائیان امینی

دانشجوی دکتری عمران - سازه هیدرولیکی، مربی دانشگاه آزاد بناب

مرآت اقبالیان

کارشناس ارشد عمران، مدرس دانشگاه آزاد اسلامی سوادکوه

(تاریخ دریافت مقاله: تاریخ پذیرش مقاله:)

چکیده

در این مقاله، بار و مود کمانشی اصلی یک ستون هوشمند ارایه شده است. مدل تئوریک عضو فشاری کامپوزیت پیزوالکتریک سه لایه است که به صورت یک مکانیزم به کاراندازنده محوری عمل می کند. این به کاراندازنده شامل یک هسته الاستیک بوده که بین دو لایه فعال پیزوالکتریک ساندویچ شده است. لایه های پیزوالکتریک به صورت جانبی پلاریزه شده اند به نحوی که بردار پلاریزاسیون با میدان الکتریکی اعمالی به لایه های فعال موازی است. مدل المان محدود ستون کامپوزیت هوشمند توسط نرم افزار المان محدود ANSYS صورت گرفته است. سپس، نتایج آنالیزهای عددی کمانش ستون کامپوزیت هوشمند برای آموزش سیستم برنامه ریزی ژنتیک (Genetic Programming) بکار رفته است. در نهایت، با توجه به قابلیت برنامه ریزی ژنتیک در معرفی یک رابطه حاکم بر داده های آموزش، یک رابطه ریاضی برای محاسبه بار کمانشی ستون کامپوزیت هوشمند ارایه شده است.

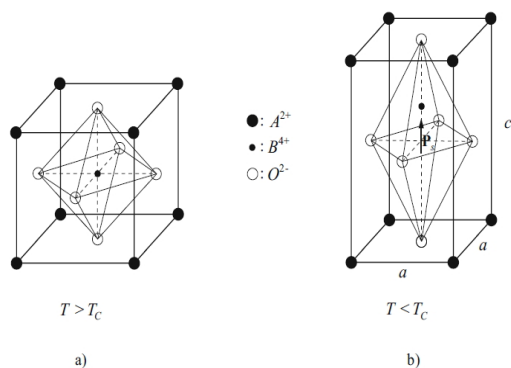
کلمات کلیدی: سازه های هوشمند، آنالیز کمانش، مدل المان محدود، برنامه ریزی ژنتیک، ANSYS.

۱- مقدمه

مواد واکنشی نیز گفته می شود. باید توجه داشت که مواد مورد استفاده در پیاده سازی تکنولوژی هوشمند ضرورتاً جدید نیستند اما به طرز شگرفی در حال توسعه است. در واقع این موضوع با گسترش بعضی مفاهیم نو در جهان اطراف القاء شده است. در طراحی یک محصول یا سیستم هوشمند باید زمینه های متعارف

مواد هوشمند برای توانمند ساختن سیستم های سازه ای در تشخیص اغتشاشات، پردازش اطلاعات و ایجاد عکس العمل در محرک ها جهت خنثی کردن اثر اغتشاش، در سیستم های سازه ای جای گرفته و یا به آنها متصل شده اند. به عبارت دیگر، مواد هوشمند به عوامل محیطی پاسخ می دهند و از این رو به آنها،

تبدیل می‌شود. به موجب آن، یون اکسیژن در حالت چهار وجهی به سمت محور C کریستالوگرافیک جابجا می‌شود. در همان زمان، یک تغییر مکان یون مثبت شبکه به سمت جهت مخالف رخ می‌دهد. این جابجایی یونی منجر به یک انبساط پایه‌ای شبکه‌ای به سمت محور C شده در حالی که، یک انقباض به طور همزمان به طرف دو محور a نشان داده در شکل (b-1) رخ می‌دهد. اغتشاش ایجاد شده در اثر انتقال فاز پارا الکتریک به فاز فروالکتریک، تغییر شکل خود به خودی نامیده می‌شود.



شکل ۱- ساختار پروسکیت کریستال‌های نوع ABO_3

(a) بافت مکعبی بالای دمای کوری (b) بافت چهار وجهی زیر دمای کوری

با تغییر شکل خود به خودی از مرکز تقارن شبکه‌ی پایه‌ی چهار وجهی، یک گشتاور دو قطبی مناسب ایجاد می‌شود. مقدار گشتاور دو قطبی به حجم واحد شبکه وابسته است که پلاریزاسیون خود به خودی Ps نامیده می‌شود. این پلاریزاسیون موازی یا غیر موازی با محور C می‌باشد. در نتیجه، انتقال ساختار مکعبی به ساختار چهار وجهی به ترتیب، سه جهت برای انبساط خود به خودی و شش جهت برای پلاریزاسیون خود به خودی را میسر می‌سازد. با اعمال یک میدان الکتریکی خارجی، به دلیل نیروی فشاری روی مراکز بار موجود در شبکه پایه‌ی هرمی، انحراف در بارها و نتیجتاً پلاریزاسیون تولید شده‌ی اضافی و اثرات تغییر شکل ایجاد می‌شود.

