



مرکز بررسی اطلاعات و پژوهش

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



بهینه سازی سیستم اسکله های دیوار دیافراگم بتنی مهار شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم باینری جامعه پرندگان BPSO (مطالعه موردی پروژه فاز دوم توسعه مجتمع بندری شهید رجایی)

عیسی سلاجقه ، استادیار ، دانشگاه شهیدباهنر کرمان ، eysasala@mail.uk.ac.ir ،
 ایمان شیوافر ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان ، iman2948@yahoo.com

کلید واژه: اسکله، دیوار دیافراگم بتنی، مهار شده، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم BPSO

1- مقدمه

با توجه به مشکلات و محدودیت های بنادر جنوبی ایران جهت پذیرش کشتی ها از نظر تعداد و ظرفیت، و همچنین به جهت بهبود عملکرد این بنادر، در سال های اخیر، طرح توسعه آن ها از جمله گسترش و تکمیل حوضچه ها، احداث اسکله های جدید با قابلیت پهلودهی کشتی های بزرگ، احداث تاسیسات زیربنایی و تجهیزات مدرن بندری و غیره مورد توجه و تاکید بسیار قرار گرفته است. طرح توسعه مجتمع بندری شهید رجایی، با توجه به موقعیت فوق العاده و استراتژیک این بندر در منطقه از جمله مهم ترین این موارد می باشد. در این طرح به منظور احداث اسکله های جدید با قابلیت پهلودهی کشتی های نسل ششم و با توجه به شرایط ژئوتکنیکی پروژه، عمق آبخور و سایر مطالعات صورت گرفته، سیستم دیوار دیافراگم بتنی مهار شده به عنوان گزینه منتخب ساخت اسکله، مورد تایید قرار گرفته است.

با توجه به مزیت های سیستم اسکله های دیوار دیافراگم بتنی مهار شده و استفاده گسترده از آن ها و با عنایت به ملاحظات مالی و هزینه های احداث این پروژه ها، بازنگری فرآیند طراحی و بهینه سازی این نوع اسکله ها امری ضروری به نظر می رسد. در فرآیند استفاده از الگوریتم های بهینه سازی جهت محاسبه قیدهای حاکم بر سازه نیازمند تحلیل آن می باشیم. این مطلب به دلیل پیچیدگی های خاص این پروژه و طولانی بودن زمان مورد نیاز جهت تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه امری دشوار و بسیار زمان بر تلقی می گردد. در این مقاله ضمن مطالعه موردی فاز دوم طرح توسعه مجتمع بندری شهید رجایی از روش الگوریتم باینری جامعه پرندگان جهت بهینه سازی سیستم اسکله دیوار دیافراگم بتنی مهار شده با تغییر متغیر های طراحی استفاده گردیده است. قیدهای حاکم بر مسئله بهینه سازی شامل تنش المان های سازه ای و اختلاف جابه جایی افقی دیوار اصلی اسکله (Quay Wall) می باشد که این مورد با استفاده از تکنیک تقریب سازی شبکه عصبی مصنوعی محاسبه می گردد.

2- مشخصات پروژه (طرح توسعه فاز 2 مجتمع بندری شهید رجایی)

مطابق معیارها و ضوابط طراحی پروژه، مشخصات مهار در (جدول 1)، مشخصات ژئوتکنیکی در (جدول 2)، و سایر مشخصات سازه ای مدل در (جدول 3) ارایه گردیده است [1].

جدول 1) مشخصات مهار

شماره	تراز	فاصله مهارها (m)	سطح مقطع (m ²)	مدول یانگ (N/m ²)	طول آزاد (m)	زاویه (deg)	پیش تنش (KN)
1	1/50	2/00	0/00555	2 e08	54/00	0	1600

جدول 2) مشخصات ژئوتکنیکی

تراز بالای لایه	وزن مخصوص خشک (kg/m ³)	زاویه اصطکاک (deg)	چسبندگی (kN/m ²)
Rock Fill	1800	40	-
ماسه فوقانی	2100	37	-
رس فوقانی	1800	-	50
ماسه تحتانی	2100	38	-
رس تحتانی	2000	-	220

جدول 3) مشخصات اجزای سازه‌ای

مشخصات خاک	دیوار اصلی	دیوار مهاری	شمع جرثقیل
تراز پای دیوار (m)	-32	-10	-24/5
مدول یانگ (N/m ²)	32e9	32e9	32e9
ممان اینرسی (m ⁴ /m)	2/48	0/06	0/0245
سطح مقطع (m ² /m)	1/5	0.75	0/554
محیط مقطع (m/m)	4/15	2	2/64

در مطالعه موردی حاضر (طرح توسعه فاز 2 مجتمع بندری شهیدرجایی) به منظور انجام آنالیز دینامیکی از روش طراحی بر مبنای عملکرد با توجه به توصیه نامه طراحی لرزه‌ای دریایی PIANC 2001 استفاده گردیده است [2]. در روش طراحی بر مبنای عملکرد، ترازهای مناسبی از زلزله تعریف می‌شود و در هر مورد مقادیر آسیب مجاز مشخص می‌گردد. با توجه به مطالعات لرزه خیزی منطقه، مطابق (جدول 4)، 2 سطح زلزله برای این پروژه تعریف گردیده است.

جدول 4) سطوح زلزله

تراز زلزله	توضیح	شتاب حداکثر زمین (PGA)	سطح قابل پذیرش خرابی
سطح 1	زلزله‌ای که وقوع آن در طول عمر سازه محتمل است (احتمال وقوع آن بیش از 50٪ می‌باشد)	0/25 g	قابل سرویس
سطح 2	زلزله بسیار شدید با احتمال وقوع ناچیز (احتمال وقوع آن در طول سازه حدود 10٪ باشد)	0/37 g	قابل تعمیر

3- مدل سازی:

