

# بهینه‌سازی کاربرد جداگرهای پی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

علی کمک پناه<sup>۱</sup>؛ سیدمجید سبزوپوشان<sup>۲\*</sup>

## چکیده

جداسازی لرزه‌ای، یک روش نسبتاً جدید مورد استفاده در ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله است که مبنای آن کاهش نیروهای وارده بر سازه، به جای افزایش ظرفیت سازه برای تحمل بارهای جانبی، است. با وجود پیشرفت‌های اخیر و تحقیقات فراوان صورت گرفته، مقایسه اقتصادی این روش با سایر روش‌ها و گرایش‌های بیش از حد محافظه کارانه‌ی آئین‌نامه‌ها، هنوز به‌عنوان موانع گسترش سراسری این فناوری به حساب می‌آیند. بنابراین در این مقاله با هدف قرار دادن بحث اقتصادی این مقوله و در نظر گرفتن وضعیت آیین‌نامه‌های موجود و توجه به مسائل کاربردی و عملی و همچنین با اعمال تغییراتی در روند متداول طراحی جداسازها و بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ای در محیط برنامه‌نویسی فرترن نوشته شده که این برنامه در حقیقت ترکیبی از برنامه طراحی جداسازها و برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک بوده و هدف اصلی آن کاهش هزینه‌های مربوط به جداسازی سازه‌ها با توجه به ملاحظات کاربردی و عملی این فناوری است. این برنامه قادر است تا بر اساس ابعاد زمین موردنظر، پلان‌های مختلف ستون‌گذاری را با در نظر گرفتن مسائل مرتبط با روسازه و همچنین مسائل اجرایی بررسی نموده و پلانی که منجر به تولید سامانه جداساز با هزینه‌ی کمتری باشد را به‌عنوان پلان پیشنهادی معرفی نماید.

## کلمات کلیدی

جداسازی لرزه‌ای، هزینه‌های اقتصادی، مدل بهینه، برنامه‌نویسی فرترن

## *Optimization Of The Base Isolators Application Using Genetic Algorithm*

A. Komak Panah and S.M. Sabzpooshan

### ABSTRACT

Quake isolation is a comparatively new method for designing earthquake-resisting buildings. Instead of increasing the resistance of the structure against lateral pressures, this method is based on reducing the pressures on it. Economic expenses comparing with other methods are against widespread application of this technology. Therefore, this paper; aiming at the economic aspects of this method, considering the present approach of the codes, focusing on this method's applicatory and practical aspects, making changes in prevailing processes of designing structures, and using optimization technology of genetic algorithm; presents a program in Fortran environment. This program is, in fact, a combination of the programs of isolation designing and that of genetic algorithm optimization, and its main goal is to reduce the expenses of isolating structures, considering the applicatory and practical aspects of this technology. Based on the dimensions of a certain site, this program is able to examine the various plans of columniation while considering the matters related to superstructure and implementation and finally suggest a plan which leads to the production of an isolation system with lower expenses.

### KEYWORDS

Quake isolation, Economical costs, FORTRAN programming, optimized model

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۸/۱۵

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۳/۲۳

<sup>۱</sup> دانشیار دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس: a-panah@modares.ac.ir

<sup>۲\*</sup> نویسنده مسئول و کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس: smajid\_sabzpooshan@yahoo.com .

هدف آیین‌نامه‌ها، کاهش هزینه سازه نبوده بلکه کنترل خسارات وارده به سازه و محتویات آن با توجه به عملکرد الاستیک سازه در زلزله‌های شدید است. از این مهم‌تر، تا زمانی که ضوابط طراحی در آیین‌نامه‌ها به شکل کنونی باقی بماند، نیازهای آیین‌نامه‌ای آنقدر محافظه کارانه است که مزایای بالقوه‌ی استفاده از جداسازی لرزه‌ای را کمرنگ می‌نماید.

به همین دلیل در این مقاله سعی شده با هدف قرار دادن بحث اقتصادی این مقوله و در نظر گرفتن وضعیت فعلی آیین‌نامه‌های موجود و توجه بیشتر به مسائل کاربردی و عملی و پرهیز از هزینه‌های قالب‌ریزی اضافی برای هر واحد جداساز، راهکارهایی برای کاهش هرچه بیشتر هزینه‌های مربوط به جداسازی سازه‌ها با عنایت به عملکرد مطلوب آنها در حین زلزله، ارائه شود تا زمینه استفاده هرچه بیشتر از این فن‌آوری در ساختمان‌های معمولی نیز فراهم شود.