در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰، کراولی و همکارانش، یک مدل تحلیلی برای به کار اندازنده‌های تکه‌ای جداگانه با مدل تیر سازه‌ای ارائه نمودند [۲،۳]. ایشان در تحقیقات خود نشان دادند که در باربری به کار اندازنده‌ها، به دلیل منبع ولتاژ اعمالی، یک سختی سازه‌ای کوپل فعال علاوه بر سختی سازه‌ای غیر فعال معمولی وجود دارد. پس از آن، مدل‌های عددی مخصوصاً مدل المان محدود (FE) نیز مورد استفاده قرار گرفت [۴-۱۱].

مهندسی از جمله مهندسی مکانیک، الکترونیک، اطلاعات و تکنولوژی، کنترل و کامپیوتر را همزمان به کار گرفت. هدف اصلی در زمینه‌ی مواد هوشمند، تعیین موادی است که در برابر تحریکات بیرونی به نحوی رفتار نمایند که سایر سازه‌های متعارف قادر به آن نباشند. حتی می‌توان مقدار چنین پاسخ‌های نامتعارفی را یک یا دو مرتبه بیشتر از ماکزیمم پاسخ سایر مواد رساند. برای اینکه یک ماده را هوشمند بنامیم، شاید پاسخی به تحریک خارجی کافی نباشد. برای تعریف دقیق‌تر این واژه، یک سازه، زمانی هوشمند در نظر گرفته می‌شود که اولاً به طریقی تحریک خارجی را تخمین زده و ثانیاً بعضی حرکات مناسب را بر اساس آنها انجام دهد. این حرکات ممکن است خنثی کردن اثرات تحریکات خارجی یا تشکیل یک تابع عملکردی (کاملاً متفاوت) باشد.

از جمله مواد هوشمندی که امروزه به طور چشمگیری مورد استفاده قرار می‌گیرد، مواد پیزوالکتریک می‌باشند. خاصیت پیزوالکتریسیته توسط J. Curie و P. Curie در سال ۱۸۸۰ کشف شد [۱]. برادران Curie اثر مستقیم پیزوالکتریک را در کریستال‌های تورمالین کشف کردند. آنها تشخیص دادند که تغییر شکل مکانیکی در جهت‌های خاص، سبب ایجاد بارهای سطحی الکتریکی در وجوه مقابل کریستال شده که متناسب با تغییر شکل مکانیکی است. این اثر که بعداً در کوارتز و سایر کریستال‌هایی بدون مرکز تقارن پیدا شد، اثر مستقیم پیزوالکتریک، اثر سنسوری، نامیده می‌شود. اثر معکوس پیزوالکتریک، اثر محرکی، توسط لیمپمن بر مبنای ملاحظات ترمودینامیکی ارائه و بعداً توسط برادران کوری به طور آزمایشگاهی تأیید شد.

امروزه سرمایه‌ک تیتانیت- زیرکونات- روی، جزء متداول‌ترین مواد پیزوالکتریک مورد استفاده می‌باشند. چرا که آنها نسبت به پیزوالکتریک‌های پلی کریستالین منفرد دارای قیمت تولید کم و امکان شکل‌دهی دلخواه بیشتری می‌باشند. تیتانیت- زیرکونات- روی در ساختار پروسکیت کریستال فروالکتریک از نوع ABO_3 پیدا شده است. در ساختار پروسکیت، A بیانگر یون دوبار مثبت روی، B و O به ترتیب بیانگر یون چهار بار مثبت تیتانیم و یون دو بار منفی اکسیژن می‌باشد. در دمایی بالاتر از دمای خاص T_c ، که دمای کوری نامیده می‌شود، شبکه‌ی پایه‌ی PZT یک ساختار مکعبی تولید می‌کند (شکل a-1). در این ساختار کریستالی به دلیل وجود مرکز تقارن، هیچ خاصیت پیزوالکتریکی ایجاد نمی‌شود. با نزول به زیر دمای کوری، بافت مکعبی شبکه‌ی کریستالی به دلایل انرژی، خود به خود به ساختار چهار وجهی