جهت تحلیل مدل از نرم‌افزار FLAC 2D که یک نرم‌افزار محاسباتی بر مبنای روش تفاضل محدود صریح می‌باشد، استفاده گردیده است. این نرم‌افزار به ابزارهایی متعددی مجهز است تا بتواند جنبه‌های مختلف سازه‌های ژئوتکنیکی پیچیده را در نظر بگیرد. در این نرم افزار مصالح بصورت المان ها و یا زون‌هایی مدل سازی می‌شوند که می‌توان آن ها را جهت ایجاد هندسه مدل شبکه‌بندی نمود و هر المان در برابر بارهای وارده و یا شرایط مرزی موجود، رفتاری مطابق با تنش - کرنش خطی و یا غیرخطی خواهد داشت. قابلیت صریح بودن نرم‌افزار این امکان را فراهم می‌سازد تا تحلیل مدل مرحله به مرحله انجام پذیرد و با گذشت زمان کامل گردد. مزیت دیگر این نرم‌افزار که در مورد روند بهینه سازی مدل این مسئله (سیستم

اسکله های دیوار دیافراگم بتنی مهارشده) بسیار موثر و مفید واقع گردید، امکان استفاده از فایل متنی (.txt) به عنوان فایل ورودی و خروجی برنامه نویسی در محیط نرم افزار می باشد [3].

در این نرم افزار برای انجام تحلیل دینامیکی مدل، از روش غیر خطی کامل استفاده می گردد. مزیت اساسی این روش نسبت به روش خطی معادل استفاده از یک سری روابط حاکمه غیر خطی پیش فرض، برای ارتباط نموهای کرنش به تانسور تنش، می باشد. در این روش، در یک گام زمانی، با استفاده از تنش ها و نیروها و حل معادلات حرکت، سرعت ها و تغییر مکان ها تعیین می گردد. سپس نرخ های کرنش از تغییرات سرعت ها و تانسور تنش جدید از نرخ های کرنش حاصل می گردد. رابطه (1) قانون حاکمه کلی در نرم افزار FLAC 2D جهت بهنگام سازی تانسور تنش، با استفاده از تانسور تنش قبلی و نرخ تغییر کرنش می باشد.

(1)

$$\sigma_{ij} := M(\sigma_{ij}, e_{ij}, \kappa)$$

در رابطه فوق، $M()$ فرم تابعی قانون حاکمه، κ برخی مشخصات مصالح که با توجه به مدل رفتاری تعیین می گردد و e_{ij} نرخ کرنش می باشد که از رابطه زیر محاسبه می گردد.

(2)

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right]$$

در این رابطه u_i مولفه بردار سرعت می باشد که از حل معادله حرکت حاصل می گردد.

$$m \frac{du}{dt} = F \quad (3)$$

که در آن m جرم، F نیروی اعمالی و $\frac{du}{dt}$ شتاب می باشد. در این نرم افزار مدل های رفتاری پیش فرض به دو گروه مدل های الاستیک (ایزوتروپ و ایزوتروپ عرضی) و مدل های پلاستیک (دراکر-پراگر، موهر-کولمب و...) تقسیم می گردند. در این مقاله جهت تحلیل دینامیکی غیر خطی کامل مسئله، از مدل رفتاری موهر-کولمب استفاده گردیده است. پوش گسیختگی این مدل به معیار گسیختگی برشی موهر-کولمب فاقد قسمت کششی مرتبط می گردد. رابطه کلی (1) برای این مدل رفتاری به فرم ذیل می باشد. در این رابطه تانسور تنش جدید (σ_i^N) بر مبنای تنش های قبلی (σ_i^O) و تغییرات جزئی تنش ($\Delta\sigma_i$) بهنگام می گردد.

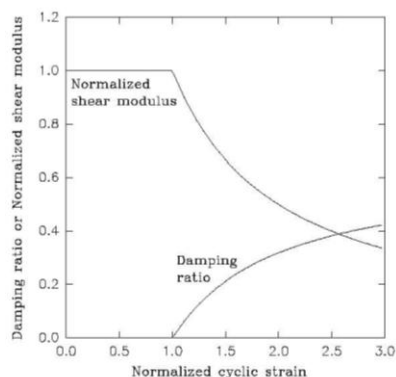
$$\sigma_i^N = \sigma_i^O + \Delta\sigma_i \quad i=1,3 \quad (4)$$

$\Delta\sigma_i$ نیز با استفاده از نرخ کرنش الاستیک (Δe_i^e) و نرخ کرنش پلاستیک (Δe_i^p) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد. که در آن $\alpha_2 = K - 2G/3$ ، $\alpha_1 = K + 4G/3$ و پارامترهای K و G به ترتیب مدول بالک و مدول برشی مصالح می باشند.

(5)

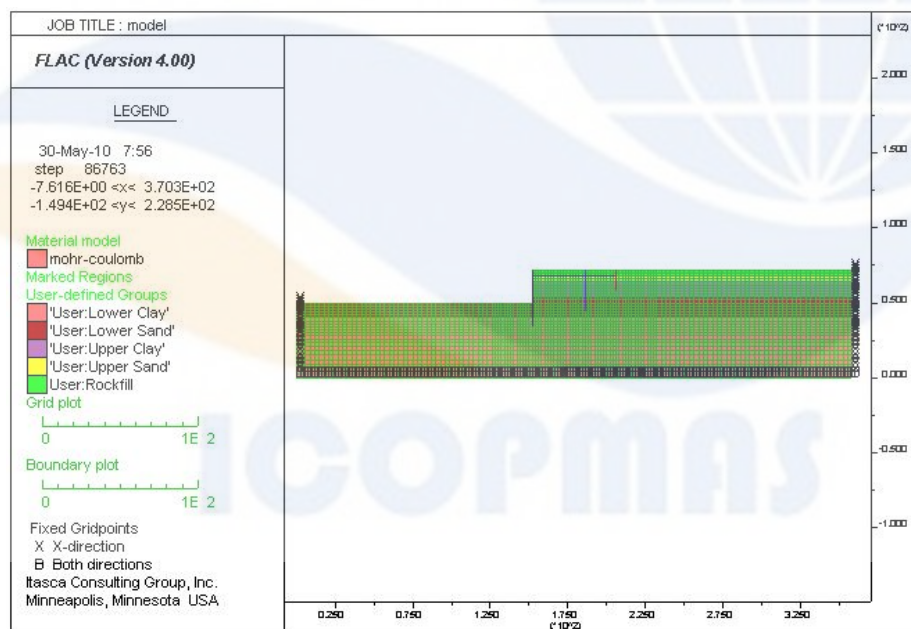
$$\begin{aligned} \Delta\sigma_1 &= \alpha_1 \Delta e_1^e + \alpha_2 (\Delta e_2^e + \Delta e_3^e) - [\alpha_1 \Delta e_1^p + \alpha_2 (\Delta e_2^p + \Delta e_3^p)] \\ \Delta\sigma_2 &= \alpha_1 \Delta e_2^e + \alpha_2 (\Delta e_1^e + \Delta e_3^e) - [\alpha_1 \Delta e_2^p + \alpha_2 (\Delta e_1^p + \Delta e_3^p)] \\ \Delta\sigma_3 &= \alpha_1 \Delta e_3^e + \alpha_2 (\Delta e_1^e + \Delta e_2^e) - [\alpha_1 \Delta e_3^p + \alpha_2 (\Delta e_1^p + \Delta e_2^p)] \end{aligned}$$

