٩٢١٧٧

مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن

پژوهشکده ساختمان ومسکن

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی زلزله

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

بهینه سازی قابهای خمشی مستوی به کمک الگوریتم ژنتیکی

۱۳۸۷ /۵/ ۱۴

استاد راهنما:

دکتر علی کاوه

دانشجو:

امین عبدی تهرانی

زمستان ۸۱

۹۶۱۷۷

بسمه تعالی

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
پژوهشکده ساختمان و مسکن

تاییدیه هیات داوران

آقای امین عبدی تهرانی پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۶ واحدی خود را با عنوان «طراحی بهینه قاب‌های مستوی با استفاده از روش نیروها و الگوریتم ژنتیکی» در تاریخ ۱۳۸۱/۱۱/۲۹ ارایه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران با گرایش مهندسی زلزله پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضا
۱- استاد راهنما	آقای دکتر علی کاوه	
۲- استادان ممتحن	آقای دکتر	
	آقای دکتر	
۳- مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی):	آقای دکتر	

۱۳۸۷/۱۵/۱۳

کلیه حقوق اعم از چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس برای
پژوهشکده ساختمان و مسکن محفوظ است.

تقدیم به همسرم

قدردانی و تشکر

بدین وسیله از همه کسانیکه در تهیه این پایان‌نامه مرا یاری کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم. به ویژه از استاد گرامی جناب آقای دکتر کاوه که در تکمیل هر مرحله از کار از راهنایی‌های مؤثر و راهگشای ایشان بهره‌مند شده‌ام، کمال تشکر و سپاس را دارم. از آقای مهندس کوشا و همکاران ایشان در مرکز کامپیوتر و خانم صادقی و همکاران ایشان در کتابخانه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن سپاسگزارم. از سرکار خانم بصیری و سرکار خانم بهاریان سپاسگزارم که در تمام مراحل تحصیل اینجانب در پژوهشکده ساختمان ومسکن زحمات بسیاری را متحمل شدند.

چکیده

در این پایان‌نامه بهینه سازی قابهای خمشی مستوی، توسط الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفته است. در روش ارائه شده ابتدا سازه مورد نظر تحلیل می‌شود و سپس مرحله طراحی بهینه آن انجام می‌گردد. روش بکار گرفته شده برای تحلیل، روش نیروهاست و روش بهینه‌یابی الگوریتم ژنتیک می‌باشد. روش نیروها از این جهت مورد توجه است که ماتریس‌های لازم برای تحلیل سازه به خصوصیات مکانیکی بستگی ندارد وبدون تغییر در مراحل تکرار الگوریتم ژنتیک به کار می‌رود. علاوه براین در روش نیروها درجه نامعینی استاتیکی مطرح است که در قیاس با درجه نامعینی کنماتیکی عموماً مقدار کمتری دارد و سرعت پردازش بالاتری رامهیا می‌سازد. الگوریتم ژنتیک نیز از آن جهت مورد توجه است که در بهینه‌یابی مسائل غیر پیوسته ابزاری توانا می‌باشد. الگوریتم ژنتیک با ایجاد تصادفی نسل اول و سپس تعیین شایستگی و امتیازدهی، پیوند وجهش اعضا انجام شده و سپس نسل بعدی را ایجاد می‌کند. این فرآیند به تعداد لازم تکرار می‌شود. الگوریتم ژنتیک علیرغم ماهیت تصادفی، نقاط بهینه را پیدا می‌کند.

در فصل اول روشهای بهینه‌یابی ارائه شده است. فصل دوم به توضیح روش نیروها در قابها و اهمیت تئوری گرافها در روش نیروها می‌پردازد. در فصل سوم الگوریتم ژنتیک مطرح شده است و فصل چهارم به مقایسه بین چند روش و نتایج آنها اختصاص یافته است.

