

الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده با جهش دینامیکی و کاربرد آن در بهینه سازی قابهای خمشی بتن آرمه

احمد ملکی

استادیار مهندسی عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

سیامک علی زاد

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

siamak.alizad@gmail.com

چکیده:

هدف از تحقیق حاضر، بررسی میزان تاثیرگذاری جهش دینامیکی در بهبود عملکرد الگوریتم PSO استاندارد است. الگوریتم جدید تولید شده، الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده MPSO نامگذاری شده است که در آن جهت گریز از بهینه‌های محلی، از جهش دینامیکی بهره جسته شده است. بهینه‌سازی به معنای یافتن بهترین پاسخ یک مسئله تحت شرایط یک سری قیود از پیش تعیین شده است. منظور از بهترین پاسخ بسته به نوع مسئله می‌تواند متفاوت باشد. بعنوان مثال در مسائل مهندسی سازه، بهترین پاسخ می‌تواند هزینه حداقل ساخت و ساز یا توزیع بسیار نزدیک به یکنواخت تغییر مکان نسبی طبقات و غیره باشد. در دیگر علوم نیز این موضوع مطرح است که از آن میان می‌توان به مسائل مربوط به حمل و نقل، برق و الکترونیک، زیست‌شناسی، جامعه‌شناسی و غیره اشاره نمود. روشهای مختلفی برای حل مسائل بهینه‌سازی مطرح شده است که می‌توان آنها را در دو مجموعه کلی روشهای مبتنی بر مشتق و روشهای فراکوشی طبقه بندی کرد. روشهای مبتنی بر مشتق جزو روشهای ابتدایی ولی قدرتمند مطرح بودند و مزیت آنها نسبت به روشهای فراکوشی آن بود که حجم محاسبات کمتری را می‌طلبیدند. ولی لازم بود که تابع هدف از یک رابطه پیوسته بر اساس متغیرهای طراحی پیروی نماید. با گسترش مسائل مهندسی و دسترسی به کامپیوترهای قوی، حجم زیاد محاسبات دیگر بعنوان یک مشکل برای روشهای فراکوشی مطرح نشد. این روشها نسبت به روشهای مبتنی بر مشتق، از مفاهیم ساده‌تری بهره می‌برند و لازم نیست به مفاهیم پیچیده ریاضی وارد شد. در نتیجه در دهه اخیر به شدت رشد پیدا کرده‌اند. الگوریتم تجمع ذرات جزو طبقه‌بندی روشهای فراکوشی است. جهت بررسی عملکرد این الگوریتم جدید، از آن برای حل مسئله‌های بهینه‌سازی سازه‌ای استفاده شده است. این مسئله‌ها، قابهای خمشی بتن آرمه هستند که قبلاً توسط محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج بهینه‌سازی با استفاده از MPSO بسیار مطلوب ارزیابی می‌شود و بهبودهای چشمگیری در حل‌های نهایی حاصل شده است.

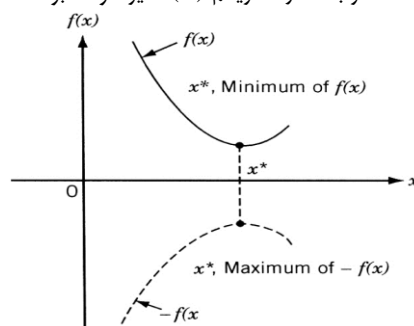
کلید واژگان: بهینه‌سازی، الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده، قابهای خمشی بتن آرمه

۱- مقدمه

تحقیق حاضر به بررسی جوانب مختلف بهینه سازی یک سازه بتنی آرمه با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات اختصاص یافته است. بهینه سازی عبارتست از فرآیند رسیدن به بهترین نتیجه در یک مساله تحت یک سری شرایط از پیش تعیین شده. در طراحی، ساخت و نگهداری هر سیستم، مهندسین ناگزیر از اتخاذ تصمیمات مهم صنعتی و مدیریتی هستند. هدف از چنین تصمیماتی، مینیم نمودن هزینه های لازم و یا ماکزیم نمودن کارایی و بهره دهی سیستمهاست. از آنجاییکه هزینه های لازم و کارایی هر سیستم واقعی را میتوان بصورت تابعی از یک سری متغیر تعریف نمود، لذا بهینه سازی را می توان بعنوان فرآیند یافتن مینیمم یا ماکزیمم یک تابع در نظر گرفت.

الگوریتم PSO اولین بار توسط Kennedy و Eberhart [1] پیشنهاد شد و بر این مبناست که تبادل اطلاعات بین اعضای یک جامعه، می تواند رفتار جامعه را بهبود بخشد. این موضوع، PSO را نسبت به دیگر الگوریتم های بهینه سازی، در جایگاه بهتری قرار داده است. این الگوریتم قدرتمند^۱ بوده و جهت انجام بهینه سازی در فضاهای غیرخطی، غیرمحدب و دارای ناپیوستگی ساخته شده است و به راحتی می تواند با متغیرهای پیوسته، گسسته و صحیح کار کند.

اگر نقطه X^* مربوط به شکل ۱، متناظر با مقدار مینیمم تابع $f(X)$ باشد، همان نقطه متناظر با مقدار ماکزیمم $-f(X)$ نیز خواهد بود.



شکل ۱. رابطه بین کمینه سازی و بیشینه سازی

در حالت کلی بهینه سازی را می توان بعنوان یک عملیات مینیمم سازی در نظر گرفت.

مراحل اصلاح موقعیت ذرات در گامهای تحلیل به صورت زیر فرموله می گردند و شکل شماتیک آن در ادامه آمده است:

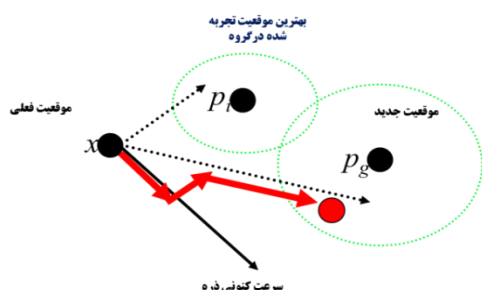
اصلاح بردار سرعت (۱)

$$V_{i+1} = wV_i + C_1r_1(P_i - X_i) + C_2r_2(P_g - X_i)$$

$$X_{i+1} = X_i + V_{i+1} \quad \text{اصلاح موقعیت} \quad (۲)$$

در رابطه ۱، ثابت های C_1 و C_2 ضرایبی هستند که تعادل را بین بهترین تجربه شخصی و گروهی برقرار می کنند و ضرایب Γ_1 و Γ_2 ضرایبی جهت توزیع تصادفی ذرات می باشند. P_i بهترین تجربه شخصی و P_g بهترین تجربه گروهی می باشد و X_i موقعیت فعلی ذره می باشد.

همچنین w ضریب اینرسی است که از همگرایی زودرس و گیر افتادن الگوریتم در بهینه های محلی جلوگیری می نماید. مکانیسم ارائه شده در روابط ۱ و ۲، بصورت شماتیک در شکل ۱ به نمایش درآمده است.



شکل ۲. شکل شماتیک بروز رسانی موقعیت ذرات در الگوریتم تجمع

ذرات (کندی و ابرهات، ۱۹۹۵)

جنبه جدید تحقیق حاضر، ارزیابی عملکرد الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده با جهش دینامیکی است که تاکنون عملکرد آن در بهینه سازی مسائل سازه ای مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

۲- شبیه سازی عددی

مسائل بهینه سازی سازه های بتنی آرمه، در مقایسه با سازه های فولادی، از پیچیدگیهای بیشتری برخوردار است، چرا که در این مسائل به لحاظ امکان استفاده از ترکیبات مختلف ابعاد مقاطع و چینش های مختلف آرماتور، فضای جستجو بسیار گسترده تر است. برای خودداری از درگیری با این مسئله، فضای جستجو با اعمال مجموعه ای از قوانین که آئین نامه های طراحی می نمایند، کوچکتر گردید. با این هدف دو بانک داده مربوط به مقاطع تیرها و مقاطع ستونها با پیروی از روندی که در ادامه تشریح شده است، تولید شد.