۲- معادلات حاکم بر سیستم های هوشمند

معادلات حرکت و شارژ در یک سیستم پیزو الکتریسیته خطی، به صورت زیر می باشد [۱۲]:

$$\begin{aligned} T_{ij,j} + \rho f_i &= \rho \ddot{u}_i \\ D_{i,i} &= \rho_e \end{aligned} \quad (۱)$$

در معادلات فوق، ρ چگالی جرمی کنونی، ρ_e چگالی شارژ آزاد در واحد حجم کنونی هستند. بر اساس استاندارد IEEE، تئوری خطی پیزوالکتریسیته شامل معادلات حرکت و شارژ رابطه (۱) و روابط پیوستگی زیر است [۱۳]:

$$\begin{aligned} T_{ij} &= c_{ijkl} S_{kl} - e_{kij} E_k \\ D_i &= e_{ijk} S_{jk} + \epsilon_{ij} E_j \end{aligned} \quad (۲)$$

روابط کرنش- تغییر مکان و میدان- پتانسیل به قرار زیر می باشند:

$$\begin{aligned} S_{ij} &= \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) \\ E_i &= -\phi_{,i} \end{aligned} \quad (۳)$$

با جایگذاری های صحیح معادلات (۲) و (۳)، معادله (۱) را می توان به صورت چهار معادله برای \mathbf{u} و Φ به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} c_{ijkl} u_{k,lj} + e_{kij} \phi_{,kj} + \rho f_i &= \rho \ddot{u}_i \\ e_{ikl} u_{k,li} - \epsilon_{ij} \phi_{,ij} &= \rho_e \end{aligned} \quad (۴)$$

V حجم ناحیه اشغال شده و S سطح مرزی جسم پیزوالکتریک است. در حالت کلی، برای شرایط مرزی، تقسیم بندی های زیر در K در نظر گرفته شده است:

$$\begin{aligned} S_u \cup S_T &= S_\phi \cup S_D = S \\ S_u \cap S_T &= S_\phi \cap S_D = \emptyset \end{aligned} \quad (۵)$$

که در آن ها S_u جایی است که تغییر مکان های مکانیکی اعمال شده و S_T قسمتی از S است که بردارهای نیرویی در آنجا اعمال شده اند. S_ϕ بیانگر آن بخشی از S است که الکترو دیندی شده و پتانسیل الکتریکی بیش از یک تابع زمانی نیست. در حالی که S_D قسمت بدون الکترو دیندی است. عمدتاً یک الکترو دیندی نازکی را نظر می گیریم که اثرات مکانیکی آن قابل صرف نظر کردن می باشد. برای شرایط مرزی مکانیکی تغییر مکان های \bar{u}_i اعمال شده اند،

$$u_i = \bar{u}_i \quad \text{on } S_u \quad (۶)$$

و نیروهای اعمال شده،

$$T_{ij} n_j = \bar{t}_i \quad \text{on } S_T \quad (۷)$$

و برای شرایط مرزی الکتریکی، قسمت الکترو دیندی S

$$\phi = \bar{\phi} \quad \text{on } S_\phi \quad (۸)$$

که در آن تغییر محسوسی ندارد. در قسمت بدون الکترو دیندی، شرط مرزی شارژ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$D_j n_j = -\bar{\sigma}_e \quad \text{on } S_D \quad (۹)$$

که σ_e چگالی شارژ آزاد در واحد سطح رویه است. در یک الکترو دیندی S_ϕ ، شارژ الکتریکی آزاد کلی Q_e را می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$Q_e = \int_{S_\phi} -n_i D_i dS \quad (۱۰)$$

جریان الکتریکی خروجی از الکترو دیندی به صورت زیر می باشد:

$$I = \dot{Q}_e \quad (۱۱)$$

گاهی اوقات دو (یا بیشتر) الکترو دیندی روی یک جسم وجود دارد که به یک میدان الکتریکی متصلند. در این حالت، معادله (یا معادلات) مدار باید در نظر گرفته شوند. معادلات و شرایط مرزی پیزوالکتریسیته خطی را می توان از اصل وردشی (حساب تغییرات) بدست آورد:

$$\begin{aligned} \Pi(\mathbf{u}, \phi) &= \\ & \int_{t_0}^{t_1} dt \int_V [\rho f_i u_i - \rho_e \phi] dV \\ & + \int_{t_0}^{t_1} dt \int_{S_T} \bar{t}_i u_i dS - \int_{t_0}^{t_1} dt \int_{S_D} \bar{\sigma}_e \phi dS \end{aligned} \quad (۱۲)$$