فهرست

۱- بهینه یابی وروش‌های آن **۱**

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ روشهای بهینه یابی ۲

۱-۲-۱ روش شمارشی ۲

۱-۲-۲ روش محاسباتی ۲

۱-۲-۳ روشهای تصادفی ۴

۱-۳ مقایسه اجمالی روشهای بهینه یابی ۵

۱-۴ پیشینه الگوریتم ژنتیک ۶

۲- روش نیروها برای تحلیل قابها **۸**

۲-۱ کلیات ۸

۲-۲ تعاریفی از گرافها ۱۲

۲-۲-۱ گرافها ۱۲

۲-۲-۲ چرخه در گراف ۱۲

۲-۲-۳ درخت ۱۲

۲-۲-۴ مجموعه پایه‌ای چرخه‌ها ۱۳

۲-۳ چگونگی تشکیل ماتریس‌های B_0 و B_1 ۱۴

۲-۴ مثال ۱۶

۳- الگوریتم ژنتیک **۲۰**

۳-۱ مقدمه ۲۰

۳-۲ نحوه عمل الگوریتم ژنتیک ۲۲

۳-۲-۱ تشکیل نسل اول ۲۲

۳-۲-۲ ارزش‌گذاری افراد یک نسل ۲۳

۳-۲-۳ امتیازدهی ۲۳

۳-۲-۴ انتخاب طبیعی ۲۳

۳-۲-۵ پیوند و جهش ۲۳

۳-۳ یک مثال ۲۴

۳-۴ چگونگی ساز وکار الگوریتم ژنتیک ۲۷

۳-۵ پیوند و الگوها ۳۲

۳-۶ پیوند با دو نقطه ۳۳

۳-۷ تئوری الگوها ۳۴

۳-۸ همگرایی زودرس ۳۶

۳-۹ محدودیتهای تئوری الگوها ۳۷

۳-۱۰ توابع برازندگی و جریمه ۳۸

۳-۱۱ دو روش برای انتخاب طبیعی ۴۰

٤- نتایج عددی **٤١**

۴-۱ الگوریتم برنامه کامپیوتری ۴۱

۴-۲ تابعهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیکی حاضر ۴۳

۴-۳ مثالهای حل شده ۴۵

نتیجه‌گیری **٦٢**

پیوست ۱ پروفیلهای مورد استفاده **٦٤**

پیوست ۲ نرم‌افزار تحلیل و طراحی ۶۷

مراجع ۱۱۱

فصل اول

بهینه یابی وروش‌های آن

۱-۱ مقدمه

در سالهای اخیر با توجه به کاهش منابع طبیعی بشر مانند انرژی یا مواد معدنی نظیر آهن اهمیت استفاده مناسب از این محصولات خدادادی به طور روز افزون افزایش یافته است. در رشته‌های مختلف مهندسی نیزارزش بسیاری برای بهترین طریقه مصرف و روشهای یافتن بهترین طرحها از این محصولات قائل شده اند.

بنابراین می توان گفت که نتیجه بهینه‌یابی در علوم مهندسی یافتن طرحی است که در ضمن ارضا اهداف موردنظر کمترین مقدار منابع طبیعی مانند انرژی یا فولاد را داشته باشد. در مهندسی سازه نیز تمام تلاش براین قرار می‌گیرد که سازه‌ای با ایمنی کافی وکمترین مقدار مصالح سازه‌ای طراحی شود.

بهینه‌یابی دارای دو بخش است: ۱-فرآیند پیشرفت ۲-نقاط بهینه.

فرآیند پیشرفت چگونگی رسیدن به نقاط بهینه را در بردارد و براین اساس روشهای متفاوت برای بهینه‌یابی وجود دارد:

۱- روشهای شمارشی: که اساس آنها بر شمارش است.

۲- روشهای محاسباتی: که از روشهای سعی وخطا یا صفر کردن گرادیان تابع استفاده می‌کند.

۳- روشهای تصادفی: که از قوانین احتمالاتی بهره می‌گیرد.

انتخاب هریک از این روشها بستگی به سرعت همگرایی آن روش در حل یک مساله خاص دارد. در ادامه این فصل شرح مختصری برای هرکدام از این روشها ارائه می‌شود.