۲-۱- تولید بانک اطلاعاتی مقاطع

در قابهای بتنی آرمه، می توان از تعداد گسترده ای از مقاطع و الگوهای مختلف آرماتور گذاری برای تیرها و ستونها استفاده نمود. برای کاهش پیچیدگی ذاتی مسائل بهینه سازی سازه های بتنی آرمه، در اینجا دو بانک اطلاعاتی برای مقاطع تیرها و ستونها ایجاد می گردد. در تولید این بانکهای اطلاعاتی، برخی محدودیتهای اجرایی اعمال گردیده و از بعضی قوانین استاندارد پیروی شده است. در عمل، معمولاً مقاطع بصورت مستطیلی و با نسبت ارتفاع به عرض بین ۱/۵ تا ۲/۵ برای تیرها و بین ۱ تا ۲ برای ستونها در نظر گرفته می شود. گامهای در نظر گرفته شده برای ابعاد می تواند به اندازه ۵ سانتی متر باشد. همچنین از آرماتورهایی با قطر D19 و D22 برای مسلح نمودن مقاطع استفاده می گردد. آئین نامه ACI 318-08 (۲۰۰۸) [2] برخی محدودیتهای برای مقاطع اعمال می کند که شامل حداقل و حداکثر آرماتور مقاطع و حداقل ضخامت پوشش بتنی بر روی آرماتورها، حداقل قطر خاموتها و حداقل فاصله بین آرماتورهای طولی است. با در نظر گرفتن قوانین فوق الذکر،

^۱ Robust

$$A_{s,min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b \cdot d \geq (3)$$

$$A_{s,max} = \frac{1.4}{f_y} b \cdot d \quad (mm^2)$$

$$0.75(0.85\beta_1) \frac{f'_c}{4f_y} \frac{600}{600+f_y} b \cdot d \quad (mm^2)$$

که b ، f'_c و f_y به ترتیب عرض مقطع، مقاومت مشخصه بتن و مقاومت تسلیم آرماتورها می‌باشند. در این رابطه، d به عمق موثر مقطع اشاره می‌کند که برابر است با فاصله مرکز هندسی آرماتورهای کششی از دورترین تار فشاری بتن. ضریب β_1 ، عمق تار کششی را به ارتفاع بلوک تنش فشاری ویتنی مرتبط می‌سازد و از بند 10.2.7.3 آئین نامه ACI 318-08 بدست می‌آید. برای آرماتورهای ممان مثبت از D19 و برای آرماتور ممان منفی از D22 استفاده شده است. با در نظر گرفتن قوانین فوق، ۱۸ نوع مقطع بدست می‌آیند که عبارتند از:

350 × 300، 300 × 450، 300 × 500، 300 × 550، 300 × 600، 350 × 300، 350 × 400، 350 × 450، 350 × 600، 350 × 650، 350 × 700، 400 × 300، 400 × 450، 400 × 500، 400 × 550، 400 × 600، 400 × 650، 400 × 700، 400 × 750، 400 × 800، 450 × 300، 450 × 400، 450 × 450، 450 × 500، 450 × 550، 450 × 600، 450 × 650، 450 × 700، 450 × 750، 450 × 800، 450 × 850، 450 × 900 بر حسب میلی‌متر.

با در نظر گرفتن ترکیبات مختلف الگوهای آرماتورگذاری، تعداد تیرهای قابل استفاده به ۱۰۱۴ می‌رسد که جزئیات آنها در جدول (۱) ارائه شده است. برای جزئیات بیشتر در مورد فرمولبندی مقاطع می‌توان به مرجع [2] رجوع کرد. برای هر کدام از مقاطع بدست آمده، مقاومت خمشی ضریبدار عبارتست از:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (5)$$

که در این رابطه، $\phi = 0.9$ ، ضریب کاهش مقاومت خمشی نامیده می‌شود. جدول ۱، اطلاعات مربوط به ابعاد، مساحت سطح مقطع، ممان اینرسی، تعداد آرماتورهای ممان مثبت و ممان منفی، ظرفیت خمشی ضریبدار و هزینه واحد طول هر مقطع را گزارش می‌کند. جزئیات مربوط به محاسبه هزینه واحد طول در قسمتهای بعدی تشریح می‌شود.

جدول ۱. بانک اطلاعاتی مقطع تیرها برای تمام مثالهای تحقیق (کاوه و سبزی، ۲۰۱۱)

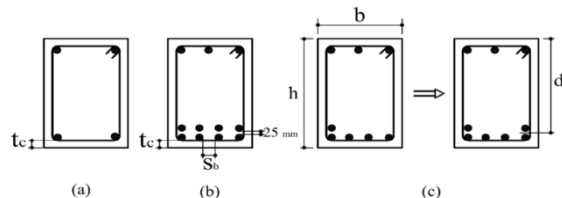
Beam Number	Width (mm)	Depth (mm)	Area ($\times 10^2 mm^2$)	Moment of Inertia ($\times 10^6 mm^4$)	Number of Bars		Factored moment resistance (kN.m)		
					Center D19	End D22	Center	End	
1	300	450	1350	2278.1	2	2	74.41	97.67	133.95
2	300	450	1350	2278.1	3	2	108.84	97.67	135.96
.
.
.
1013	450	900	4050	27338	10	12	761.3	1152.3	301.78
1014	450	900	4050	27338	12	12	893.43	1152.3	305.79

تعداد آرماتورها ۴ بوده و در چهار گوشه مقطع طبق شکل ۴ در نظر گرفته می‌شود. حداقل ضخامت پوشش بتنی $t_c=40mm$ قطر خاموتها D10. الگوی آرماتورها بصورت متقارن و در دو وجه خمشی در نظر

بانکهایی اطلاعاتی برای تیرها و ستونها به شرح زیر تولید گردیده است:

۲-۱-۱- تیرها

با در نظر گرفتن الزامات ACI 318-08، می‌توان قیدهای حاکم بر بانک اطلاعاتی مقاطع تیر را به شرح زیر خلاصه نمود: [3-12] حداقل ۴ آرماتور باید در ۴ گوشه مقطع جانمایی شوند (شکل ۳). حداقل فاصله بین آرماتورهای طولی برابر است با: $S_b=40mm$. حداقل پوشش بتن رو میلگردها $t_c=40mm$. قطر خاموتها D10 (برحسب mm). حداکثر ۲ سفره آرماتور طولی می‌توانیم داشته باشیم. آرماتورهای سفره بالایی دقیقاً در بالای آرماتورهای سفره پایینی قرار گرفته و حداقل فاصله بین دو لایه باید 25mm باشد (شکل ۳). اگر وارد آرماتورگذاری در سفره دوم شده ایم، لازم است آرماتورهای این سفره متقارن باشند و دقیقاً روی آرماتورهای بالایی قرار بگیرند. اگر آرماتورها متقارن نیستند، یک آرماتور به تعداد آنها اضافه می‌شود تا آرماتورهای سفره بالایی نیز متقارن گردند.



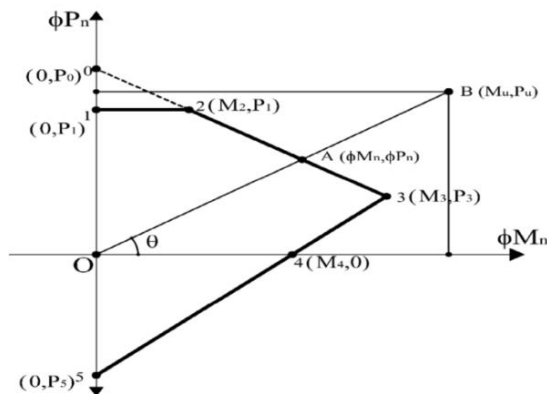
شکل ۳. محدودیت های حاکم بر الگوی آرماتورهای تیرها (کاوه و سبزی، ۲۰۱۱)

(a) حداقل چهار آرماتور در چهار گوشه (b) فاصله حداقل بین آرماتورهای طولی و بین دو سفره آرماتور (c) چپش متقارن نسبت به محور قائم در فصل ۱۰ از ACI 318-08، روابط مربوط به حداقل و حداکثر آرماتور طولی به شکل زیر ارائه شده است:

۲-۱-۲- ستونها

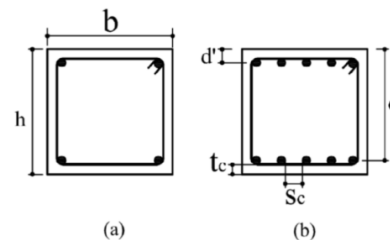
با استفاده از قوانین ACI 318-08 قیود ذیل بر مقاطع ستونها حاکم خواهند بود: حداقل فاصله بین آرماتورهای طولی $s_c=40mm$. حداقل

(a) حداقل چهار آرماتور در چهار گوشه مقطع (b) الگوی آرماتورهای طولی متقارن همراه با ضخامت پوشش بتن و فاصله آرماتورهای طولی، همراه با تعریف عمق موثر فشاری و کششی (کاوه و سبزی، ۲۰۱۱)