\mathbf{u} و Φ به عنوان متغیر از لحاظ وردشی زمانی مجاز می باشند که به حد کافی کوچک بوده و شرایط زیر را ارضاء نمایند:

$$\begin{aligned} \delta u_i |_{t=t_0} = 0, \quad \delta u_i |_{t=t_1} = 0 \quad \text{in } V \\ u_i = \bar{u}_i \quad \text{on } S_y, \quad t_0 < t < t_1 \end{aligned} \quad (۱۳)$$

$$\phi = \bar{\phi} \quad \text{on } S_\phi, \quad t_0 < t < t_1$$

تغییرات اول Π برابر است با:

$$\begin{aligned} \delta \Pi &= \\ & \int_{t_0}^{t_1} dt \int_V \left[(T_{jij,j} + \rho f_i - \rho \ddot{u}_i) \delta u_i \right. \\ & \quad \left. + (D_{i,i} - \rho_e) \delta \phi \right] dV \\ & - \int_{t_0}^{t_1} dt \int_{S_T} (T_{ji} n_j - \bar{t}_i) \delta u_i dS \\ & - \int_{t_0}^{t_1} dt \int_{S_D} (D_i n_i + \bar{\sigma}_e) \delta \phi dS \end{aligned} \quad (۱۴)$$

بنابراین شرط مانا بودن Π برابر خواهد بود با

$$T_{jij,j} + \rho f_i = \rho \ddot{u}_i \quad \text{in } V, \quad t_0 < t < t_1 \quad (۱۵)$$

$$D_{i,i} = \rho_e \quad \text{in } V, \quad t_0 < t < t_1$$

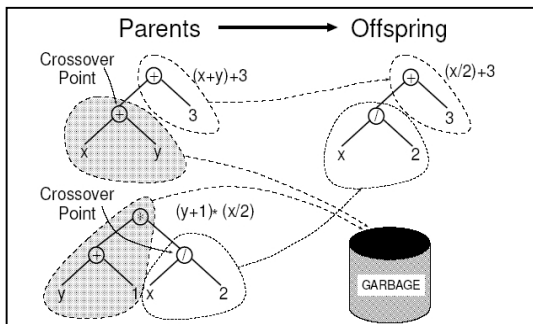
$$T_{ji} n_j = \bar{t}_i \quad \text{on } S_T, \quad t_0 < t < t_1$$

$$D_i n_i = -\bar{\sigma}_e \quad \text{on } S_D, \quad t_0 < t < t_1$$

۳- برنامه ریزی ژنتیکی GP

روش GP، از جمله تکنیک های هوش مصنوعی است که توسط کوزا در سال ۱۹۹۲ بسط داده شده [۱۴] و امروزه در علوم

آنها بریده شده و دور انداخته می‌شود و قسمت‌های باقیمانده کنار هم قرار می‌گیرند که این نحوه ترکیب را آمیزش (Crossover) گویند. شکل (۳)، نمونه‌ای از آن را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمونه‌ای از مدل آمیزش

در تکثیر به صورت جهش، یک جمعیت اولیه و یک جمعیت تصادفی انتخاب می‌گردد و باهم آمیزش می‌یابند. در روش‌های هوش مصنوعی، مجموعه داده‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول، برای آموزش و گروه دوم برای آزمون انتخاب می‌شوند که با توجه به داده‌های گروه اول آموزش مدل صورت می‌گیرد و سپس مدل بدست آمده با استفاده از داده‌های گروه دوم سنجیده می‌شود. در این روش‌ها، معیار جریمه‌ای نیز در سنجش الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. معیار جریمه‌ای (تابع fitness) که برای بهینه کردن GP، استفاده شده مطابق روابط (۱۶) و (۱۷) می‌باشد.

در این مطالعه، از ضریب تبیین (R^2) مطابق رابطه (۱۶) و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) مطابق رابطه (۱۷) و یا درصد آن مطابق رابطه (۱۸)، در انتخاب جواب بهینه استفاده شده است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (16)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2} \quad (17)$$

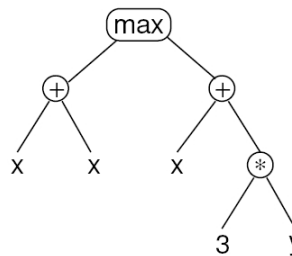
$$S.E. = \frac{RMSE}{\bar{P}_{cr}} * 100 \quad (18)$$

۴- مدل سازی عددی ANSYS

برای مدل المان محدود عضو فشاری هوشمند از نرم‌افزار آنالیز تنش (ANSYS (v5.6 استفاده شده است. بدین منظور، مدلی بر اساس پارامترهای سازگار با طراحی ساخته می‌شود.