با توجه به بهنگام سازی تنش و کرنش با استفاده از روابط حاکمه فوق، مطابق (شکل 1) ضرایب میرایی و مدول برشی نیز در طول تحلیل دینامیکی مدل، با فرمت کلی ذیل تغییر نموده و بهنگام می گردند.



شکل 1) نسبت میرایی و مدول برشی در مقابل کرنش سیکلی برای مدل الاستو پلاستیک

در مدلسازی عددی که در آن محیط محدودی برای حل مساله مورد بررسی قرار می‌گیرد لازم است شرایط مرزی با فاصله مناسبی از محدوده مورد مطالعه در مدل در نظر گرفته شود. در این پروژه مطابق (شکل 2) محدوده ای به طول 358 متر و ارتفاع 72 متر مدل گردیده که فاصله حدود 150 متر از مرزهای جانبی و 35 متر از مرز تحتانی لحاظ گردیده است. با این حال پس از اعمال بار دینامیکی، این گونه مرزها منجر به انعکاس امواج خروجی به درون مدل می‌گردد. یک راه حل مناسب برای رفع این مشکل، استفاده از مرزهای ویسکوز می‌باشد که در نتیجه آن انعکاس بار دینامیکی از مرزها به درون مدل حداقل می‌گردد. در این تحقیق، جهت مدل سازی سیستم اسکله طی تحلیل استاتیکی مدل، مرز پایین در راستای ثقل و مرزهای کناری در جهت افقی مسدود گردیده است. همچنین طی مدت زمان تحلیل دینامیکی، مرزهای جانبی به صورت Free Field مدل شده است. مدل Free Field از یک ستون یک بعدی به عرض واحد تشکیل گردید. که رفتار نیمه بینهایت را شبیه سازی می‌نماید [3].

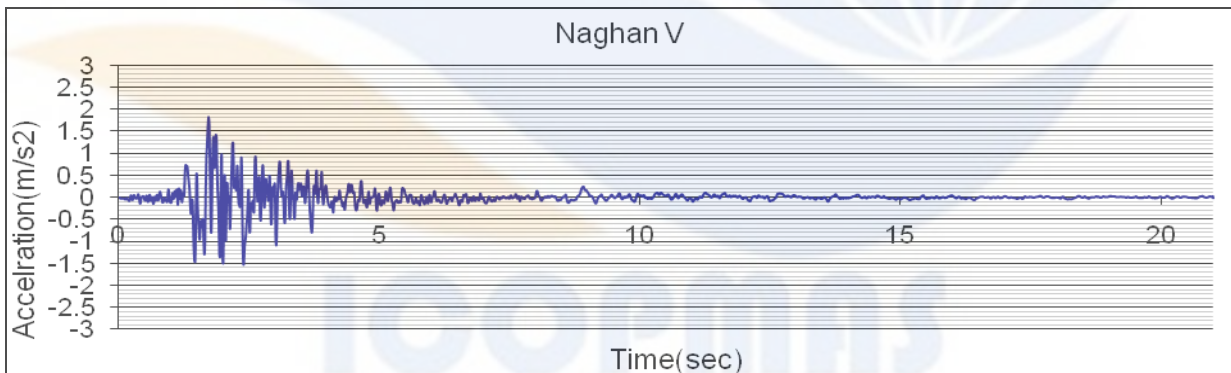
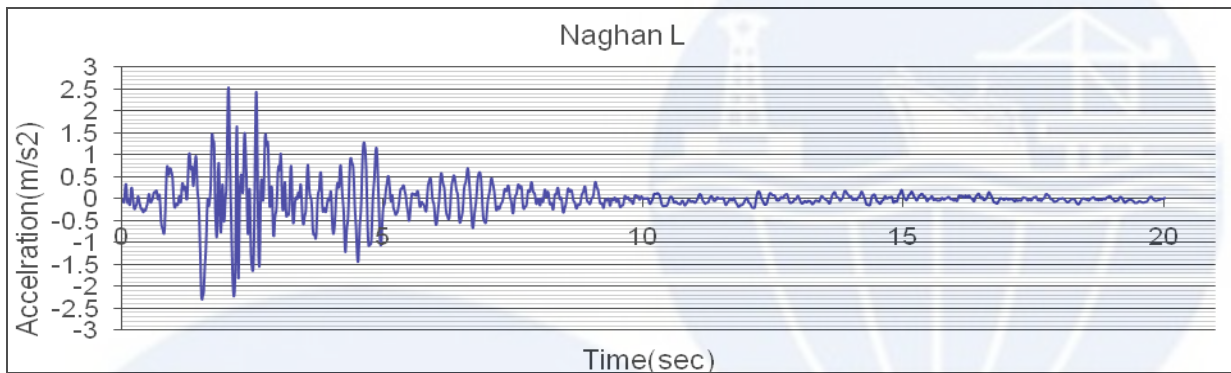


شکل 2) مدل سازی عددی

در تحلیل های دینامیکی، محتوای فرکانسی موج ورودی و خصوصیات مربوط به سرعت امواج بر دقت انتقال امواج در مدل موثر می باشند. تحقیقات گذشته نشان داده است که برای انتقال صحیح امواج در مدل، اندازه المان‌ها باید $\frac{1}{8} < \Delta L < \frac{1}{10}$ طول موج مربوط به بالاترین فرکانس موجود انتخاب گردد [4]. در این مقاله از المان‌های $2m \times 2m$ استفاده گردیده است. همچنین برای مدل سازی اجزای سازه ای دیوار اصلی و مهار، از

المان پایل و برای سازه مهار از المان کابل استفاده گردیده است. مدل رفتاری المان های سازه ای دیوار اصلی، دیوار مهاری و دیوار استاتیکی و نمودار تنش- کرنش آن ها خطی می باشد.