شکل ۵. منحنی اندرکنش ساده شده رفتار ستون (کاوه و سبزی، ۲۰۱۱)

گرفته می شود (شکل ۴) حداقل و حداکثر نسبت آرماتور، به ترتیب ۱٪ و ۸٪ سطح مقطع در نظر گرفته می شود. در مقطع ستونها، آرماتورهای طولی از نوع D25 در نظر گرفته شده است. در تمامی مثالهای حل شده در تحقیق حاضر، مقاطع مربعی برای ستونها و با ابعاد بین 300mm تا 900mm با گامها 50mm در نظر گرفته شده است که خلاصه آن در جدول ۲ گزارش گردیده است. مقاومت ستونها تحت بارهای محوری و لنگرهای خمشی اعمالی، از منحنی اندرکنش M-P بدست می آید. در تحقیق حاضر، از یک تقریب خطی برای این دیاگرام استفاده شده که در شکل ۵ گزارش گردیده است. جدول ۲، مقاطع مورد استفاده در تمامی مسائل حل شده در تحقیق حاضر برای ستونها را به نمایش می گذارد که شامل جزئیات ابعاد، تعداد آرماتورها (شکل ۴) و نقاط کلیدی مربوط به دیاگرام خطی تقریبی M-P است. جزئیات مربوط به محاسبه این نقاط در قسمتهای بعدی تشریح خواهد شد.



شکل ۴. محدودیتهای آرماتورهای مقاطع ستونها

جدول ۲. بانک اطلاعاتی مقطع ستونها برای تمام مثالهای تحقیق (کاوه و سبزی، ۲۰۱۱)

NO	Width (mm)	Depth (mm)	Number of bars (D25)	P0 (kN)	P1 (kN)	P3 (kN)	P5 (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	M4 (kN.m)	Cost per unit length (\$)
1	300	300	4	1643	1314	429	692.7	22.19	81.89	70.52	133.72
2	300	300	6	1880	1504	405.7	1039	25.97	101.82	100.61	140.66
.
.
.
54	900	900	22	13128	10503	4961	3810	717.17	2230.7	1504.5	492.55
55	900	900	24	13366	10693	4954	4156	739.31	2326.2	1638.1	499.48

۲-۱-۴- لاغری

بر اساس الزامات ارائه شده در ACI 318-08، [2] اگر لاغری در یک ستون مربوط به قابی که در مقابل حرکتهاى جانبی مهار نشده است، در رابطه ۶ صادق باشد، می توان از اثرات لاغری صرف نظر نمود:

$$\frac{k l_u}{r} < 22 \quad (6)$$

که در آن، k ضریب طول موثر عضو فشاری، l_u طول مهار نشده عضو فشاری و r شعاع ژیراسیون عضو مقطع عضو فشاری است.

ضریب طول موثر ستون وادسته به نسبت سختی ستونها به تیرهای متصل به انتهای عضو فشاری می باشد. این نسبت به شکل زیر بدست می آید.

۲-۱-۳- تحلیل قاب

برای طراحی بهینه قاب، لازم است قیود طراحی در مورد از طرح های پیشنهادی مورد ارزیابی قرار بگیرند [12-3] و در نتیجه باید نیروهای داخلی شامل نیروی محوری، لنگر خمشی و نیروی برشی در هر عضو سازه ای محاسبه شود. این مقادیر از طریق تحلیل اجزاء محدود سازه ها بدست می آیند. جهت تسهیل در امر محاسبات، در تحقیق حاضر برای تیرها فقط قیود مربوط به لنگرهای خمشی و برای ستونها، قیود مربوط به لنگرهای خمشی همراه با نیروی محوری مورد ارزیابی قرار گرفته اند. در تحلیل قاب، لاغری ستونها نیز کنترل گردیده است. این کار از طریق تشدید لنگر در ستونهاى لاغر انجام گرفته است.

تختی آن از قیود مسئله ارزیابی شده و جریمه لازم بر روی آن اعمال گردد. برای تیرها، سه قید در نظر گرفته شده که به ترتیب مربوط به لنگر مثبت در وسط دهانه، لنگر منفی در انتهای سمت چپ و لنگر منفی در انتهای سمت راست آنهاست:

$$g_1 = \frac{M_u^+}{\phi M_n^+} - 1 \leq 0 \quad (16)$$

$$g_2 = \frac{|M_{ul}|}{|\phi M_n^-|} - 1 \leq 0 \quad (17)$$

$$g_3 = \frac{|M_{ur}|}{|\phi M_n^-|} - 1 \leq 0 \quad (18)$$

یک مقطع بتن آرمه زمانی جوابگوی بارهای اعمالی است که زوج مرتب (M_u, P_u) در اثر بارهای اعمالی، خارج از منحنی اندرکنش قرار نگیرد. جهت بیان این قید بصورت فرمولبندی ریاضی، فاصله بین زوج مرتب نظیر بارهای اعمالی از مبدا مختصات مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵). با توجه به این شکل، اگر موقعیت این زوج مرتب را B فرض کنیم، می‌توانیم به سادگی A نقطه نظیری که خط واصل B به مبدا مختصات O، منحنی اندرکنش را قطع می‌کند را بدست آوریم. نسبت این دو فواصل را بعنوان قید مقاومت ستونها مورد استفاده قرار می‌دهیم. جهت مشخص کردن نقطه A، زاویه خطی OB نسبت به افق عبارتست از $\theta = \tan^{-1}(\frac{P_u}{M_u})$ حاصل می‌شود. بدین طریق اگر L_m و L_n را به ترتیب طول خطوط OA و OB بنامیم، خواهیم داشت:

$$L_m = \sqrt{\phi P_n^2 + \phi M_n^2}, \quad L_n = \sqrt{P_u^2 + M_u^2} \quad (19)$$

در نتیجه تابع جریمه مربوط به مقاومت ستون بصورت زیر خواهد بود:

$$g_4 = \frac{L_n}{L_m} - 1 \leq 0 \quad (20)$$

برای ستونها، علاوه بر الزامات مقاومتی، لازم است قیود اجرایی را نیز در نظر بگیریم. این قیود بدین شکل هستند که ابعاد و تعداد آرماتورهای موجود در مقطع یک ستون نباید بزرگتر از ستون زیر خودش باشد. اگر T و B را به ترتیب بعنوان بالا و پائین در نظر بگیریم، داریم:

$$g_5 = \frac{b_B}{b_T} - 1 \leq 0 \quad (21)$$

$$g_6 = \frac{h_B}{h_T} - 1 \leq 0 \quad (22)$$

$$g_7 = \frac{n_B}{n_T} - 1 \leq 0 \quad (23)$$

که n، عبارتست از تعداد آرماتورهای موجود در یک مقطع بتن آرمه. جریمه کل مربوط به هر حل فرضی از مجموع جرایم جزء به شکل زیر بدست می‌آید:

$$G = \sum_{beams}(g_1 + g_2 + g_3) + \sum_{columns}(g_4 + g_5 + g_6 + g_7) \quad (24)$$

سپس با استفاده از رابطه زیر، تابع هدف مقید به یک تابع هدف غیر مقید تبدیل می‌شود.

$$\text{Minimize: } F_p = F \cdot (1 + G)^E \quad (25)$$

که F_p تابع هدف جریمه شده و F تابع هزینه و E پارامتری بزرگتر از واحد و وابسته به شرایط مسئله بهینه سازی است. در مسئله حاضر، این پارامتر برابر با ۲ در نظر گرفته شده و نتایج خوبی بدست آمده است.

$$\psi = \frac{\sum(EI/D)_c}{\sum(EI/D)_b} \quad (7)$$

که I ممان اینرسی مقطع ترک خورده، E مدول الاستیسیته و l طول تیر یا ستون است. اندیس c و b به ترتیب به ستونها و تیرهای متصل به انتهای عضو فشاری اشاره می‌کنند. پس از محاسبه ψ مربوط به دو انتهای عضو فشاری، مقدار میانگین آنها بدست می‌آید که ψ_m نام دارد و ضریب طول موثر بر اساس این مقدار میانگین به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\psi_m < 2: \quad k = (1 - 0.05 \psi_m) \sqrt{1 + \psi_m} \quad (8)$$

$$\psi_m \geq 2: \quad k = 0.9 \sqrt{1 + \psi_m} \quad (9)$$

در ستونها، لاغر، لنگرهای تشدید یافته از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$M = M_{ns} + \delta_s M_s \quad (10)$$

که M_{ns} لنگر ناشی از بارهای ثقیل و M_s لنگر ناشی از بارهای جانبی و δ_s ضریب تشدید ممان در قله‌های بدون مهار جانبی است. پس از اینکه ممان تشدید یافته برای هر یک از دو انتهای هر ستون محاسبه گردید، حداکثر نظیر این دو مقدار، مبنای طراحی قرار داده می‌شود. محاسبه δ_s در فصل ۱۰ آئین نامه ACI 318-08 بطور کامل تشریح شده است.