مختلف از جمله علوم مهندسی مورد توجه قرار گرفته است. روش GP، در طول روند یادگیری، خود را با حالت ایده‌آل می‌سنجد و به آن نزدیک‌تر می‌شود. بدین منظور توابعی وجود دارند که میزان این گرایش را می‌سنجند (تابع جریمه). مزیتی که روش GP نسبت به سایر تکنیک‌های هوش مصنوعی از جمله الگوریتم ژنتیک (GA) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) دارد، این است که نتیجه را به صورت یک رابطه نیز می‌تواند ارائه دهد، هر چند که در موارد بسیاری این رابطه می‌تواند طولانی باشد. روش GP، مدل پیشرفته‌ای از تکنیک الگوریتم ژنتیک است. در الگوریتم ژنتیک، برای بدست آوردن جواب بهینه یک سری داده اولیه برگزیده می‌شوند، با این هدف که یک تابعی به نام تابع جریمه را کمینه گردانند. در GP نیز روند مشابهی وجود دارد اما به جای اعداد از عملگرهای اولیه استفاده می‌گردد. در این روش، یک جواب اولیه (جمعیت اولیه) توسط برنامه، در نظر گرفته می‌شود و متعاقباً جمعیت‌های اولیه با آمیزش‌های مختلف تکثیر می‌یابند. یک مدل ساده‌ای از ساختار درختی GP می‌تواند مطابق شکل

(۲) ارائه گردد



شکل ۲- نمایش مدل درختی رابطه $\max(x+x, x+3*y)$

مطابق شکل (۲)، اعداد ثابت و متغیرها، برگ‌های این درخت را تشکیل می‌دهند که به ترمینال موسوم هستند و عملگرهای داخل گره‌ها که می‌توانند شامل +، *، /، max یا min و ... باشند، به تابع موسوم‌اند. توابع و ترمینال‌ها، اساس یک سیستم GP را تشکیل می‌دهند که می‌توانند به صورت دلخواه از سیستم حذف یا به آن اضافه گردند. در حالت کلی، یک GP می‌تواند به صورت چند درختی (چند جزئی) نیز باشد.

در انتخاب جمعیت‌ها برای تکثیر، تابعی به نام تابع جریمه مد نظر قرار می‌گیرد که از جمعیت‌های اولیه به صورت برتری دادن به آنها، بهترین والدین (دو جمعیت) را برگزیده و تکثیر می‌کند. میزان برتری در این گزینش حائز اهمیت نمی‌باشد. به طور عمده دو نوع تکثیر در GP وجود دارد: آمیزش (Crossover) و جهش (Mutation).

در مرحله تکثیر، از جمعیت اولیه به صورت تصادفی، دو جمعیت انتخاب می‌گردد و دوباره به صورت تصادفی قسمتی از

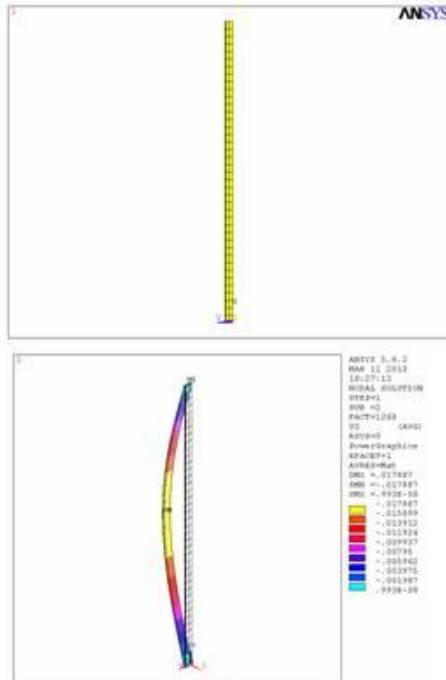
جدول ۱- مشخصات هندسی ستون کامپوزیت هوشمند

ضخامت	عرض	طول	
0.010(m)	0.050(m)	2.50(m)	هسته
0.001 (m)	0.050(m)	2.50(m)	پیزوالکتریک

جدول ۲- مشخصات الکترومکانیکی ستون هوشمند

مقاومت دی الکتریک	ضریب پیزوالکتریک	مدول الاستیسیته	
-	-	70.3(GPa)	هسته
$\epsilon_{33} = 1.3 * 10^{-8} \frac{F}{m}$	$e_{33} = 23.3 \frac{C}{m^2}$ $e_{31} = -6.5 \frac{C}{m^2}$	128(GPa)	پیزوالکتریک