با توجه به شرایط درجا یا تنش های برجا در محل پروژه و تاثیر آن بر عکس العمل مدل های رفتاری مصالح، قبل از تحلیل مدل و اعمال بارهای دینامیکی شرایط واقعی و مراحل ساخت اسکله بصورت مرحله به مرحله شامل (1) تحلیل اولیه زمین پروژه (2) احداث دیوار اصلی (3) احداث دیوار فرعی (4) احداث مهار (5) احداث شمع جرثقیل (6) خاکبرداری جلوی دیوار بصورت مرحله ای (لایه های 5 متری) مدل سازی گردیده و در انتهای هر مرحله تحلیل استاتیکی انجام پذیرفته است [3]. در نهایت با اعمال بار دینامیکی زلزله ناقان (مقیاس شده برای سطح 1 زلزله مطابق مدل اصلی) به کف سیستم اسکله، تحلیل دینامیکی غیر خطی انجام پذیرفته است. درمورد بارهای وارده به مدل با توجه به اینکه نیروی اصلی در طراحی سپرها رانش خاک می باشد، لذا معمولاً بارهایی مانند ضربه کشتی و نیروی ناشی از برخورد امواج هنگام بهره برداری اثر کاهنده داشته و تنها در طراحی اجزاء (طراحی تیر فوقانی، اتصال دیوار مهاریو اتصالات میل مهار و...) مورد استفاده قرار می گیرند. در این مدل نیروی فشار آب حفره ای، فشار هیدرو استاتیکی آب جلوی دیوار اصلی، فشار هیدرواستاتیکی تراز کف لایروبی، بار مرده و سربار معادل 60 کیلو پاسکال و بار دینامیکی به صورت تاریخچه زمانی شتاب (زلزله ناقان) به مدل اعمال گردیده است. در (شکل 3) شتاب نگاشت مقیاس شده زلزله ناقان جهت سطح 1 زلزله، ارایه گردیده است.



شکل 3) شتاب نگاشت زلزله ناقان (مقیاس شده جهت سطح 1 زلزله $PGA = 0.25 g$)

4- بهینه سازی سیستم اسکله دیوار دیافراگم بتنی مهارشده

4-1- الگوریتم جامعه پرندگان

الگوریتم جامعه پرندگان یک تکنیک بهینه سازی بر پایه قوانین احتمال می باشد که ایده اولیه آن توسط راسل ابرهارت، دانشمند علوم کامپیوتر و جیمز کندی، روانشناس مسائل اجتماعی در سال 1995 ارایه شد [5]. این الگوریتم از رفتار اجتماعی پرندگان در حین جستجوی غذا برای هدایت مجموعه پرندگان به منطقه امیدبخش در فضای جستجو استفاده می کند. الگوریتم جامعه پرندگان ذاتاً یک الگوریتم بهینه سازی پیوسته است. این الگوریتم از رفتار جمعی پرندگان در یافتن غذا، الگوبرداری می نماید. به این منظور، مجموعه ای متشکل از یک سری ذره ها تشکیل می شود که هر ذره معرف یک

پرنده در فضای جستجو می‌باشد. این الگوریتم با بهنگام کردن موقعیت ذره‌ها با توجه به میزان شایستگی آنها مجموعه را به سمت جواب بهینه هدایت می‌کند [6].

این الگوریتم با یک گروه از جواب‌های تصادفی شروع به کار می‌کند، سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مسئله با بهنگام کردن موقعیت و سرعت ذره‌ها به جستجو می‌پردازد. هر ذره با دو مقدار V و X که به ترتیب معرف موقعیت و سرعت می‌باشد، مشخص می‌گردد. در هر مرحله از حرکت مجموعه، هر ذره از طریق دو مقدار بهترین، بهنگام می‌شود. اولین مقدار، بهترین جواب از لحاظ شایستگی است که تاکنون برای هر ذره به طور جداگانه به دست آمده است. این مقدار $pbest$ نامیده می‌شود. دومین مقدار، بهترین مقداری است که تاکنون در بین تمام ذره‌ها به دست آمده است. این مقدار، بهترین کلی نام دارد که با $gbest$ نشان داده می‌شود. سرعت و موقعیت جدید ذره‌ها توسط روابط زیر به هنگام می‌شوند [5].

$$V_i^{k+1} = w^k V_i^k + c_1 \text{rand}_1 (P_i^k + X_i^k) + c_2 \text{rand}_2 (P_g^k + X_i^k) \quad (6)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^k \quad (7)$$

که در روابط بالا، w^k وزن اینرسی، c_1 و c_2 عوامل یادگیری فردی و اجتماعی می‌باشند که به آنها ضرایب شتاب نیز گفته می‌شود. w^k ، c_1 و c_2 از جمله پارامترهای مهم این الگوریتم می‌باشند که همگرایی الگوریتم وابسته به مقادیر این پارامترها است. مقدار w^k در بازه‌های $0/9$ و $0/4$ به صورت خطی در طی روند تکامل ذره‌ها کاهش می‌یابد و مقادیر c_1 و c_2 عددی بین $1/5$ و 2 به خود می‌گیرند [7]. rand_1 و rand_2 مقادیر تصادفی در بازه $(0, 1)$ می‌باشند. مقادیر P_i^k و P_g^k به ترتیب مقدار بهترین هر ذره و بهترین کلی تمامی ذرات تا تکرار k ام می‌باشد. در بسیاری از مسایل مهندسی، متغیرهای طراحی در یک فضای گسسته قرار دارد لذا کندی مدل باینری الگوریتم جامعه پرندگان (BPSO) را پس از الگوریتم پیوسته آن ارایه نموده است. موقعیت ذره‌ها در مدل باینری با دو مقدار صفر یا یک در هر بعد مشخص می‌شود. به هنگام نمودن سرعت هر ذره از همان رابطه (6)، بدون تغییر استفاده می‌شود و البته با این تفاوت که سرعت به صورت احتمال تعریف شده باید به بازه $(0, 1)$ تبدیل شود [8].