نقاط بهینه جواب یا جوابهای روش بهینه‌یابی است، ولی نکته مهم در ان مورد این است که باید توجه داشته باشیم که رسیدن به بهترین جواب همیشه مقدور نیست و در مسائل پیچیده نزدیک شدن به جواب کلی (global) نیز قابل قبول است. در چنین مسائلی بهبود روش بهینه‌یابی برای نزدیکتر شدن به بهینه کلی و همچنین افزایش سرعت همگرایی همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است.

۱-۲ روشهای بهینه یابی

۱-۲-۱ روش شمارشی: همانطور که از اسم این روش برمی‌آید روش شمارشی مبتنی بر مقایسه تک به تک اعضای یک مجموعه است؛ مثلاً برای پیدا کردن بلندقدترین دانش‌آموز یک کلاس کافی است که یک به یک آنها را با هم مقایسه کنیم. بنابراین می‌توان گفت این روش برای مسائلی کاربرد دارد که تعداد متغیرها کم باشد.

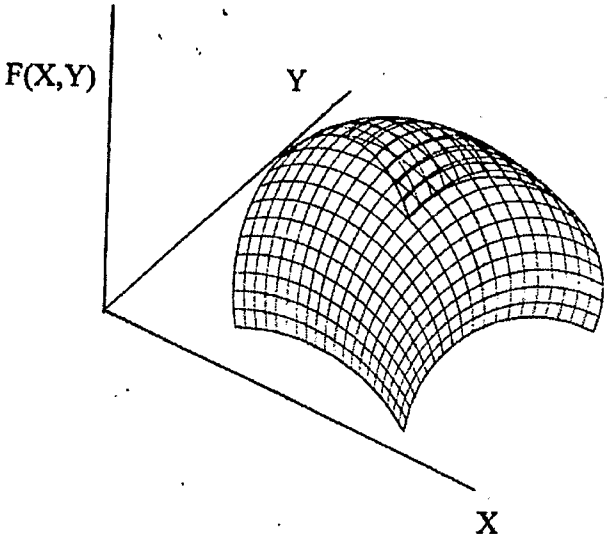
۱-۲-۲ روش محاسباتی: در این روش، مطلوب بدست آوردن یک بردار n متغیره از پارامترهای طراحی است $X = X(x_1, x_2, x_3, ..., x_n)$ که تابع مصرف f(X) را تحت شرایط K معادله و m نامعادله به صورت زیر کمینه کند:

$$h_i(X) = h_i(x_1, x_2, ..., x_n) = 0 \qquad (۱-۱)$$

$$g_j(X) = g_j(x_1, x_2, ..., x_n) \leq 0 \qquad (۱-۲)$$

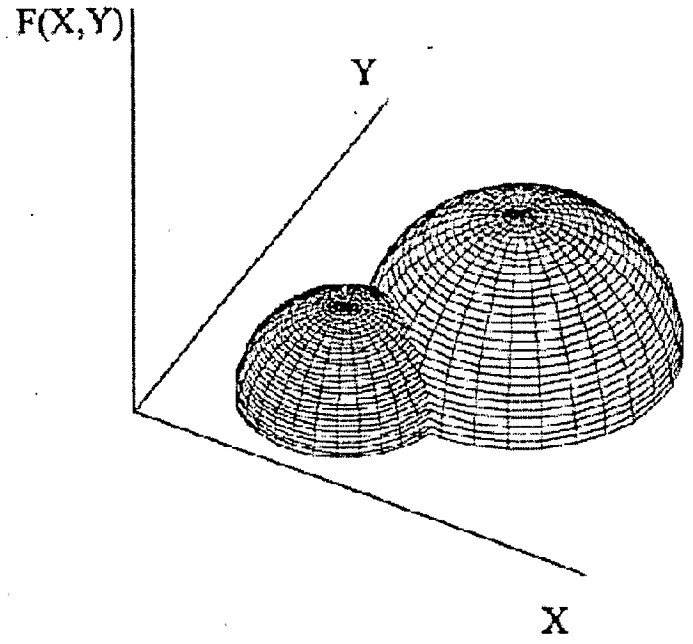
برای بهینه یابی از روش غیر مستقیم و روش مستقیم می‌توان استفاده کرد. در روش غیر مستقیم نقاط غیر موضعی با استفاده از حل معادلات غیر خطی که از مساوی صفر قرار دادن گرادیان تابع f(X) بدست آمده است پیدا می‌شود. در روش مستقیم یک فرض اولیه از مقدار X تخمین زده می‌شود وسپس با استفاده از سعی وخطا مقدار X که بتواند تابع f(X) را کمینه یا بیشینه کند محاسبه می‌گردد.