برای رسیدن به این هدف، با اعمال تغییراتی در روند متداول طراحی جداسازها و با بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک روش توانمند بهینه‌سازی، برنامه‌ای در محیط برنامه نویسی فرترن نوشته شده که در حقیقت ترکیبی از برنامه طراحی جداسازها و برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک بوده و هدف اصلی این برنامه کاهش هزینه‌های مربوط به جداسازی سازه‌ها با توجه به ملاحظات کاربردی و عملی این فناوری است.

## ۲- رفتار انواع سامانه‌های جداساز

دو طرح اصلی که در طراحی‌های عملی برای استخراج عوامل مربوط به تحلیل سامانه‌های جداساز مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

### ۲-۱- مدل خطی

با استفاده از لاستیک طبیعی و مصنوعی می‌توان جداسازهایی که به‌نسبت بدون میرایی بوده و یا میرایی بسیار کمی دارند را تولید نمود.

شکل (۱) رفتار جداسازهایی که بدون میرایی و یا دارای میرایی بسیار کم هستند را نشان می‌دهد که در این شکل  $k$  سختی الاستیک جداساز بوده و در تحلیل‌ها از آن استفاده می‌شود.

اولین تحقیقات در زمینه جداسازی لرزه‌ای را می‌توان به جان مایلن<sup>۱</sup> انگلیسی نسبت داد. مایلن در زمینه تحقیقات زلزله‌شناسی آنقدر پیشتاز بود که اغلب از وی با لقب پدر زلزله‌شناسی نوین نام برده‌اند. او در دانشگاه توکیو<sup>۲</sup> نمونه‌ای از یک ساختمان جدا شده را ساخت و سپس اصلاحاتی بر روی آن انجام داد و در نهایت در سال ۱۸۸۶ گزارشی از طرح خود ارائه نمود. بعد از وی کسانی همچون جاکوب بچتولد<sup>۳</sup> در سال ۱۹۰۶ و فرانک لویدرایت<sup>۴</sup> در سال ۱۹۲۱ از ایده جداسازی برای محافظت ساختمان‌ها در برابر زلزله استفاده نمودند [۴].

نخستین مورد استفاده از یک سامانه جداساز لاستیکی برای محافظت ساختمان‌ها در برابر زمین لرزه در سال ۱۹۶۹ میلادی در ساختمان یک مدرسه ابتدایی در اسکوپیه<sup>۵</sup> یوگسلاوی سابق بوده است. در حال حاضر در کشورهای آمریکا و ژاپن استفاده از جداسازی برای ساختن ساختمان‌های مقاوم لرزه‌ای به صورت فعالی پیگیری می‌شود که این روند با اتمام ساختمان‌های بزرگ جداسازی شده و عملکرد مطلوب آنها در برابر زلزله‌های واقعی شدت گرفته و باعث افزایش تعداد درخواست‌های استفاده از این فناوری در ساختمان‌های مسکونی نیز شده است [۴].

پیشرفت‌های اخیر در فناوری لاستیک، ایده جداسازی پایه را تبدیل به یک واقعیت عملی نموده است. امروزه جداسازی پایه، فناوری توسعه یافته‌ای است که در بسیاری از کشورها برای کاهش خسارات ناشی از زلزله‌های بزرگ در سازه‌ها، به‌کار می‌رود [۵].

با قرار دادن ساختمان بر روی یک سامانه جداساز، از انتقال یافتن میزان زیادی از حرکات افقی زمین به سازه جلوگیری می‌شود. این عمل باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در شتاب‌های کف و جابجایی‌های بین طبقات شده و بدین وسیله از محتویات ساختمان و اجزای آن محافظت خواهد شد [۶].