4-2- متغیرهای طراحی مسئله بهینه سازی

در این تحقیق با توجه به محدودیت‌ها، شرایط ساخت و مشکلات اجرایی سعی گردیده است مقادیری برای متغیرهای طراحی انتخاب گردد که ضمن ارضاء الزامات طراحی و نیازهای مسئله، قابلیت اجرایی نیز داشته باشند [9] و [10]. بطور مثال در خصوص آیتم مشخصات هندسی دیوار اصلی، 5 تیپ (T) شکل با ضخامت بال و ضخامت و طول جان متفاوت، اما منطبق بر محدودیت‌ها و شرایط دستگاه‌های حفاری پروژه انتخاب گردیده است. این شرایط در خصوص دیوار مهاری نیز صادق می‌باشد. همچنین به لحاظ اهمیت پارامتر سختی (I)، مشخصات هندسی دیوارها با این پارامتر مشخص گردیده است که پس از رمز گشایی با ایجاد تناظر یک به یک به مجموعه سطح مقطع، مساحت سطح مقطع تیپ مورد نظر تعیین می‌گردد. همچنین مقادیر فاصله دیوار اصلی و مهاری نیز بر اساس محدودیت‌ها و ملاحظات طراحی با در نظر گرفتن شرایط گسیختگی پروفیل خاک در حالت لرزه ای انتخاب گردیده است طبق محاسبات انجام پذیرفته حداقل فاصله 46 متر می‌باشد [1]. متغیرهای طراحی و مقادیر آن‌ها مطابق (جدول 5) می‌باشد. مقادیر مشخص شده مربوط به حالت پایه (مدل اصلی) می‌باشد.

جدول 5) متغیرهای طراحی

مقادیر متغیرهای طراحی مسئله بهینه سازی								تعداد تیپ بندی	واحد	متغیر طراحی
16	15	14	13	12	11	10	9	8	(m)	ارتفاع دیوار مهاری (h_a)
62	60	58	56	54	52	50	48	8	(m)	فاصله دیوار اصلی و مهاری (Dis.)
-	-	-	1100	1000	900	800	700	5	(kN/m)	نیروی پس تنیدگی مهار (Pret. Force)
-	-	-	2.92	2.48	2.36	2.19	2.01	5	(m ⁴ /m)	مشخصات هندسی دیوار اصلی (Im)
-	-	-	-	-	0.07	0.06	0.05	3	(m ⁴ /m)	مشخصات هندسی دیوار مهاری (Ia)
								4800		جمع کل ترکیب حالات

3-4- قید های مسئله بهینه سازی

معیارهای خرابی فرض شده برای اسکله‌های سپری در سطوح متفاوت زلزله توسط توصیه نامه PIANC 2001 به صورت یک جدول کامل ارائه گردیده است [2]. در این مقاله قید های مسئله بهینه سازی مطابق (جدول 6) ارائه گردیده است.

جدول 6) قید های مسئله بهینه‌سازی

			سطح 1	سطح 2
جابه‌جایی باقیمانده	دیوار اصلی	جابه‌جایی افقی باقیمانده نرمال شده (d/h)	<1/5%	N/A
تنش اجزای سازه‌ای	دیوار اصلی		الاستیک	الاستیک
	دیوار مهاری			
	مهار			

در جدول فوق پارامتر d جابه‌جایی افقی باقیمانده در بالاترین نقطه دیوار اصلی در اثر اندرکنش خاک و سازه می باشد. پارامتر h نیز ارتفاع دیوار سپری از خط لایروبی می باشد. همچنین طبق توصیه نامه فوق، به عنوان جایگزین می‌توان از معیار اختلاف جابه‌جایی افقی دیوار اصلی که باید کمتر از 30 cm باشد، استفاده نمود.

$$h = 2150\text{cm} \Rightarrow \frac{d}{2150} = 0.015 \Rightarrow d = 32\text{cm} \quad (8)$$

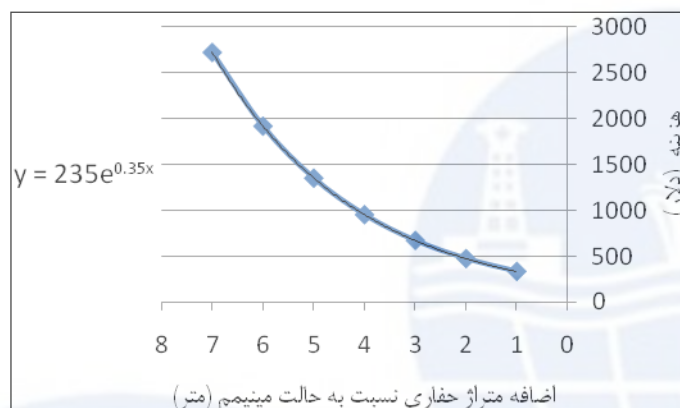
مطابق رابطه (8) می‌بایست این مقدار جهت حل مسئله بهینه‌سازی اعمال گردد اما با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب، از معیار $(\Delta x < 32\text{cm})$ جهت سطح 2 زلزله و معیار $(\Delta x < 20\text{cm})$ جهت سطح 1 زلزله، استفاده گردیده است [11]. در این تحقیق نیز با توجه به اعمال سطح 1 زلزله ناقلان به عنوان بار دینامیکی، از قید اختلاف جابه‌جایی افقی دیوار کمتر از 20 cm استفاده گردیده است.

4-4- تابع هدف

در این تحقیق، هزینه اضافی اعمال شده به سیستم نسبت به حالتی که سیستم دارای کمترین مقادیر متغیرهای طراحی باشد، به عنوان تابع هدف انتخاب شده است. مطابق (جدول 7) کمترین مقادیر متغیرها، و هزینه آیت‌های عملیات اجرایی به تفکیک آیت‌ها ارائه شده است. در خصوص آیت‌های حفاری با توجه به ضریب صعوبت کار جهت حفاری در ترازهای پایین تر، با توجه به آنالیز داده‌های مالی پروژه از تابع نمودار (شکل 4) جهت هزینه حفاری استفاده گردیده است [9]. در جدول ذیل ارتفاع خاکریزی و خاکبرداری 3 متر و ارتفاع دیوار اصلی 37 متر فرض گردیده است.