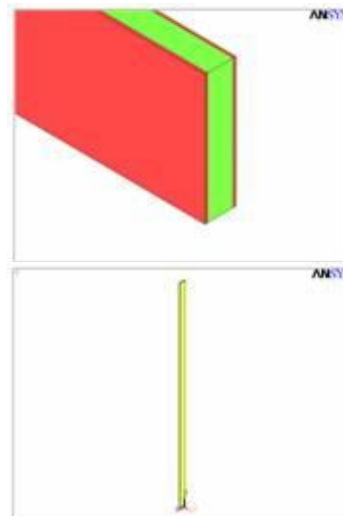
شکل اولیه و شکل کماتش یافته‌ی ستون هوشمند در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- شکل اولیه و شکل کماتش یافته‌ی ستون هوشمند

بعد از آن، آنالیزهای کماتشی با تغییر پارامترهای هندسی مدل انجام یافته و بسته به نوع پارامتر هندسی تغییر یافته، بار کماتشی در جداول (۳) تا (۵) ارایه شده‌اند.

مناسب‌ترین المان سازگار با خواص مواد پیزوالکتریک در زمینه‌ی مسایل سه بعدی کوپل، المان جامد با نام SOLID5 است. مشابه با دیگر المانهای جامد سازه‌ای، این المان دارای سه درجه-ی آزادی حرکتی در هر گره است. علاوه بر این درجات آزادی، المان پتانسیل درجات آزادی برای آنالیز مسایل اندرکنش الکترومکانیکالی را دارا است [۱۵]. مدل انتخابی برای سازه‌ی میزبان باید در محل‌های اتصال، درجات آزادی سازگار با درجات آزادی به کاراندازندها را داشته باشد. از لحاظ تئوری می‌توان از المان‌های پلیت (shell, solid) جهت مدل‌سازی قسمت میزبان سازه‌ی هوشمند استفاده کرد. البته تا زمانی این شرایط برقرار است که المان shell از تئوری صفحات ضخیم و المان solid از تئوری الاستیسیته‌ی سه بعدی تبعیت نماید. از این رو، با استفاده از المان solid برای مدل‌سازی قسمت میزبان این امکان فراهم می‌گردد که اثر تنش‌های نرمال و برشی در قسمت میزبان سازه هوشمند منظور گردد. Yaman اثرات انتخاب نوع المان بر پاسخ سازه‌ی هوشمند را پیش بینی کرده است [۱۶]. در این بررسی، او نشان داده است که بکارگیری المان shell در مدل‌سازی قسمت میزبان، عدم دقت در محاسبه‌ی ماتریس سختی کلی را منجر می‌شود. در این مقاله، از المان SOLID5 برای مدل‌سازی به-کاراندازندهای پیزوالکتریک و از المان سازگار SOLID45 برای مدل‌سازی قسمت آلومینیومی میزبان استفاده شده است. سپس، بار کماتشی اصلی با استفاده از آنالیز کماتش ANSYS محاسبه شده است. مدل المان محدود ستون کامپوزیت هوشمند با شرایط انتهایی مفصلی در شکل (۴) نشان داده شده است. پارامترهای هندسی و الکترومکانیکی متناظر در جداول (۱) و (۲) مشخص شده‌اند.



شکل ۴- مدل المان محدود ستون کامپوزیت هوشمند

جدول ۵- بار کمانشی اصلی با تغییر در ضخامت هسته و طول ستون

کامپوزیت هوشمند		
طول ستون هوشمند (m)	ضخامت ستون هوشمند (m)	بار کمانش (N)
2.500	0.011	1031.10
	0.012	1287.30
	0.013	1586.20
	0.014	1920.00
	0.015	2302.00
2.400	0.011	1118.80
	0.012	1396.70
	0.013	1717.20
	0.014	2083.30
	0.015	2497.80
2.300	0.011	1218.20
	0.012	1520.90
	0.013	1869.80
	0.014	2268.40
	0.015	2719.70
2.200	0.011	1331.40
	0.012	1662.20
	0.013	2043.70
	0.014	2479.20
	0.015	2972.60
2.100	0.011	1461.30
	0.012	1824.30
	0.013	2249.20
	0.014	2720.90
	0.015	3262.40
2.000	0.011	1611.00
	0.012	2011.30
	0.013	2473.10
	0.014	2999.80
	0.015	3596.70
1.900	0.011	1785.00
	0.012	2228.50
	0.013	2743.30
	0.014	3323.80
	0.015	3985.20
1.800	0.011	1990.40
	0.012	2482.70
	0.013	3052.70
	0.014	3703.30
	0.015	4440.20
1.700	0.011	2229.90
	0.012	2783.70
	0.013	3422.40
	0.014	4151.70
	0.015	4977.80