در این روش نقاط بیشینه یا کمینه محلی باعث ایجاد پاسخهای دور از جواب بهینه کلی می‌شود و علاوه براین همیشه یک تابع هموار پیوسته مورد نیاز است. برای توضیح بیشتر باید به مسائل موجود در طبیعت اشاره کرد که اصولاًدارای توابع غیرپیوسته (مانند سطح مقطع پروفیل‌های



۱-۱ تابعی با یک نقطه بحرانی.

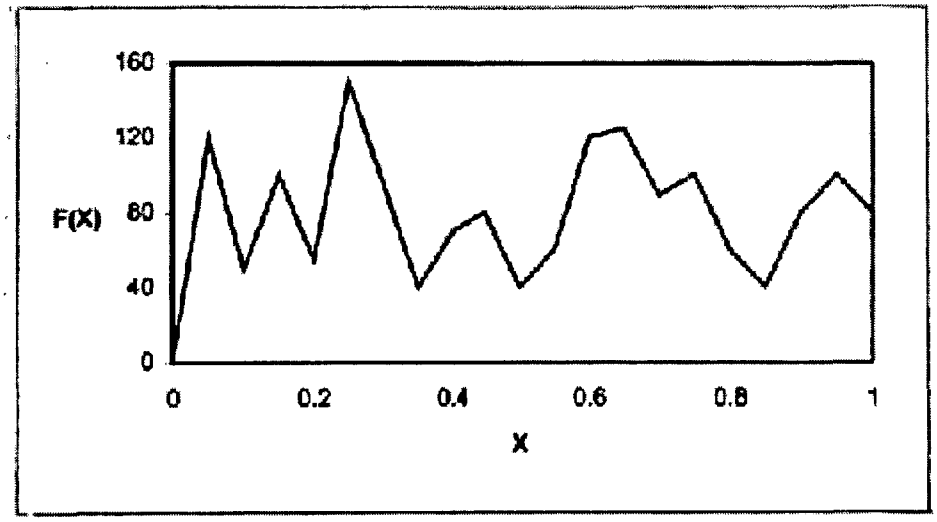
ساختمانی) و یا توابع با تغییرات قابل توجه می‌باشند. این موضوع مشتق‌گیری راغیر ممکن می‌کند و عملاً این روش کارایی خود را از دست می‌دهد. این دو ضعف روشهای محاسباتی را برای حل مسائل موجود در طبیعت غیرکارا می‌سازد.



شکل ۱-۲ تابعی با دو نقطه بحرانی.

در شکل (۱-۱) تابع هموار پیوسته با یک نقطه بحرانی نشان داده شده است. روشهای محاسباتی در چنین شرایطی کارایی لازم را دارند. در شکل (۱-۲) تابع نشان داده شده از دو نقطه بحرانی برخوردار است. چنین شرایطی کارایی روشهای محاسباتی را کاهش می‌دهد.

۱-۲-۳ روشهای تصادفی: این روش براساس انتخاب تصادفی برای رسیدن به جواب کار می‌کند. در این روشها احتمال انتخاب جوابهای نزدیک به جواب کلی افزایش می‌یابد و هرچه به جواب کلی نزدیکتر باشیم شانس بیشتری برای یافتن جواب کلی وجود دارد. برای مثال می‌توان از الگوریتم ژنتیک نام برد؛ در این الگوریتم پس از کدگذاری، متغیرهای مورد محاسبه به طور تصادفی



شکل ۱-۳ تابعی فرضی از متغیرهای طبیعی با ناپیوستگی و نقاط بحرانی متعدد .