۳- فرمولبندی مسئله بهینه سازی

هدف از طراحی بهینه در سازه‌های بتن آرمه، حداقل کردن هزینه سازه است. در نتیجه تابع هدف برابر است با مجموع هزینه تیرها و ستونها که از پارامترهای هزینه بتن، هزینه فولاد و هزینه قالببندی نشات می‌گیرد. در نتیجه تابع هدف یک قاب بتن آرمه را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$\text{Minimize: } F = F_b + F_c \quad (11)$$

$$F_b = \sum_{beams} \{ C_c \cdot b \cdot h \cdot L + C_s \cdot A_s \cdot L \cdot \gamma_s + C_f \cdot L \cdot (b + 2h) \} \quad (12)$$

$$F_c = \sum_{columns} \{ C_c \cdot b \cdot h \cdot L + C_s \cdot A_s \cdot L \cdot \gamma_s + C_f \cdot L \cdot 2(b + h) \} \quad (13)$$

تحت قیود

$$\text{For beams: } \begin{cases} M_u^+ \leq \phi M_n^+ \\ |M_{ul}| \leq |\phi M_n^-| \\ |M_{ur}| \leq |\phi M_n^-| \end{cases} \quad (14)$$

$$\text{For columns: } (M_u, P_u) \leq (\phi M_n, \phi P_n) \quad (15)$$

در این روابط، F هزینه کل اعضا بر حسب $\$$ ، F_b و F_c به ترتیب هزینه ناشی از تیرها و ستونها، C_c ، C_s و C_f ، به ترتیب هزینه واحد برای بتن، قالب بندی و فولاد، A_s مساحت آرماتورهای هر مقطع بتنی، γ_s وزن مخصوص آرماتورها، M_u^+ ، M_{ul} و M_{ur} به ترتیب لنگرهای خارجی اعمالی در میانه، انتهای سمت چپ و انتهای سمت راست تیر، M_n^+ و M_n^- به ترتیب ظرفیت خمشی اسمی در میانه و انتهای تیر، M_u و P_u به ترتیب لنگر و بار محوری خارجی اعمالی به ستون، M_n و P_n به ترتیب ظرفیت خمشی و محوری اسمی ستون است.

۳-۱- تابع شبه هدف

لازم است برای محاسبه تابع هدف مربوط به هر حل فرضی، میزان

- 1 Genetic Algorithm
- 2 begin
- 3 Choose initial population
- 4 repeat
- 5 Evaluate the individual fitness of a certain proportion of the population
- 6 Select pairs of best-ranking individuals to reproduce
- 7 Apply crossover operator
- 8 Apply mutation operator
- 9 until terminating condition
- 10 end

شکل ۶: شبه کد الگوریتم ژنتیک

۴-۱-۲- ایده اصلی

در دهه هفتاد میلادی دانشمندی از دانشگاه میشیگان به نام جان هلند ایده استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی‌های مهندسی مطرح کرد. ایده اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌هاست. علاوه بر «جهش» اتفاق دیگری که می‌افتد و البته این اتفاق به تعداد بسیار بیشتری نسبت به «جهش» رخ می‌دهد چسبیدن دو کروموزوم از طول به یکدیگر و تبادل برخی قطعات بین دو کروموزوم است. این مسأله با نام چسبش^۳ شناخته می‌شود. این همان چیزیست که باعث می‌شود تا فرزندان ترکیب ژنهای متفاوتی را (نسبت به والدین خود) به فرزندان خود انتقال دهند.

۴-۱-۳- عناصر عملگر جهش

مسئله انتخابی در تحقیق حاضر، یک مسئله چند متغیره است و در نتیجه از حرکت کوشی استفاده شده است. نقطه جهش، می‌تواند موقعیت ذره (موقعیت یک ذره تصادفی، موقعیت PBEST یا موقعیت GBEST) یا سرعت باشد. در تحقیق حاضر، جهش در موقعیت یک ذره تصادفی انجام گرفته است. میزان جهش عبارتست از تعداد ابعادی از ذرات موجود در جمعیت جستجو که در هر بازه زمانی جهش، جهش پیدا می‌کند. محققین مختلف، مقادیر مختلفی را برای جهش پیشنهاد نموده اند. کاوه و شهروزی (۲۰۰۶) [15] از یک احتمال جهش برای محاسبه میزان جهش استفاده نمود. هر کدام از ابعاد ذرات در جمعیت زمانی جهش پیدا می‌کنند که یک مقدار تصادفی از بازه صفر و یک، کمتر از احتمال جهش شود. احتمال جهش توسط رابطه زیر تعریف می‌گردد.

(۲۶)

که M سایز جمعیت و D ابعاد فضای ج $M_P = \frac{M_r}{M \times D}$ و M_r نرخ جهش است.

بازه زمانی جهش یا دوره بازگشت جهش فاصله بین گامهای بهینه سازی است که دارای جهش هستند. در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب فلوجارت الگوریتم PSO استاندارد و MPSO به نمایش درآمده است. آنطور که از بررسی این دو شکل مشاهده میشود، تنها تفاوت موجود در

پس از محاسبه F_p ، با استفاده از الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات، اقدام به بهینه یابی مسئله مورد نظر تحقیق شده است.

۴- جزئیات الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده MPSO^۱

در تحقیق حاضر برای بهبود عملکرد PSO، از ترکیب مکانیسم آن با یک المان از مکانیسمهای مربوط به الگوریتم ژنتیک^۲ به نام جهش دینامیکی^۳ استفاده شده است. اصل حاکم بر جهش دینامیکی این است که موقعیت ذرات بهینه ساز را بصورت تصادفی در راستای تصادفی و به مقدار تصادفی جابجا می‌کند. الگوریتم کلاسیک PSO از کمبود پراکندگی ذرات رنج می‌برد (لی، ۲۰۱۱)، [13] بطوریکه در طول روند بهینه سازی، ذرات به سرعت به سمت هم حرکت کرده و در فضای کوچکی از فضای جستجو متمرکز می‌شوند و این کمبود پراکندگی ذرات باعث می‌شود، این الگوریتم نتواند فضای جستجو را بصورت جامع بررسی کند و در بهینه های محلی گیر می‌افتد. با اضافه کردن مکانیسم جهش، به افزایش پراکندگی ذرات بهینه ساز کمک می‌شود و انتظار می‌رود که عملکرد PSO بهبود یابد. در نتیجه گستره فضای جستجوی PSO افزایش می‌یابد و می‌تواند از بهینه های محلی فرار کند. جهت آشنایی دقیقتر با مکانیسم جهش دینامیکی، در این قسمت اشاره ای کوتاه به الگوریتم ژنتیک و المانهای مختلف آن از جمله جهش دینامیکی می‌شود:

۴-۱-۱- الگوریتم ژنتیک

تکنیک جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک برای اولین بار توسط جان هالند معرفی شد. در واقع الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم ژنتیک [14] بطور کلی یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به صورت فرایندهای تصادفی انتخاب می‌شوند. در هر مسئله قبل از آنکه بتوان الگوریتم ژنتیک را برای یافتن یک پاسخ به کار برد به دو عنصر نیاز است: در ابتدا روشی برای ارائه یک جواب به شکلی که الگوریتم ژنتیک بتواند روی آن عمل کند لازم است. در روش سنتی یک جواب به صورت یک رشته از بیتها، اعداد یا نویسه‌ها نمایش داده می‌شود. دومین جزء اساسی الگوریتم ژنتیک روشی است که بتواند کیفیت هر جواب پیشنهاد شده را با استفاده از توابع تناسب محاسبه نماید.

۴-۱-۱-۱- شبه کد الگوریتم ژنتیک

شکل ۶ بصورت شماتیک شبه کد الگوریتم ژنتیک را به نمایش می‌گذارد که دارای ۱۰ مرحله کلی است. در تحقیق حاضر، از المان موجود در محله هشتم از این شبه کد برای بهبود عملکرد PSO استفاده شده است.