۵- آموزش سیستم برنامه ریزی ژنتیکی GP

آنالیز کمانش ستون هوشمند عمدتاً پیچیده و زمان بر می- باشد. امروزه برای غلبه بر این قبیل مشکلات مدل سازی از ابزار هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک و یا برنامه ریزی ژنتیکی استفاده می شود. از آنجایی که هدف اصلی مقاله ارایه یک فرمول ریاضی برای بار کمانشی اصلی ستون هوشمند بر حسب پارامترهای هندسی و فیزیکی آن بوده

جدول ۳- بار کمانشی اصلی برای طول های مختلف ستون کامپوزیت

هوشمند	
طول ستون هوشمند (m)	بار کمانش (N)
2.500	811.29
2.400	880.31
2.300	958.52
2.200	1047.60
2.100	1149.80
2.000	1267.70
1.900	1404.60
1.800	1582.30
1.700	1754.50
1.600	1980.60
1.500	2253.60

جدول ۴- بار کمانشی اصلی با تغییر در ضخامت پیروالکترونیک و طول

ستون کامپوزیت هوشمند		
طول ستون هوشمند (m)	ضخامت پیروالکترونیک (m)	بار کمانش (N)
2.500	0.001	811.29
	0.002	1288.80
	0.003	1920.50
	0.004	2729.10
	0.005	3368.37
2.400	0.001	880.31
	0.002	1398.50
	0.003	2083.90
	0.004	2961.50
	0.005	3655.23
2.300	0.001	958.52
	0.002	1522.70
	0.003	3224.50
	0.004	1218.20
	0.005	1304.76
2.200	0.001	1047.60
	0.002	1664.30
	0.003	2480.70
	0.004	3524.30
	0.005	4349.87
2.100	0.001	1149.80
	0.002	1826.50
	0.003	2721.80
	0.004	3494.10
	0.005	4275.53
2.000	0.001	1267.70
	0.002	2013.70
	0.003	3000.70
	0.004	4280.40
	0.005	5284.63
1.900	0.001	1404.60
	0.002	2231.40
	0.003	3324.80
	0.004	4723.60
	0.005	5829.93
1.800	0.001	1582.30
	0.002	2486.10
	0.003	3704.50
	0.004	5266.20
	0.005	6494.17
1.700	0.001	1754.50
	0.002	2787.10
	0.003	4139.70
	0.004	5901.70
	0.005	7284.10

- 3- Crawley, EF, Anderson, EH. "Detailed models of piezoceramics actuation beams", AIAA Journal, 25, 373-385. (1990).
- 4- Henrique Santos, Cristóvão M. Mota Soares, Carlos A. Mota Soares, J.N. Reddy. "A finiteelement model for the analysis of 3D axisymmetric laminated shells with piezoelectric sensors andactuators: Bending and free vibrations", Computers and Structures, 86, 940-947. (2008).
- 5- Marcelo A. Trinidad. "Simultaneous Extension and Shear Piezoelectric Actuation for Active Vibration Control of Sandwich Beams", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 17, 661. (2007).
- 6- Y. C. Shiah, Chien-Hsin Huang and Jin H. Huang. "Static Electromechanical Response of Piezoelectric Tubes as Sensors and Actuators", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 17, 133. (2006).
- 7- Vincent Cotoni, Patrice Masson and François Ccté. "A Finite Element for Piezoelectric Multilayered Plates: Combined Higher-order and Piecewise Linear C0 Formulation", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 17, 155. (2006).
- 8- Sangki Lee, Byung C. Cho, Hoon C. Park, Nam S. Goo and Kwang J. Yoon. "a Three-Dimensional Assumed Strain Solid Element", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 15, 329. (2004).
- 9- Hannes Kessler, Marc Kamlah and Herbert Balke. "Finite Element Modeling of Polarization Rotation Around an Elongated Elliptic Cavity", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 15, 539. (2004).
- 10- A. Gornandt and U. Gabbert. "Finite element analysis of thermo piezoelectric smart structures", Springer, ActaMechanica 154, 129 140. (2002).
- 11- Q. Wang AND S. T. Quek. "A Model for the Analysis of Beams with Embedded Piezoelectric Layers", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 13, 61. (2002).
- 12- Jiashi Yang. (2005), "An Introduction to the Theory of Piezoelectricity", ©Springer, (2005).
- 13- Standards Committee of the IEEE Ultrasonic's, Ferroelectrics, and Frequency Control Society (Sponsor), "IEEE Standard on Piezoelectricity, An American National Standard", Approved by: IEEE Standards Board, and American National Standards