اانتخاب می‌گردند ودر مراحل بعد با امتیازدهی، آنهایی که امتیاز کمتر دارند از گردونه رقابت حذف می‌شوند و آنهایی که دارای امتیاز بیشترند باقی می مانند. تغییرات در متغیرهای کدگذاری شده نیز به صورت تصادفی انجام می‌شود تا الگوریتم ژنتیک به جواب کلی نزدیک شود. همانطور که از این توضیح روشن است انتخاب تصادفی فقط ابزار کار روشهای تصادفی است و فرآیند پیشرفت را رهبری نمی‌کند.

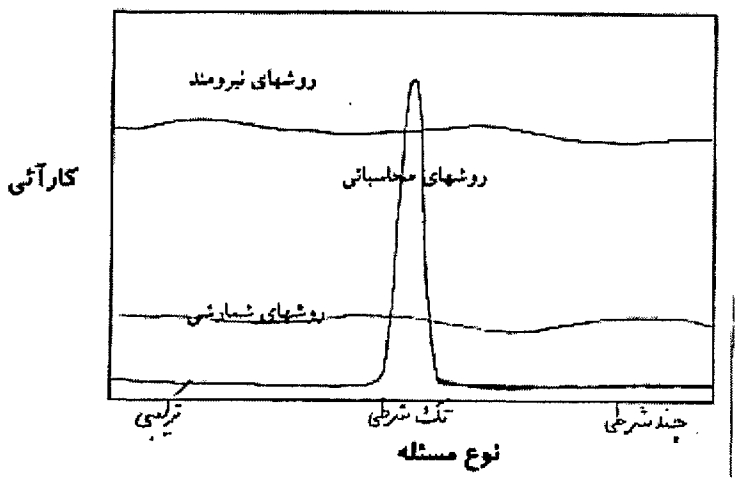
۱-۳ مقایسه اجمالی روشهای بهینه یابی

همانطور که قبلاً گفته شد روشهای شمارشی ومحاسباتی دارای محدودیتهایی هستند و به همین دلیل جزء روشهای با کارایی کم محسوب می‌شوند. به‌هرحال این به مفهوم آن نیست که این روشها بدون استفاده می‌باشند، بلکه در بسیاری از مسائل مهندسی روش‌های مناسبی محسوب می‌شوند.

نمودار کارایی این روشها در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.

روشهای شمارشی دارای کارایی کمی می‌باشند چه در مسائل چند شرطی وچه در مسائل تک‌شرطی یا ترکیبی. روشهای محاسباتی در برابر مسائل تک شرطی نیرومند هستند ولی در مقابل سایر مسائل کارایی لازم راندارند، اما باید ذکر کرد که هر روشی برای منظور خاصی طراحی می‌شود ودر شرایط مناسب، ممکن است بهترین راه حل باشند.

در الگوریتم ژنتیک تعداد شرطها مهم نیست و نقاط بحرانی موضعی نیز باعث توقف در ادامه فرآیند پیشرفت نمی‌شود، یعنی این روش در طیف وسیعی از مسائل کارایی لازم رادارد. در قسمت بعد با معرفی بیشتر این الگوریتم کارایی آنرا بیشتر بررسی می‌کنیم.



شکل ۱-٤ مقایسه روشهای بهینه‌یابی

۱-٤ پیشینه الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۵ توسط *گلدبرگ* یافت و از دهه ۸۰ بیشتر مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفت. در رابطه با بهینه سازی سازه‌ها می‌توان به کارهای *راجیو و کریشنامورثی*، جنکینز و *عادلی* اشاره کرد. *راجیو و کریشنامورثی* الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی سازه‌های مستوی به کاربردند. جنکینز نیز فضای جستجوی الگوریتم ژنتیک در سازه‌های مستوی را مورد بررسی قرار داد و بهترین تعداد اعضای یک نسل را تعیین کرد.