³Dynamic Mutation

⁴Crossover

¹Modified Particle Swarm Optimization Algorithm

²Genetic Algorithm

۶- مثالهای بهینه سازی

در روند تحقیق حاضر، سه مثال قاب بتن آرمه صفحه ای در نظر گرفته شده که مشخصات آنها در این قسمت تشریح می شود:

- یک قاب بتن آرمه سه دهانه-چهار طبقه
- یک قاب بتن آرمه سه دهانه-هشت طبقه
- یک قاب بتن آرمه سه دهانه-دوازده طبقه

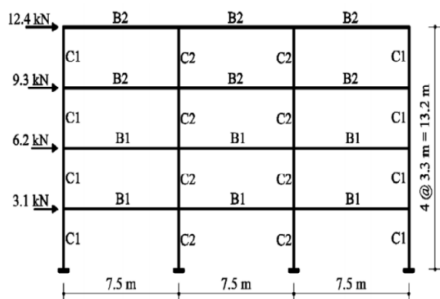
بارهای اعمالی بر روی قابها شامل بارهای متمرکز اعمالی به گره ها و بارهای گسترده اعمالی به تیرها هستند. بارهای متمرکز گرهی، بارهای جانبی ناشی از زلزله هستند که از تحلیل استاتیکی معادل بدست آمده و با عنوان E در نظر گرفته شده اند. بارهای گسترده یکنواخت اعمالی به تیرها شامل بارهای مرده D و بارهای زنده L می باشند. بر اساس آئین نامه ACI 318-08، جهت طراحی مقاومت لازم است ترکیبات بارگذاری به قرار زیر در نظر گرفته شوند.

$$U = 1.2D + 1.6L \quad (27)$$

$$U = 1.2D + 1.0L \pm 1.4 \quad (28)$$

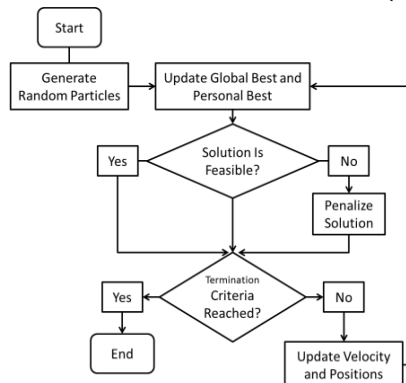
$$U = 0.9D \pm 1.4E \quad (29)$$

مقدار بار مرده $D=22.3 \text{ kN/m}$ ، بار زنده، $L=10.7 \text{ kN/m}$ در نظر گرفته شده است. در تمامی موارد، مقاومت فشاری بتن 23.5 MPa و مقاومت تسلیم فولاد 392 MPa فرض گردیده است. الگوریتم PSO در نرم افزار MATLAB کدینگ شده و جهت انجام تحلیل های سازه ای، از نرم افزار OpenSees استفاده گردیده است. چون لازم است در طول روند بهینه سازی، هزاران سازه تحلیل گردیده و نتایج تحلیل ارزیابی شوند، ارتباطی اتوماتیک بین MATLAB و OpenSees برقرار گردیده که روند آن در پیوست تحقیق تشریح شده است.

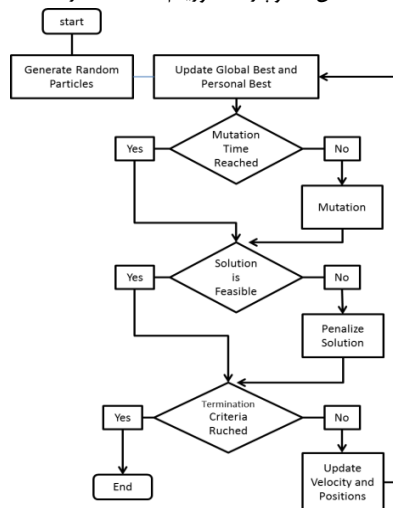


شکل ۹. قاب بتن آرمه سه دهانه-چهار طبقه [79]

MPSO، اضافه شدن یک مرحله مربوط به جهش^۱ پس از مرحله بروز رسانی موقعیتهاست.



شکل ۷. فلوجارت الگوریتم PSO استاندارد



شکل ۸. فلوجارت الگوریتم MPSO در تحقیق حاضر

۵- نتایج عددی

جهت انجام روند الگوریتم بهینه یابی و همچنین انجام تحلیل های سازه ای، به ترتیب از نرم افزارهای MATLAB و OPENSEES به موازات هم استفاده گردید و این دو نرم افزار توسط تهیه یک برنامه توسط نویسنده، به هم پیوند داده شدند تا کارهای تکراری بهینه سازی و تحلیل، با سرعت هرچه بیشتر و بدون دخالت کاربر میسر گردند. هر یک از روندهای بهینه یابی، با استفاده از ۵ ذره با ۲۵۰ گام آزمون خطا انجام گردید. روند ارائه نتایج بدین شکل است که ابتدا نتایج حاصل از مطالعه حساسیت نقل می گردد تا خواننده دیدی کلی به تاثیر پارامترهای مختلف بدست آورد. سپس بهترین، بدترین، میانگین و میانگین+انحراف استاندارد نتایج در بهترین ترکیبهای شناسایی شده از پارامترها نقل شده اند. در نهایت، بهترین حل قابل قبول بدست آمده از الگوریتم تجمع ذرات کلاسیک، با نتایج بدست آمده از الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده در تحقیق حاضر، مورد مقایسه قرار گرفته اند.

^۱Mutation

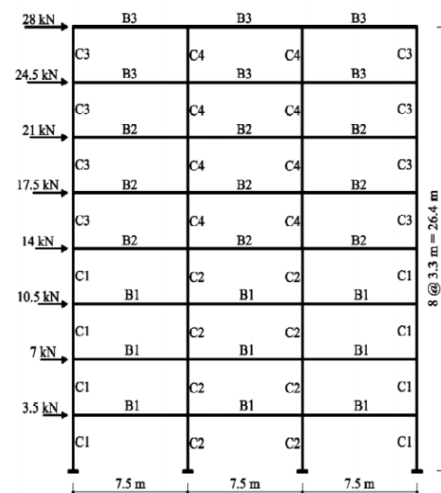
باشد. کاوش کلی به الگوریتم قابلیت فرار از بهینه های محلی را می دهد و کاوش محلی، قابلیت یافتن بهینه کلی را فراهم می آورد. نتایج عددی این مطالعه حساسیت در قسمتهای بعدی ارائه می شود.

جدول ۳ شامل نتایج مطالعه حساسیت برای قاب سه دهانه چهار طبقه بتن آرمه است. به ترتیب از سمت چپ، ستون اول و دوم، نشان دهنده ترکیب انتخابی برای C1 و C2 در روند انجام تحلیل بهینه سازی است. لازم به ذکر است برای هر یک از ترکیبات C1 و C2، پنج بار تحلیل بهینه سازی انجام گرفته تا بتوان قضاوتی کلی در مورد ترکیب مورد نظر انجام شود. ستون Cost، هزینه بهترین حل بدست آمده در پایان هر تحلیل را نشان می دهد. این ستون شامل چهار زیر ستون Average، Worst، Best و STD است که به ترتیب به بهترین حل نهایی بدست آمده در ۵ آزمون، میانگین حلهای نهایی بدست آمده در ۵ آزمون و انحراف استاندارد حلهای نهایی مربوط به ۵ آزمون می باشند. از بررسی ستون مربوط به Best در جدول ۳، به نظر می رسد 21354.802 بهترین جواب بدست آمده در مورد قاب چهار طبقه سه دهانه است که در ترکیب $C1=1.5$ و $C2=2.5$ بدست آمده است. ولی آنطور که در ستون ششم نشان داده شده، این حل یک حل قابل قبول نیست و از قیدهای مسئله بهینه سازی تخطی نموده است.