جدول (7) هزینه مالی آیت‌های اجرایی

آیتم اجرایی		متغیر طراحی مرتبط	کمترین مقدار متغییر طراحی	قیمت واحد
حفاری		ha	9 (m)	($235 \exp(0.35x)$) دلار
حجم بتن‌ریزی	دیوار اصلی	Am	1.44(m ² /m)	160 دلار به ازای متر مکعب
	دیوار مهار	Aa	0.63(m ² /m)	147 دلار به ازای متر مکعب
		ha	9 (m)	
عملیات خاکی	خاکبرداری	Dis.	48(m)	11 دلار به ازای متر مکعب
	خاکریزی	Dis.	48(m)	27 دلار به ازای متر مکعب
مصالح مهار		Dis.	48(m)	1/57 دلار به ازای متر طول



شکل (4) نمودار هزینه اضافی حفاری دیوار مهار

با توجه به (جدول 7)، تابع هدف مسئله بهینه‌سازی مربوط به حالت آم، مطابق رابطه (9) می باشد.

$$\text{COST}_i = 235 \times e^{0.35 \times (h_{ai} - 9)} + (A_{mi} - 1.44) \times 37 \times 160 + ((A_{ai} - 0.63) \times h_{ai} + (h_{ai} - 9) \times A_{ai}) \times 147 + ((Dis_i - 48) \times 3 \times 11) + ((Dis_i - 48) \times 3 \times 27) + ((Dis_i - 48) \times 1.57) \quad (9)$$

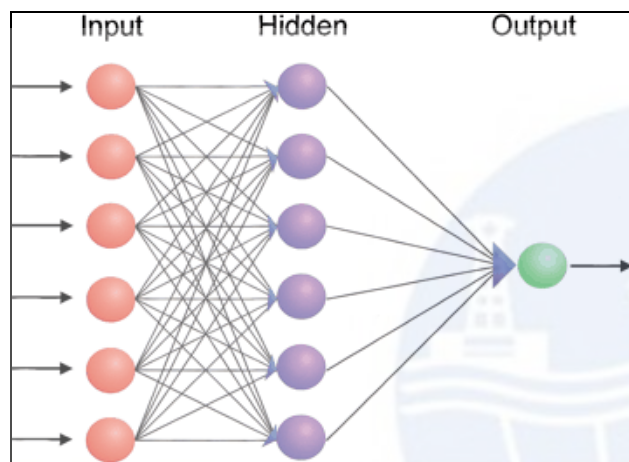
4-5- تقریب سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

در نرم افزار FLAC 2D گام‌های زمانی تحلیل دینامیکی با توجه به سرعت انتقال امواج در محیط، شرایط اندرکنش خاک و سازه و نیز اندازه المان‌ها، توسط نرم‌افزار تعیین می‌گردد [3]. بطوری که تحلیل سازه این اسکله با در نظر گرفتن شرایط مدل اصلی (فاز دوم طرح توسعه مجتمع بندری شهید رجایی) مستلزم صرف زمان بسیار طولانی می باشد. بدین منظور ساده سازی مدل انجام پذیرفته و زمان تحلیل به نحو مناسبی کاهش یافته، اما همچنان بدلیل میزان بالای محاسبات تحلیل دینامیکی، امکان ارتباط مستقیم الگوریتم بهینه سازی به نرم افزار مقدور نمی باشد. لذا با توجه به تحقیقات گذشته، استفاده از تکنیک تقریب سازی امری لازم و غیرقابل اجتناب می باشد [12] و [13].

4-6- شبکه عصبی انتشار برگشتی

در حقیقت لفظ انتشار برگشتی (BP) مربوط به الگوریتم آموزش شبکه‌های عصبی چند لایه است. آن چیزی که در متون تخصصی علمی مطرح شده این است که شبکه‌ای که با الگوریتم انتشار برگشتی آموزش می‌یابد را شبکه عصبی انتشار برگشتی می‌نامند. اصولاً انتشار برگشتی اولین الگوریتم موثر جهت آموزش شبکه‌های عصبی چند لایه می‌باشد [14]. این الگوریتم برای اولین بار در سال 1986 ارائه شد و تاکنون دستخوش

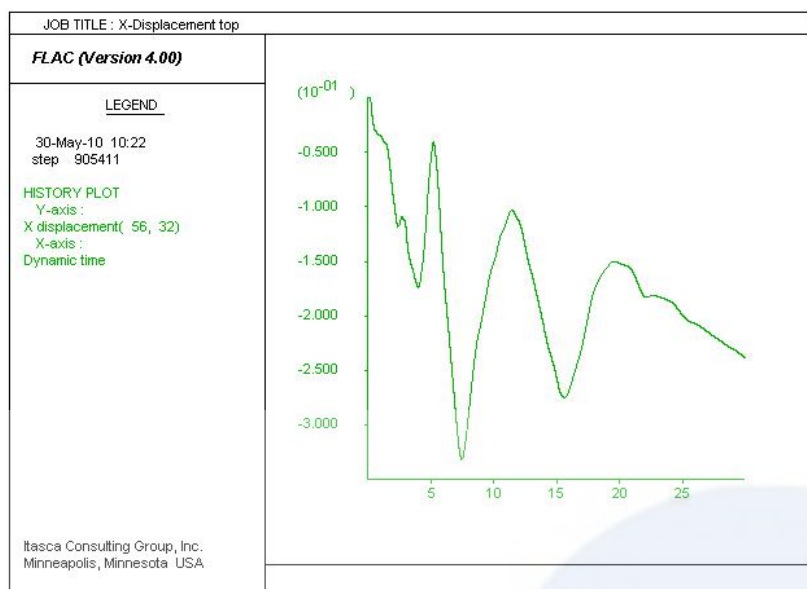
تغییرات و دگرگونی‌های فراوانی شده است. شبکه‌های پس انتشار شامل یک شبکه چند لایه با تابع انتقال غیرخطی و قاعده یادگیری -Widrow-Hoff می‌باشند. این نوع شبکه از بردار ورودی و هدف برای تقریب زدن یک تابع، یافتن رابطه بین ورودی و خروجی و دسته‌بندی ورودی‌ها بر اساس روش تعیین شده توسط طراح استفاده می‌نمایند. یک شبکه پس انتشار دارای بایاس، یک لایه سیگموئید و یک لایه خروجی توانایی تخمین زدن هر تابع با نقاط ناپیوستگی محدود را داراست. در این تحقیق برای شبکه BP یک ساختار شامل یک لایه ورودی، یک لایه میانی غیرخطی و یک لایه خروجی خطی انتخاب شده است. الگوریتم انتشار برگشتی، از روش‌های کاهش گرادیان خطا، یا روش‌های بهینه‌سازی چند متغیره، استفاده می‌کند. در اصل، الگوریتم انتشار برگشتی مبتنی بر کاهش گرادیان، وزن‌های شبکه را در راستای کمینه شدن خطاها تغییر می‌دهد. نمونه شماتیک الگوریتم BP در (شکل 5) نمایش داده شده است.