مزیت دیگر جداسازی لرزه‌ای افزایش دوره اصلی ارتعاش سازه و انتقال آن به نواحی کم انرژی‌تر زلزله در طیف پاسخ است. در اثر این عمل، نیروهای ارتجاعی حداکثر، کاهش قابل ملاحظه‌ای یابند. برای رسیدن به اهداف فوق، هر سامانه جداساز از سه جزء پایه تشکیل شده است:

۱- تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر

۲- مستهلک‌کننده و یا جاذب انرژی

۳- وسیله‌ای برای فراهم آوردن صلبیت تحت بارهای جانبی

کوچک [۴].



$$D_y = \frac{Q}{k_1 - k_2} \quad (2)$$

همچنین فرکانس طبیعی  $\omega$  و دوره تناوب موثر  $T$  برابر خواهد بود با:

$$\omega = \sqrt{\frac{k_{eff} g}{W}} \quad (3)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{eff} g}} \quad (4)$$

که در این رابطه  $W$  بار قائم مربوط به طراحی ستون است.

سطح محصور شده توسط حلقه هیستریزس معادل انرژی تلف شده در یک دوره بارگذاری و باربرداری بوده و از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$W_o = 4Q(D - D_y) \quad (5)$$

مقدار میرایی موثر،  $\beta_{eff}$  به ازای  $D \geq D_y$  نیز به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود:

$$\beta_{eff} = \frac{\text{سطح زیر حلقه هیستریزس}}{2\pi k_{eff} D^2} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi k_{eff} D^2} \quad (6)$$

دو عامل ضریب غیرخطی بودن ( $NL$ ) و درجه جداسازی ( $I$ ) نیز بر اساس طرح دو خطی ارائه شده در شکل (۲) به صورت رابطه (۷) بیان می‌شوند:

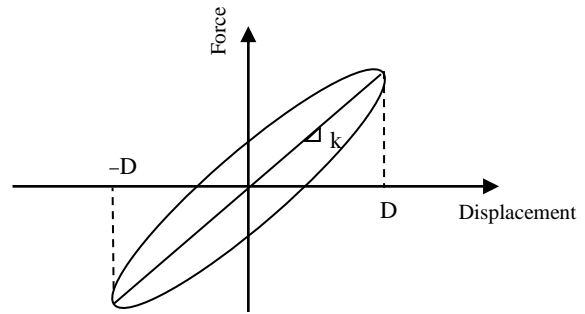
$$NL = \frac{F_y}{F_{max}} - \frac{D_y}{D} \quad (7)$$

$$I = \frac{T_{(b_1)}}{T_{(u_1)}} \quad (8)$$

که در این رابطه  $T_{(b_1)}$  زمان تناوب سازه جداسازی شده در حالت اول الاستیک و  $T_{(u_1)}$  زمان تناوب همان سازه با پایه ثابت است [۵].

سامانه‌های هیستریزس دوخطی که دارای جداسازی الاستیک خوب و میزان غیرخطی بودن متوسط هستند را می‌توان به عنوان یک دسته مرجع در نظر گرفت. در بسیاری از موارد کاربردی، این دسته، طرحی منطقی برای رسیدن به برش پایه کم، تغییر مکان جداگر کوچک همراه با طیف پاسخ کف کم تا متوسط را ارائه می‌دهند. این نوع جداسازی می‌تواند توسط تکیه‌گاه‌های سربی-لاستیکی تامین شود [۵].

در این تحقیق، نشیمن‌های الاستومری با هسته سربی<sup>۹</sup> (LRB) که از آنها در بسیاری از موارد کاربردی در سطح جهان استفاده شده و عملکرد مطلوب آنها در زلزله‌های واقعی ارزیابی و مواردی مثل جزئیات نصب و طراحی آنها نیز به

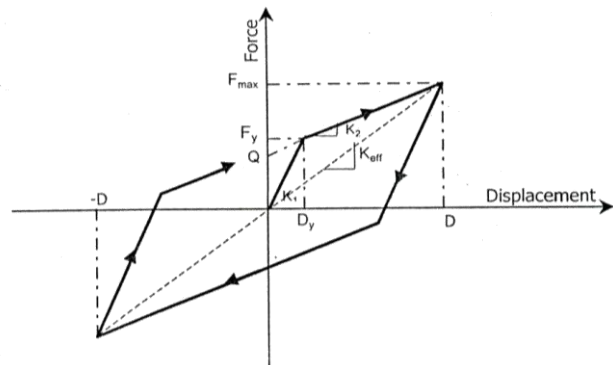


شکل (۱): عوامل‌های بیانگر جداسازهای خطی

## ۲-۲- مدل دو خطی

رفتار سایر ایزولاتورها را که شامل نشیمن‌های با هسته سربی و لاستیک طبیعی با میرایی بالا و سامانه‌هایی که از اعضای اصطکاکی استفاده نمایند می‌توان به صورت سامانه‌هایی دوخطی در نظر گرفت. یعنی می‌توان آنها را توسط حلقه‌های هیستریزس نیرو-تغییر مکان به صورت متوازی‌الاضلاع فرض نمود.