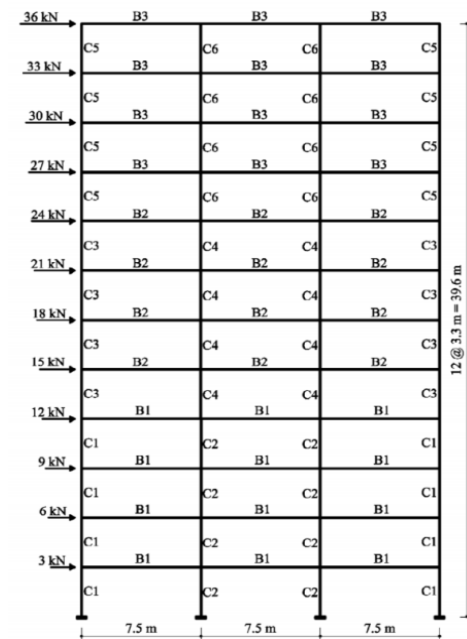
جدول ۳. مطالعه حساسیت قاب چهار طبقه (بر حسب دلار)

		Cost (\$)			
C1	C2	Best	Worst	Average	STD
0.5	3.5	21354.802	23502.962	22336.397	916.4126
1	3	21354.802	22536.175	21730.584	492.5355
1.5	2.5	21691.74	22640.636	22229.974	351.7434
2	2	21354.802	23821.908	22405.19	601.9639
2.5	1.5	21762.353	22640.84	21978.741	445.8787
3	1	21354.802	23011.339	22278.589	703.7713
3.5	0.5	22055.761	23500.467	22504.084	582.4569

فلاذ با بررسی و جستجو به دنبال بهترین حل عملی (که نقض قید نداشته باشد)، مشاهده می شود که بهترین حل بدست آمده، دارای هزینه 21354.8022 دلار است که در ترکیبهای $C1=0.5$ و $C2=3.5$ ، $C1=1$ و $C2=3$ و $C1=2$ ، $C2=2$ و همچنین $C1=3$ و $C2=1$ بدست آمده است. برای تسهیل در امر مقایسه نتایج، مقادیر این جدول در قالب نمودار ۱۰ ارائه شده است. هر یک از منحنیهای این نمودار، نظیر ستونهای Best، Worst، Average، Average+std می باشند. آنطور که از بررسی این نمودار برمی آید، حل نهایی بدست آمده در هر ترکیب از $C1$ و $C2$ به مقادیر این ضرایب بسیار وابسته است و یادآور این مشکل می باشد که برای هر مسئله بهینه سازی، پارامترهای $C1$ و $C2$ الگوریتم PSO، لازم است با انجام مطالعه حساسیت تنظیم شوند تا حل بهینه مد نظر بدست آید. تاریخچه همگرایی هر یک از این ترکیبات در شکل ۱۱ ارائه شده اند. همانطور که از بررسی جدول ۳ مشاهده می شود، بهترین حل بدست



شکل ۱۰. قاب سه دهانه-هشت طبقه بتن آرمه (کاوه و سبزی، ۲۰۱۱)



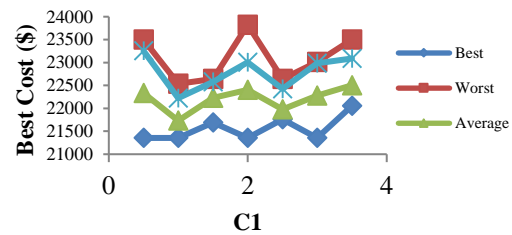
شکل ۱۱. قاب بتن آرمه سه دهانه-دوازده طبقه (کاوه و سبزی، ۲۰۱۱)

۶-۱- مقایسه نتایج PSO و MPSO برای قاب ۴ طبقه و ۸ طبقه و ۱۲ طبقه

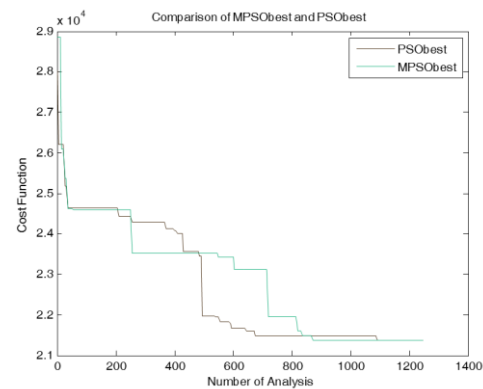
آنطور که قبلا نیز بیان شده، در PSO کلاسیک، بروز رسانی بردار سرعت توسط دو پارامتر $C1$ و $C2$ کنترل می شود مطالعات قبلی نشان داده که این دو پارامتر باید برای هر مسئله بهینه سازی، با انجام مطالعه حساسیت تنظیم شوند. آنطور که قبلا نیز اشاره شده، عملکرد هر الگوریتم بهینه یابی را می توان با دو پارامتر مهم مورد قضاوت قرار داد که این دو پارامتر عبارتند از کاوش کلی یا exploration و کاوش محلی یا exploitation. یک الگوریتم خوب یا به عبارتی خوب تنظیم شده، الگوریتمی است که هر دوی این شاخصه را بصورت همتراز داشته

۸۵۰۰ بار تحلیل انجام داده ولی در مطالعه حاضر، ۱۲۵۰ بار تحلیل انجام شده و در نتیجه، الگوریتم ارائه شده در تحقیق حاضر، هم از لحاظ هزینه نهایی و هم از لحاظ سرعت همگرایی، نسبت به الگوریتم مورد استفاده در مطالعه کاوه و سبزی (۲۰۱۱)، و همچنین الگوریتم PSO کلاسیک بهبود یافته است. نکته مهمی که لازم است در این قسمت بیان گردد این است که در الگوریتم PSO کلاسیک، حل بهینه بسیار وابسته به ترکیب C هاست، این در حالی است که الگوریتم اصلاح شده در تحقیق حاضر، نیازی به این تنظیمات نداشته و خود به خود، بسته به شرایط مسئله تنظیم می گردد و حل بهتری را ارائه می دهد. در نتیجه هم از نظر حل نهایی، هم از نظر سرعت همگرایی و هم از نظر عدم نیاز به مطالعه حساسیت، نسبت به PSO کلاسیک، در حل مسئله انتخابی بهتر شده است.

آمده قابل قبول، مربوط به ترکیب $C1=0.5$ و $C2=3.5$ است. با بررسی نمودارهای نظیر این ترکیب که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، به نظر می رسد که این ترکیب در الگوریتم قابلیت exploration و exploitation خوبی تا گام ۸۰۰ ایجاد نموده و از این گام به بعد، الگوریتم در حل محلی گیر افتاده و نتوانسته از این حل فراتر رود.



شکل ۱۲. مطالعه حساسیت قاب چهار طبقه



شکل ۱۳. تاریخچه همگرایی در الگوریتم اصلاح شده MPSO و

الگوریتم PSO برای طرح بهینه قاب چهار طبقه

در این قسمت، نتایج حاصل از طرح بهینه قاب چهار طبقه سه دهانه بتن آرمه ارائه شده و با نتایج بدست آمده در قسمت مطالعه حساسیت و همچنین نتایج ارائه شده توسط کاوه و سبزی (۲۰۱۱)، مورد مقایسه قرار گرفته است. جدول ۴ نتایج پنج مرحله آزمون خطا با استفاده از الگوریتم MPSO را ارائه می دهد. آنطور که از بررسی این شکل مشاهده می شود، بهترین حل بدست آمده توسط این الگوریتم، یک حل عملی و با هزینه 21351.3444 دلار است و نقض قیدی در آن اتفاق نیفتاده است. این مقدار نسبت به بهترین حل عملی بدست آمده از الگوریتم PSO کلاسیک که برابر با 21354.8022 دلار بود، ۰/۰۳٪ بهبود یافته است. همچنین این هزینه نسبت به حل بدست آمده توسط کاوه و سبزی (۲۰۱۱)، که در جدول ۵ با مشخصات کامل ارائه شده، ۳/۸۵٪ بهبود یافته است. لازم به ذکر است که در جدول ۵، مشخصات حل بهینه بدست آمده که شامل مقاطع و آرماتورهای تیرها و ستونهاست نیز ارائه شده و با حل ارائه شده توسط کاوه و سبزی (۲۰۱۱)، مقایسه گردیده است. آنطور که از این جدول مشهود است، Kaveh برای بدست آوردن حل بهینه مربوطه،

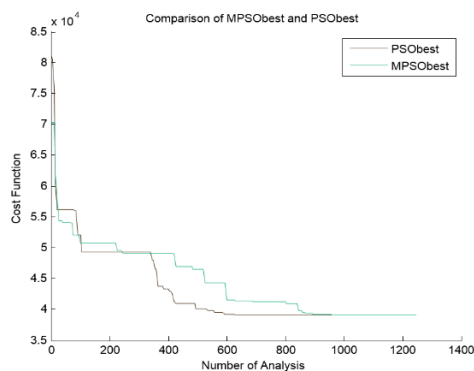
جدول ۴. جزئیات بهترین حل بدست آمده توسط الگوریتم PSO استاندارد و MPSO با حل بدست آمده توسط کاوه و سبزی (۲۰۱۱)