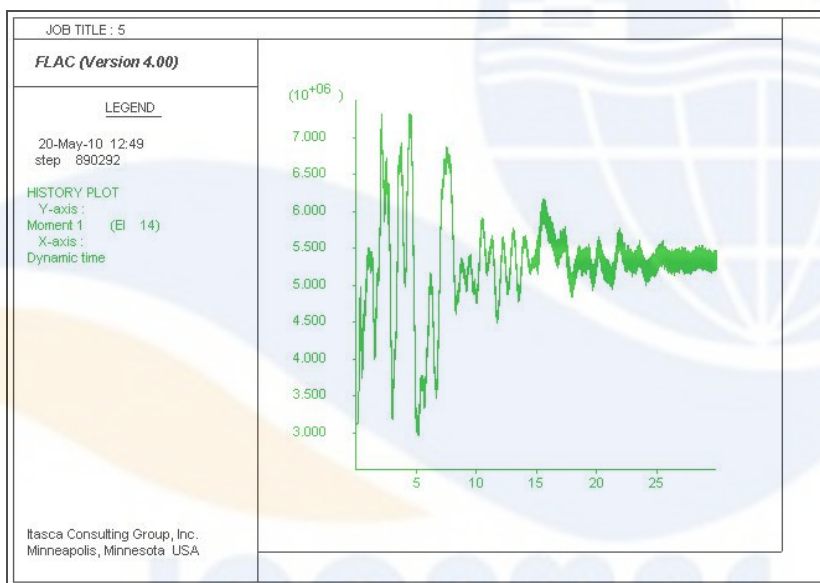
شکل 5) نمونه شماتیک یک شبکه 2 لایه BP

7-4- نتایج عددی

برای آموزش و آزمایش شبکه عصبی تعداد 150 نمونه، ضمن ساده سازی مدل اصلی و استفاده از امکان ورودی فایل متنی (.txt) نرم افزار FLAC 2D. با یک روش ابتکاری تولید گردیده است. در این روش خارج از محیط نرم افزار، فایل متنی (.txt) ورودی، بر مبنای متغیرهای طراحی انتخاب شده، ویرایش گردیده و فایل های متنی ورودی به سادگی و با زمان بسیار کوتاه تولید گردیده است. پس از این مرحله، جهت تحلیل مدل‌های تهیه شده در نرم‌افزار FLAC 2D، از امکان برنامه‌نویسی در محیط این نرم‌افزار استفاده گردیده و مدل های انتخابی تولید شده بصورت گروهی توسط نرم افزار فراخوانی و پس از تحلیل هر مدل، نتایج مورد نیاز ثبت و ذخیره گردیده است [3]. این نتایج شامل تغییر مکان، ممان و برش ماکزیمم دیوار اصلی، ممان و برش ماکزیمم دیوار مهار و نیروی مهار می باشد. به عنوان نمونه، در (شکل 6) تغییر مکان بالاترین نقطه دیوار و در (شکل 7) ممان ماکزیمم دیوار اصلی در طول مدت زمان رکورد زلزله، نشان داده شده است.

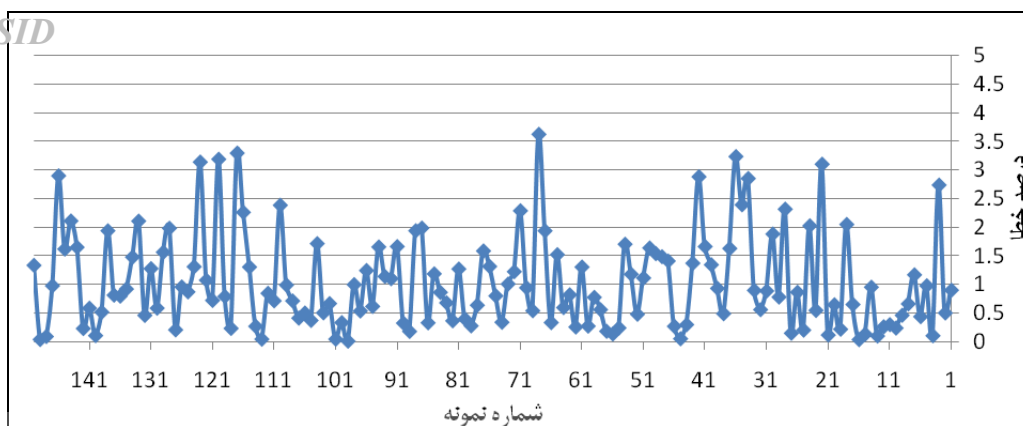


شکل 6) تغییر مکان بالاترین نقطه دیوار اصلی (متر)