همانطور که در شکل (۲) دیده می‌شود تمام سامانه‌های دوخطی بر اساس ۳ عامل  $Q$ ،  $K_1$  و  $K_2$  مدل‌سازی می‌شوند. عامل  $K_1$  سختی الاستیک<sup>۱۰</sup>،  $K_2$  سختی پس از تسلیم<sup>۱۱</sup> و  $Q$  مقاومت مشخصه جداساز<sup>۱۲</sup> هستند که به سادگی از روی نمودارهایی که از نتایج آزمایش‌های دینامیکی بر روی نمونه‌ها حاصل می‌شوند، به دست می‌آیند.



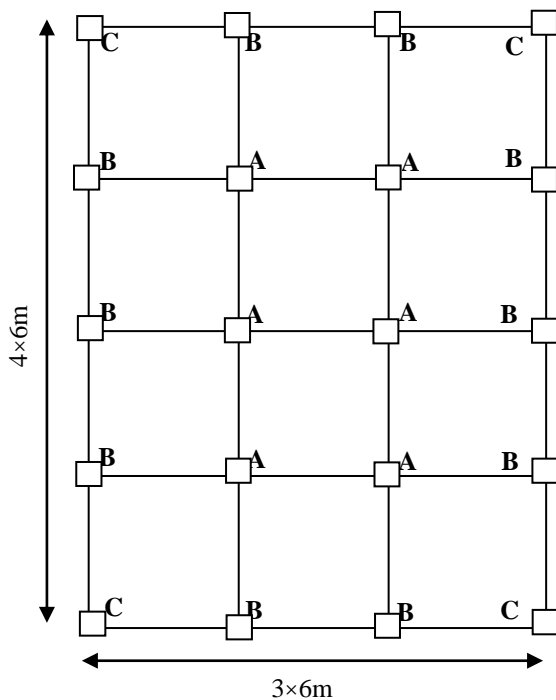
شکل (۲): عامل‌های بیانگر جداسازهای دو خطی

عامل سختی موثر،  $K_{eff}$  به صورت شیب خط گذرنده از نقاط اوج حلقه هیستریزس تعریف می‌شود. مقدار سختی موثر را می‌توان برحسب عامل‌های پایه  $K_1$ ،  $K_2$ ،  $Q$  و با توجه به روابط هندسی حاکم، به صورت زیر نوشت:

$$k_{eff} = k_2 + \frac{Q}{D} \quad D \geq D_y \quad (1)$$

که در آن  $D_y$  تغییر مکان حد تسلیم ایزولاتور بوده و از رابطه (۲) به دست می‌آید.

دهانه‌ها ۶ متر بوده است که این، خود مزیت ساختمان‌های ایزوله را نسبت به ساختمان‌های با پایه ثابت در ارتباط با کاهش محدودیت‌های معماری بیان می‌نماید.



شکل (۳): طرح مورد مطالعه و محل قرارگیری جداسازها

این ساختمان‌ها همگی دارای سامانه قاب مقاوم خمشی بوده و ارتفاع طبقات در آنها ۲/۲ متر است. بار زنده و مرده طبقات به ترتیب ۲۰۰ و ۶۵۰ کیلوگرم بر متر مربع بوده و برای محاسبه وزن هر طبقه که در تحلیل استاتیکی و دینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد ۲۵ درصد بار زنده به بار مرده افزوده شده است. سامانه‌های جداساز مورد بررسی در این طرح‌ها براساس بار قائم ستون و روش معادل استاتیکی طراحی شده‌اند. برای این منظور ستون‌های هر ساختمان به نوع ۳، نوع A، B و C تقسیم‌بندی شده‌اند. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، ستون‌های نوع A، همه ستون‌های وسط، ستون‌های نوع B همه ستون‌های کناری و ستون‌های نوع C، ستون‌های گوشه ساختمان را شامل می‌شوند. بدین ترتیب سامانه ایزوله هر طرح دارای ۶ عدد ایزولاتور نوع A، ۱۰ عدد ایزولاتور نوع B و ۴ عدد ایزولاتور نوع C است.