است لذا از ابزار هوش مصنوعی GP استفاده شده است. در نتیجه به فرمول ریاضی زیر برای بار کمانشی اصلی ستون هوشمند دست می یابیم:

(۱۹)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_b}{L^2} \left(\frac{wt_b^3}{12} \right) \left\{ \frac{wt_p E_p / E_b [(w/2+t_p)^2 + (w/2+t_b)^2]}{3.6 \log(23.3/6.5)} \right\}$$

برای ارزیابی عملکرد مدل و رابطه‌ی پیشنهادی، از دو معیار مختلف استفاده شده است: خطای استاندارد (S.E) و محاسبه‌ی ضریب R^2 . نحوه محاسبه‌ی پارامترهای S.E و R^2 در رابطه‌های (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) نشان داده شده است. بهترین برازش بین داده های مشاهده شده و محاسباتی مقادیر ۱ و ۰ را به ترتیب برای S.E و ضریب R^2 خواهد داشت. برای شبیه سازی های انجام شده در این تحقیق، مقادیر فوق در جدول (۶) ارایه شده‌اند:

جدول ۶- پارامترهای جریمه برای شبیه‌سازی‌های عددی

جمعیت اولیه	تولید	R^2 (آموزش)	R^2 (داده ها)	S.E (آموزش)	S.E (داده ها)
25	100	0.9840	0.9750	5.5%	6%

۶- نتیجه‌گیری

۱- در این تحقیق، بار کمانشی اصلی ستون کامپوزیت هوشمند محاسبه شده است. آنالیزهای کمانش با تغییرات در پارامترهای هندسی و مکانیکی مدل با شرایط انتهایی مفصلی در نرم‌افزار ANSYS صورت گرفته است. با توجه به پیچیدگی و زمان بر بودن این آنالیزها، نتایج شبیه سازی‌های عددی برای آموزش سیستم برنامه ریزی ژنتیکی (GP) بکار رفته است. با آموزش GP بار کمانشی ستون کامپوزیت هوشمند تخمین زده شده است. در نهایت با توجه به قابلیت GP، یک فرمول ریاضی بر حسب پارامترهای هندسی و مکانیکی برای بار کمانشی ستون هوشمند ارایه شده است.

۷- مراجع

- 1-Curie.P. Curie.J.(1881), "Contractions et dilations produits par des tensions 'électriques dans les cristaux 'émie' edres' a faces incliné'es", Comptes Rendus de l'Acad'emie des Sciences, 93, pp. 1137-1140, (1881).
- 2- Crawley, EF, de Luis, J. "Use of piezoelectric actuators as element of intelligent structures", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1, 4-25. (1987).

Institute, ANSI/IEEE Std 176-1987, NY, (1988).

14- Koza, J.R., "Genetic programming on the programming of computers by means of natural selection." MIT Press: Cambridge, MA. (1992).

15- ANSYS . User's Manual (version 5.6), ANSYS Inc. South Pointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA, 15317.

16- Yaman. Y, T. Çalışkan, V. Nalbantoğlu, D.Waechter, E. Prasad, Active Vibration Control of a Smart Beam. Canada-US Can Smart Workshop Smart Materials and Structures proceedings, Montreal Quebec, Canada. (Oct. 2001).

Investigation of Buckling Load of Smart Compressive Members Using Genetic Programming

R. Mirzaei

Department of Civil Engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

Y. Shahbazi

Department of Civil Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

A.R. Babaeian Amini

Department of Civil Engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

M. Eghbalian

Department of Civil Engineering, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

Abstract

In this paper, load and buckling mode of a smart column are presented. The theoretical model is a three-layer piezoelectric composite beam that behaves as an axial actuating mechanism. This actuator consists of an elastic core sandwiched between two piezoelectric active outer layers. The piezoelectric layers are polarized transversely, i.e., the polarization vector is parallel to the applied electric field intensity vector. The finite element models of smart composite are derived by ANSYS. Then, numerical buckling analysis results of composite column are used to train of Genetic programming (GP) intelligent system. Finally, a mathematic formulation is presented for calculation of load and buckling mode of smart column using GP.

Keywords:

smart space structures, buckling load, genetic programming