بررسی های دیگری در زمینه پیشرفت عملگرهای الگوریتم ژنتیک توسط *تینگ یو چن* و *چونگ جی چن* برای سازه‌های مستوی صورت گرفت و نتایج آن در سال ۱۹۹۷ منتشر گردید. در سال ۹۸ *کمپ و پزشک*، توابع برازندگی و جریمه متفاوت را برای قابهای مستوی امتحان کردند و بهترین آنرا مشخص کردند. در سال ۲۰۰۱ *گوت کووسکی و ایوانف* نوع خاصی از عملگر جهش را مطرح کردند و در سال ۲۰۰۲ *کاوه و کلات جاری* تابع جریمه دینامیک و جستجوی محلی را به عنوان روشی برای بهتر کردن جوابهای الگوریتم ژنتیک ارائه دادند.

در فصل بعد فرمولبندی روش نیروها برای تحلیل قابها ارائه شده و در ادامه تئوری گرافها و کاربرد آنها در روش نیروها ارائه می‌شود. در فصل سوم، الگوریتم ژنتیک و تغییرات آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در فصل پایانی نتایج عددی و مثالها ارائه شده است.

فصل دوم

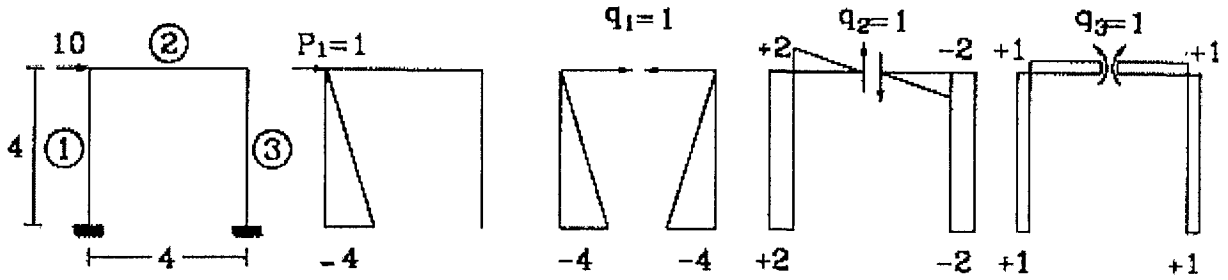
روش نیروها برای تحلیل قابها

در روش نیروها مجهولات، نیروی داخلی اعضای یک سازه می‌باشد. این روش توسط *آرجایرس* و *کلسی* پایه‌گذاری شد و از سال ۱۹۶۰ به طور گسترده مورد استفاده مهندسان قرار گرفته است. توسعه بیشتر آن توسط *هندرسن* و *کاسل* و *دنکه* و *فلیپا* و *کاوه* صورت گرفت و با پیدایش کامپیوترهای دیجیتالی هرچه بیشتر به کار گرفته شد. با این وجود، توانایی‌های روش نیروها در مسائل بهینه‌یابی و یا تحلیل غیر خطی نادیده گرفته شده است.

۲-۱ کلیات

این روش به تعداد درجات نامعینی استاتیکی از نیروهای داخلی یا عکس‌العملهای تکیه‌گاهی به عنوان مجهولات اضافی انتخاب می‌کند. سپس با حذف قیود مربوط به مجهولات اضافی، سازه اصلی را از حالت نامعین استاتیکی به حالت معین استاتیکی تبدیل می‌کند.

برای مثال در شکل زیر اگر نیروهای داخلی q_1, q_2, q_3 به عنوان مجهولات اضافی انتخاب شوند، پس از حذف قیود مربوطه قاب مفروض از حالت سه درجه نامعین استاتیکی به سازه‌ای معین استاتیکی تبدیل می‌شود که علاوه بر نیروی خارجی که به آن وارد شده است، سه نیروی مجهول q_1, q_2, q_3 بر آن اثر می‌کند.