### ۳-۲- تعیین عوامل لرزه‌ای

برای طراحی سامانه جداساز، لازم است تا عوامل لرزه‌ای مورد نیاز از آیین‌نامه استخراج شوند. این عوامل به نحوی انتخاب شده‌اند که با عوامل موجود در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران

خوبی شناخته شده، انتخاب و طراحی‌ها و نتیجه‌گیری‌ها بر اساس این نوع جداگر انجام شده است. این نشیمن‌ها، شرایط تکیه‌گاهی لازم برای سازه، انعطاف‌پذیری افقی و میرایی را مجموعاً در یک واحد که نصب آن نیز آسان است تامین نمایند.

### ۳- طراحی و تحلیل سامانه‌های جداساز

برای ارائه یک الگوی بهینه و مناسب از نظر فنی و اقتصادی برای کاربرد جداگرهای پی، ابتدا باید روش متداول طراحی جداسازها و آیین‌نامه‌های مورد استفاده در این رابطه مورد بررسی قرار گیرد تا براساس نتایجی که به دست می‌آید وضعیت آیین‌نامه‌های موجود و چگونگی اعمال تغییرات در روند متداول طراحی جداسازها، مشخص شود. با توجه به این مطالب، در این تحقیق ابتدا بر اساس روش‌های متداول طراحی، جداسازها برای یک دسته از سازه‌ها طراحی و ارزیابی شده که در ادامه این فرایند تشریح می‌شود.

#### ۳-۱- فرایند طراحی سامانه‌های جداساز

فرایند طراحی یک سامانه جداساز معمولاً با طراحی اولیه آن شروع می‌شود که برای این منظور از عامل‌های موجود در پژوهش‌های قبلی و یا از داده‌های ارائه شده به وسیله سازنده جداسازها استفاده می‌شود. در این پژوهش از نتایج آزمایش‌های انجام شده برای چند پژوهش بزرگ در ژاپن از جمله ساختمان‌های اداری TPC استفاده شده است. این نتایج که توسط کلی<sup>۱۰</sup> ارائه شده‌اند [۸] در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): عوامل مکانیکی سامانه‌های LRB

| G1<br>(Kg/cm2) | G2<br>(Kg/cm2) | $\tau_Y$<br>(Kg/cm2) | $\gamma_Y$<br>(%) | G2/G1  |
|----------------|----------------|----------------------|-------------------|--------|
| ۳۶             | ۶              | ۳/۶                  | ۱۰                | ۰/۱۶۶۷ |

در جدول فوق  $G_1$  و  $G_2$  به ترتیب مدول برشی جداساز قبل و پس از تسلیم  $\tau_y$  و  $\gamma_y$  تنش برشی و کرنش برشی در حالت تسلیم است. با توجه به اینکه بیشترین استفاده از مزایای جداسازی لرزه‌ای در ساختمان‌های با ارتفاع کم تا متوسط (یعنی سازه‌هایی که دارای دوره ارتعاشی کوتاه هستند)، است بنابراین در این تحقیق، سازه‌های با تعداد طبقات ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه و با پلان ۱۸×۲۴ متر مربع انتخاب شده و طراحی سامانه‌های جداساز برای آنها بر اساس ضوابط و معیارهای آیین‌نامه UBC-97 انجام شده است. انتخاب این اندازه‌ها برای مورد مطالعه به این دلیل است که طبق بررسی‌های انجام شده بر روی ساختمان‌های ایزوله، در بیشتر موارد، حداقل طول

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma} \quad (11)$$

۵- محاسبه سطح موردنیاز جداساز  $A$  با توجه به رابطه:

$$A = \frac{kt_r}{G} \quad (12)$$

که در آن  $G$  مدول برش جداساز در کرنش برشی  $\gamma$  است که از منحنی تنش - کرنش قابل محاسبه است. پس از محاسبه  $A$  با فرض اینکه جداسازهای مورد استفاده مربعی باشند، ابعاد جداسازها  $a$  به دست می‌آیند.

۶- تبدیل ابعاد به دست آمده در مراحل قبل به اعداد اجرایی.