Element		Sectional dimensions		Reinforcement		Sectional dimensions		Reinforcement		Sectional dimensions		Reinforcement	
		Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment
Beam	B1	300	500	3-D19	5-D22	300	450	8-D19	6-D22	300	500	4-D19	5-D22
	B2	300	500	4-D19	5-D22	300	500	4-D19	5-D22	300	500	4-D19	5-D22
Column	C1	350	350	8-D25		300	300	6-D25		300	300	6-D25	
	C2	300	300	6-D25		300	300	4-D25		300	300	4-D25	
Frame Cost (\$)				22207				21351.3444				21354.8022	
Number of structural Analysis				8500				1250				1250	

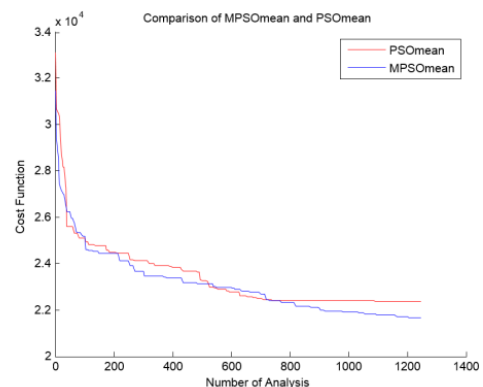
جدول ۵. نتایج نهایی بدست آمده از الگوریتم PSO اصلاح شده در تحقیق حاضر برای قاب چهار طبقه بتن آرمه

Cost (\$)			
Best	Worst	Average	STD
21351.3444	21934.8979	21639.2175	272.5676

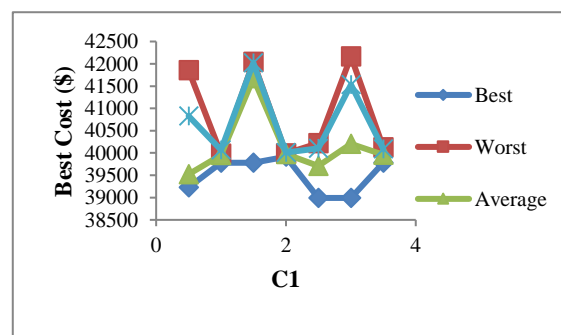
در جدول ۵، نتایج بدست آمده برای حل بهینه قاب چهار طبقه با استفاده از الگوریتم PSO استاندارد، MPSO و حل بدست آمده توسط کاوه و سبزی (۲۰۱۱)، بصورت یکجا گزارش شده است.



شکل ۱۵: تاریخچه همگرایی در الگوریتم اصلاح شده MPSO و الگوریتم PSO برای طرح بهینه قاب هشت طبقه



شکل ۱۴. مقایسه نتایج PSO و MPSO برای قاب چهار طبقه



شکل ۱۷- مطالعه حساسیت قاب هشت طبقه

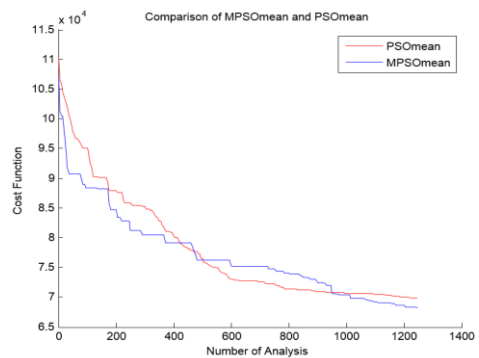
جدول ۶. جزئیات بهترین حل بدست آمده توسط الگوریتم PSO استاندارد و MPSO با حل بدست آمده توسط کاوه و سبزی (۲۰۱۱)

Element		Kaveh and Sabzi [3]				MPSO				PSO			
		Sectional dimensions		Reinforcement		Sectional dimensions		Reinforcement		Sectional dimensions		Reinforcement	
Type	Group	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment
Beam	B1	300	500	3-D19	6-D22	300	450	2-D19	2-D22	300	450	2-D19	2-D22
	B2	300	500	3-D19	6-D22	300	450	2-D19	2-D22	300	450	2-D19	2-D22
	B3	300	500	3-D19	5-D22	300	450	2-D19	2-D22	300	450	2-D19	2-D22
Column	C1	400	400	8-D25		300	300	4-D25		300	300	4-D25	
	C2	500	500	8-D25		350	350	6-D25		350	350	6-D25	
	C3	350	350	8-D25		300	300	4-D25		300	300	4-D25	
	C4	350	350	8-D25		300	300	4-D25		300	300	4-D25	
Frame Cost (\$)				48514				38978.5263				38991.4714	
Number of structural Analysis				52500				1250				1250	

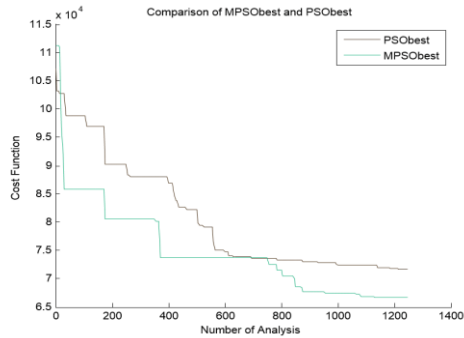
جدول ۷ به ارائه نتایج حاصل از مطالعه حساسیت در حل بهینه قاب هشت طبقه سه دهانه بتن آرمه می پردازد. جزئیات کامل از مشخصات این جدول و مقادیر ارائه شده در ردیفها و ستونهای مختلف آن در مورد این جدول آمده است و خواننده می تواند برای اطلاعات بیشتر به توضیحات مربوط به قاب چهار طبقه مراجعه نماید.

جدول ۷. مطالعات حساسیت قاب هشت طبقه (بر حسب دلار)

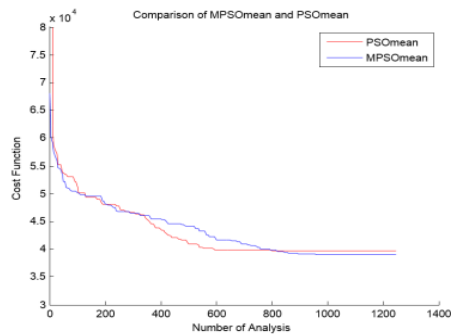
		Cost (\$)			
C1	C2	Best	Worst	Average	STD
0.5	3.5	39225.625	41857.705	39522.427	1308.667
1	3	39780.014	39981.612	39951.959	112.7565
1.5	2.5	39780.014	42043.373	41676.943	344.598
2	2	39915.225	39991.471	39976.221	34.0996
2.5	1.5	38991.471	40217.553	39709.219	398.3062
3	1	38991.471	42164.087	40207.263	1328.872
3.5	0.5	39780.014	40126.683	39960.973	126.6484



شکل ۱۶. تاریخچه همگرایی در الگوریتم اصلاح شده MPSO برای طره بهینه قاب هشت طبقه



شکل ۱۸. تاریخچه همگرایی در الگوریتم اصلاح شده MPSO برای طرح بهینه قاب دوازده طبقه



شکل ۱۹. مقایسه نتایج PSO و MPSO برای قاب دوازده طبقه

جدول ۸. نتایج نهایی به دست آمده از الگوریتم PSO اصلاح شده در تحقیق حاضر برای قاب هشت طبقه

Cost (\$)			
Best	Best	Best	Best
38978.5263	38978.5263	38978.5263	38978.5263

جدول ۹ به ارائه نتایج حاصل از مطالعه حساسیت در حل بهینه قاب هشت طبقه سه دهانه بتن آرمه می پردازد. جزئیات کامل از مشخصات این جدول و مقادیر ارائه شده در ردیفها و ستونهای مختلف آن در مورد این جدول آمده است و خواننده می تواند برای اطلاعات بیشتر به توضیحات مربوط به قاب چهار طبقه مراجعه نماید

جدول ۹. مطالعه حساسیت قاب دوازده طبقه (بر حسب دلار)

		Cost (\$)			
C1	C2	Best	Worst	Average	STD
0.5	3.5	68010.14	73468.233	69152.735	1233.674
1	3	68380.553	74454.631	68557.985	4297.805
1.5	2.5	67768.782	73290.324	68051.466	3792.945
2	2	69415.285	69667.72	69569.95	1790.227
2.5	1.5	67664.023	71586.011	69832.153	1726.033
3	1	68629.573	72234.603	69586.07	2269.1452
3.5	0.5	68285.707	70717.877	69921.034	774.989