شکل ۲-۱ یک قاب با سه درجه نامعینی استاتیکی

نیروی اعضا را در سازه نامعین می‌توان حاوی دو قسمت در نظر گرفت. قسمت اول حاوی نیروهای خارجی وقسمت دوم حاوی نیروهای حاصل از مجهولات اضافی می‌باشد. رابطه زیر از برهمنهی این دو قسمت، نیروهای اعضا را نتیجه می‌دهد:

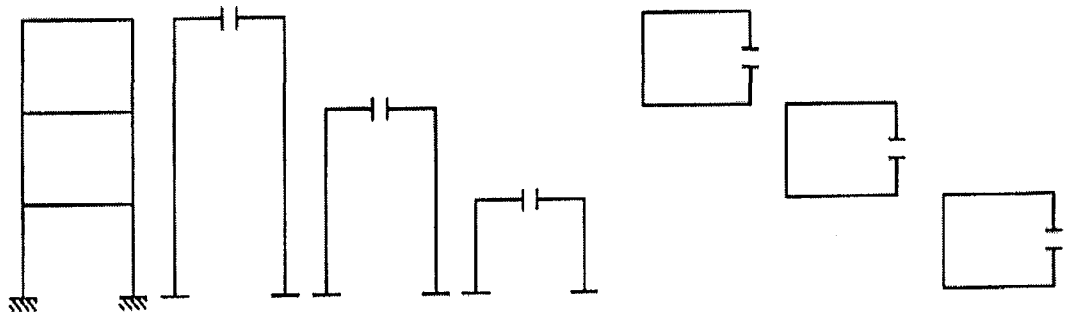
$$\mathbf{r} = \mathbf{B}_0\mathbf{p} + \mathbf{B}_1\mathbf{q} \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه $\mathbf{p}$ نشانگر بردار نیروهای خارجی وارد بر قاب، $\mathbf{q}$ بیانگر بردار مجهولات اضافی و $\mathbf{r}$ بردار نیروهای داخلی می‌باشد که هرکدام به ترتیب دارای ابعاد $3*ncycle$ (تعداد مجهولات اضافی) و $3*nl$ (nl تعداد گره های بارگذاری شده) و $3*ne$ (ne تعداد اعضای سازه) هستند.

همانطور که ملاحظه می‌شود بخش اول $\mathbf{B}_0 \times \mathbf{p}$ که حل خصوصی نامیده می‌شود، میزان تأثیر نیروهای خارجی در نیروهای داخلی اعضا را نشان می‌دهد؛ این تأثیر به کمک ماتریس $\mathbf{B}_0$ که دارای ابعاد $3*ne \times 3*nl$ است، بیان می‌شود. در واقع این قست از حل مسئله تامین کننده تعادل سازه در برابر نیروهای خارجی است. بخش دوم $\mathbf{B}_1 \times \mathbf{q}$ تأثیر نیروهای حاصل از مجهولات اضافی رانشان می‌دهد که حل مکمل نامیده می‌شود. ضرایب ماتریس $\mathbf{B}_1$ این اثر را به اعضا منتقل می‌کند. این حل از تعادل در هر مجموعه مستقل به تعداد درجه نامعینی از سیستمهای خود متعادل می‌تواند

بدست آید. برای نمونه می‌توان قاب سه طبقه شکل (۲-۲) را در نظر گرفت. در این قاب دو مجموعه از سیستمهای خود متعادل نشان داده شده‌اند که هردو می‌تواند برای حل مکمل به کار گرفته شود، ولی باید توجه داشت که سیستمی که دارای سیکلهای کوتاهتر است منجر به ماتریس نرمی پر صفرتری خواهد شد[1].

در واقع روش نیروها با برهمنهی اثرات نیروهای خارجی و نیروهای مربوط به مجهولات اضافی نتیجه میشوند.



شکل ۲-۲ قاب سه طبقه با دو مجموعه از چرخه‌های مستقل

برای قاب شکل (۲-۱) ماتریسهای $\mathbf{B}_0$ و $\mathbf{B}_1$ به صورت زیر بدست می‌آیند:

در گام بعد روش نیروها از سازگاری تغییر شکلها در محل مجهولات اضافی کمک می‌گیرد و نیروهای داخلی را بدست می‌آورد.

تغییرشکل هر عضو را می‌توان از حاصلضرب نرمی عضو در مقدار نیروی داخلی آن عضو بدست

$$\mathbf{B}_0^t = \begin{bmatrix} -4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{B}_1^t = \begin{bmatrix} -4 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4 \\ 2 & 2 & 2 & -2 & -2 & -2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$