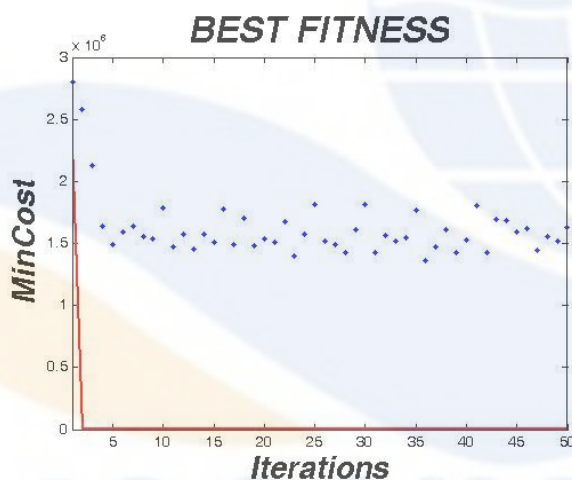
شکل 7) ممان ماکزیمم دیوار اصلی (kN-m/m)

پس از استخراج اختلاف جابه‌جایی افقی دیوار و تلاش‌های المان‌های سازه‌ای از نمونه‌های تحلیل شده (150 مورد)، از این داده‌ها جهت آموزش شبکه عصبی BP و تقریب‌سازی قیود مسئله بهینه‌سازی استفاده گردیده، نتایج حاصله مشخص می‌نماید این نوع شبکه عصبی مصنوعی (BP) بدون نیاز به اعمال شرایط خاص، بر روی مدل ارایه شده بصورت بسیار مناسب تعمیم یافته است. به عنوان نمونه مقدار میانگین خطاها در آزمایش شبکه عصبی برای تقریب‌سازی قید تغییر مکان 0.85 درصد بوده و درصد خطاها در (شکل 8) ارایه شده است.



شکل 8) خطاهای شبکه BP در پیشبینی اختلاف جابه‌جایی افقی دیوار اصلی سیستم اسکله

در نهایت بهینه‌سازی سیستم اسکله با استفاده از الگوریتم باینری جامعه پرندگان (BPSO) انجام پذیرفته است (شکل 9). در (جدول 8) بهینه‌ترین سیستم اسکله و حالت سیستم پایه مدل طرح توسعه فاز 2 مجتمع بندری شهیدرجایی (تحلیل شده با شرایط این مقاله) ارایه گردیده است. با مقایسه این 2 حالت مشخص می‌گردد با توجه به تاثیر زیاد آیتم حفاری بر تابع هدف، ارتفاع دیوار مهاریه کاهش یافته است. بدیهی است به دلیل این کاهش انتظار می‌رود اختلاف جابه‌جایی افقی دیوار اصلی (قید) افزایش یابد که این مورد به دلیل افزایش سختی دیوار مهاریه و کاهش فاصله بین دیوار اصلی و مهاریه جبران گردیده و همچنان قید مسئله بهینه‌سازی ارضاء گردیده است.



شکل 9) نمودار بهترین برازش

جدول 8) مقایسه حالت بهینه و پایه سیستم اسکله

Cost (\$)	Δx (cm)	I a (m4/m)	I m (m4/m)	Pret. Force(KN/m)	Dis. (m)	h_a (m)	
1967	19.6	0.07	2.48	700	50	12	سیستم بهینه
2854	19.7	0.05	2.48	800	54	14	سیستم پایه

(7) نتیجه گیری

با توجه به بررسی نتایج فوق، ضمن مطالعه موردی اسکله‌های دیوار دیافراگم بتنی مهار شده در طرح توسعه فاز 2 مجتمع بندری شهیدرجایی و با عنایت به مشکلات زمانی تحلیل مدل و سایر پیچیدگی‌های این نوع اسکله، روشی ارایه گردیده است که ضمن تقریب‌سازی نتایج تحلیل توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی، با استفاده از الگوریتم باینری جامعه پرندگان سیستم اسکله را بهینه نموده است.

- [1]- "Quay Wall Analysis", Shahid Rajaei Port Complex Development Project, First Construction Phase, RH Consulting Engineers.
- [2]- PIANC 2001, Seismic Design Guidelines for Port Structures. Permanent International Association for Navigation Congresses: Balkema.
- [3]- FLAC Manual, Version 4.0, 2002, Itasca Consulting Group, Inc.
- [4]- Kuhlemeyer, R. L., and J. Lysmer. 1973, "Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems," J. Soil Mech. & Foundations, Div. ASCE, 99(SM5), 421-427.
- [5]- Kennedy J. and Eberhart R. (1995) Particle Swarm Optimization, Proceeding of IEEE International Conference on neural networks, Vol. 4, 1942-1948.
- [6]- Kennedy J. and Eberhart R. (2001) Swarm Intelligence. Morgan Kaufman Publishers, San Francisco.
- [7]- Shi Y. and Eberhart R.C. (1997) A modified particle swarm optimizer. Proceeding of IEEE International Conference on Evolutionary Computation, 303-308.
- [8]- سلاجقه، ج، و خطیبی نیا، م، و مشایخی، م، (1387) بهینه سازی شکل گنبد‌های فضاکار یک لایه با استفاده از الگوریتم باینری جامعه پرندگان اصلاح شده، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
- [9]- قنبری، م، و افشارپور، م، (1387) بتن ریزی پانل های کی وال به روش ترمی (پروژه فاز یک توسعه مجتمع بندری شهید رجایی)، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص)- قرب نوح (ع)، چاپ اول.
- [10]- قنبری، م، و افشارپور، م، (1387) حفاری پانل های کی وال به روش ترمی (پروژه فاز یک توسعه مجتمع بندری شهید رجایی)، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص)- قرب نوح (ع)، چاپ اول.
- [11]- Alielahi H. and Nouri H. (2009), A Modified Performance Based Design of Shahid Rajaei Diaphragm Wall: Pseudo-static and Dynamic Perspective, Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering-KoKusho & Yoshimine, London, ISBN 978-0-415-55614-9, 491-499.
- [12]- XU Ri-qing (2000), The GA-ANN Methode For Determining Calculation Parameters For Deep Excavation, Journal of Zhejiang Uni. , Vol. 1, No. 4, 408-413.
- [13]- قلی زاده قلعه عزیز، س، و غیرتمند، چ، (1389) کاربرد شبکه عصبی در تقریب سازی تغییر مکان جانبی سازه ها با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک-سازه، کنفرانس بین المللی سبک سازی و زلزله، جهاد دانشگاهی استان کرمان.
- [14]- Wasserman PD. (1993), Advanced Methods in Neural Computing, USA: Prentic Hall Company, Van Nostrand Reinhold, New York.