جدول ۱۰. نتایج نهایی بدست آمده از الگوریتم PSO اصلاح شده در تحقیق حاضر برای قاب دوازده طبقه بتن آرمه

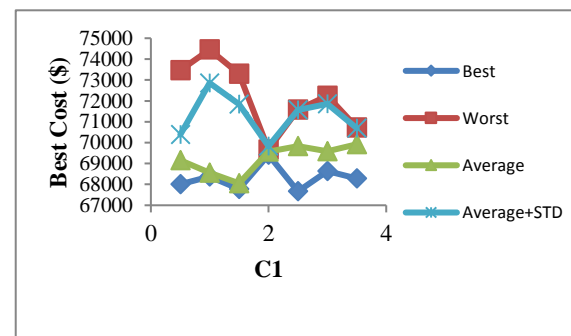
Cost (\$)			
Best	Worst	Average	Average+std
66665.5353	701307506	68101.8642	1103.652

جدول ۱۱. جزئیات بهترین حل بدست آمده توسط الگوریتم PSO استاندارد و MPSO با حل بدست آمده توسط کاوه و سبزی (۲۰۱۱)

Element		Kaveh and Sabzi [3]				MPSO				PSO			
		Sectional dimensions		Reinforcement		Sectional dimensions		Reinforcement		Sectional dimensions		Reinforcement	
Type	Group	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment	Width (mm)	Depth (mm)	Positive moment	Negative moment
Beam	B1	350	550	3-D19	7-D22	350	550	3-D19	4-D22	300	450	3-D19	5-D22
	B2	350	550	3-D19	6-D22	300	500	4-D19	3-D22	300	450	3-D19	3-D22
	B3	350	550	3-D19	5-D22	300	450	2-D19	2-D22	300	450	2-D19	2-D22
Column	C1	500	500	8-D25		300	300	4-D25		700	700	14-D25	
	C2	650	650	10-D25		500	500	12-D25		450	450	8-D25	
	C3	450	450	8-D25		300	300	4-D25		300	300	4-D25	
	C4	500	500	10-D25		400	400	6-D25		350	350	8-D25	
	C5	350	350	6-D25		300	300	4-D25		300	300	4-D25	
	C6	400	400	4-D25		300	300	4-D25		300	300	4-D25	
Frame Cost (\$)				83250				66665.5353				67664.0226	
Number of structural Analysis				64500				1250				1250	

عملکرد الگوریتم MPSO نزدیک به بهترین عملکرد مشاهده شده از PSO است و در اکثر موارد از آن بهتر شده است ولی اختلاف چشمگیر نیست.

ارچمیت الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده MPSO نسبت به PSO، عدم نیاز آن به انجام مطالعه حساسیت می باشد، بطوریکه، این الگوریتم بطور خودکار و بدون نیاز به تنظیم پارامترهای C1 و C2 از بهینه های محلی عبور می کند، این در حالی است که در الگوریتم PSO، لازم است کاربر یک مطالعه حساسیت گسترده انجام دهد. این موضوع در مسائل حل شده در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد، بطوریکه، برای ترکیبهای مختلف C1 و C2، بعضا جوابها بسیار متفاوتند. در حالیکه الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده MPSO نیاز به این عملیات اضافی و در نتیجه صرف وقت و هزینه نداشته و بطور خودکار و بدون نیاز به تنظیم C1 و C2، بهینه کلی را بدست می آورد.



شکل ۲۰. مطالعه حساسیت قاب دوازده طبقه

جمع بندی و نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از مقایسه ها به قرار زیر است:

الگوریتم تجمع ذرات اصلاح شده MPSO قادر است مسائل بهینه سازی قابهای خمشی بتن آرمه را علی رغم کثرت متغیرهای طرح و حالتهاى مختلف ترکیب این متغیرها نسبت به هم تحلیل نموده و به جوابها قابل قبول و بهتر برسد.

تعداد گامهای لازم برای رسیدن به جواب بهینه در آن کمتر از HS است و این نشان دهنده سرعت همگرایی بهتر این الگوریتم است.

الگوریتم اصلاح شده، در تمامی حالات نسبت به الگوریتم HS که توسط Kaveh مورد استفاده قرار گرفت، بهتر عمل کرده و در تعداد تحلیلهای کمتر، جواب بهتری بدست داده است.

۱- فهرست منابع:

- [1] Kennedy J., Eberhart R., Particle Swarm Optimization, IEEE, 1942-1948, 1995.
- [2] Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary, ACI Committee 318, American Concrete Institute, American Concrete Institute, 2008 - Building - 465 pages.
- [3] A. Kaveh and O. Sabzi, A comparative study of two meta-heuristic algorithms for optimum design of reinforced concrete frames, Int. J. Civil Eng., 2011, (9): 193-206.
- [4] A. Kaveh and M. Nikbakht, Decomposition of symmetric mass-spring vibrating systems using groups, graphs and linear algebra, Communications in Numerical Methods in Engineering, No. 7, 23 (2007) 639-719.
- [5] A. Kaveh and B. Dadfar, Eigensolution for free vibration of planar frames by weighted graph symmetry, International Journal for Numerical Methods in Engineering, No. 6, 69 (2007)1305-1330.
- [6] A. Kaveh and T. Bakhshpoori, Optimum design of steel frames using Cuckoo Search algorithm with Lévy flights, Tall Buildings and Special Structures, In press, 2011.
- [7] A. Kaveh and H. Rahami, Compound matrix block diagonalization for efficient solution of eigenproblems in structural matrices, Acta Mechanica, Nos. 3-4, 188 (2007)155-166.
- [8] A. Kaveh and M. Nikbakht, Decomposition of symmetric mass-spring vibrating systems using groups, graphs and linear algebra, Communications in Numerical Methods in Engineering, No. 7, 23 (2007) 639-719.
- [9] A. Kaveh and S. Shojaee, Optimal design of scissor-link foldable structures using ant colony optimization algorithm, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 22 (2007)72-80.
- [10] A. Kaveh and B. Dadfar, Eigensolution for free vibration of planar frames by weighted graph symmetry, International Journal for Numerical Methods in Engineering, No. 6, 69 (2007)1305-1330.
- [11] A. Kaveh and M. Sayarinejad, Eigensolution of specially structured matrices with hyper-symmetry, International Journal for Numerical Methods in Engineering, No.7, 67 (2006) 1012-1043.
- [12] S. Gholizadeh and V. Aligholizadeh, Optimum design of reinforced concrete frames using bat meta-heuristic algorithm, Int. J. Optim. Civil Eng., 2013, 3(3): 483-497.
- [13] Lee C, Ahn J. Flexural design of reinforced concrete frames by genetic algorithm. J. Struct. Eng., 2003;129(6):762-774.
- [14] R. Eberhart and Y. Shi , “comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization,” the 7th annual conference on evolutionary programming, san diego,1998.
- [15] A. Kaveh and M. Shahrouzi, Simulated annealing and adaptive dynamic variable band mutation for structural optimization by genetic algorithms , Asian Journal of Civil Engineering, No.6, 7 (2006)655-674.

A Modified Particle Swarm Optimization Algorithm with Dynamic Mutation and its Application to Optimal Design of Reinforced Concrete Moment Frames

Ahmad Maleki

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

Siamak Alizad

Master of Science in Civil Engineering-Earthquake, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

Abstract

The main purpose of the current research is to develop a new mechanism that makes PSO to work better. Optimization is a tool to find the best solution of a multi-modal problem. Nowadays engineers and designers are looking for optimal designs due to restriction of resources. Recently many optimization algorithms have been developed to tackle complex problems, such as Particle Swarm Optimization (PSO). This algorithm is known as a strong explorer but weak exploiter. The main problem is many internal parameters to be tuned. So that users should achieve a set of sensitivity analyses to adjust them for the problem at hand, but in the mean time the obtained values may not proper for other problems.

In the present work, in order to overcome this shortcoming, a mutation mechanism as an important element of genetic algorithm is implemented in PSO. Each particle in the optimization process is assigned with a random number, then, as the procedure goes on, the random number of each individual is compared with a threshold and if it is smaller than the threshold, the particle gets mutated. This new algorithm entitled as modified particle swarm optimization (MPSO). Three reinforced concrete MRF optimum design problems are solved by MPSO, PSO and results compared together with another research results based on HS algorithm. Studying the results show that MPSO compared with adjusted PSO by sensitivity analysis and HS, not only brings to better solutions, but it also does not need to any manual adjustment by sensitivity analysis.

Keywords: Optimization, Adaptive Particle Swarm Optimization, RC MRFs.