۷- محاسبه سختی جداسازها براساس  $A$ ،  $t_r$  اصلاح شده و محاسبه سختی موثر کل سامانه جداساز که از مجموع سختی تمام جداسازها به دست می‌آید.

۸- محاسبه دوره سامانه جداساز و جابجایی مرکز آن.

۹- تکرار مراحل ۷ و ۸ تا زمانی که جوابها همگرا شوند.

۱۰- محاسبه عوامل تحلیل دینامیکی:

$$k_1 = \frac{G_1 A}{t_r} \quad \text{سختی قبل از تسلیم} \quad (13)$$

$$k_2 = \frac{G_2 A}{t_r} \quad \text{سختی پس از تسلیم} \quad (14)$$

$$F_y = \tau_y A \quad \text{نیروی برشی تسلیم جداساز} \quad (15)$$

با توجه به مراحل فوق، طراحی سامانه‌های جداساز، یک فرآیند تکراری و زمان بر بوده که در بعضی از موارد تجربه طراح نیز می‌تواند بسیار اثرگذار باشد. نتایج حاصل از طراحی صورت گرفته که شامل ابعاد جداسازها، عوامل طراحی، خواص معادل خطی و عوامل تحلیل دینامیکی غیرخطی هستند و از آنها در طراحی جداسازها در طرح محاسباتی این تحقیق برای ساختمان‌های با دهانه ۶ متری استفاده می‌شود در جدول (۳) ارائه شده است.

### ۳-۳- بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی

با در دست داشتن عوامل مکانیکی جداسازها و طراحی آنها در برنامه SAP 2000، تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی با استفاده از شتاب نگاشت‌های مقیاس شده انجام و نتایج حاصل از این تحلیل‌ها با نتایج حاصل از تحلیل‌های شبه‌استاتیکی مقایسه شده و در نهایت مقادیر طراحی برای ساخت جداسازها معین می‌شوند. بر طبق ضوابط آیین‌نامه UBC-97 برای یک تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی باید حداقل از سه جفت شتاب نگاشت مناسب استفاده نمود. این شتاب نگاشت‌ها باید دارای

برای شهر تهران مطابقت داشته باشند. برای تعیین عوامل لرزه‌ای فرضیات زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- ۱- ساختمان در تهران واقع شده است.
- ۲- نوع خاک محل احداث بنا از نوع II در آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران که مطابق با پروفیل  $S_c$  در آیین‌نامه UBC-97 است.
- ۳- سازه در خارج از محدوده ۱۰ کیلومتری گسلی قرار دارد که قادر به تولید زمین لرزه‌هایی با  $0.5 \leq M \leq 7$  است. با توجه به فرضیات بالا و جداول ارائه شده در بخش طراحی ایزولاتورها در آیین‌نامه UBC-97 عوامل لرزه‌ای را می‌توان به صورت جدول (۲) خلاصه نمود [۱۰].

جدول (۲): عوامل لرزه‌ای مورد نیاز

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| ۰/۴   | ضریب ناحیه لرزه خیزی (Z)        |
| $S_c$ | نوع پروفیل خاک                  |
| B     | نوع چشمه لرزه ای                |
| ۱     | ضریب نزدیکی چشمه $N_a$          |
| ۱     | ضریب نزدیکی چشمه $N_v$          |
| ۱/۲۵  | ضریب پاسخ حداکثر زلزله ممکن MCE |
| ۰/۴   | ضریب لرزه‌ای $C_{AD}$           |
| ۰/۵۶  | ضریب لرزه‌ای $C_{VD}$           |
| ۰/۵   | ضریب لرزه‌ای $C_{AM}$           |
| ۰/۷   | ضریب لرزه‌ای $C_{VM}$           |

طراحی گام به گام سامانه‌های جداساز در تحقیق حاضر بطور اختصار دارای مراحل زیر است [۱۰]:

- ۱- فرض مقادیر اولیه برای دوره سامانه،  $T$  و کرنش برشی آن،  $\gamma$ .
- ۲- محاسبه سختی موثر هر ایزولاتور با توجه به بار طراحی ستون  $W$  و مقدار  $T$  که با توجه به رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (9)$$

- ۳- محاسبه تغییرمکان مرکز سامانه جداساز ( $D_D$ ) از رابطه (۱۰):

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{4\pi^2 B_d} \quad (10)$$

که در این رابطه  $g$  شتاب گرانشی زمین،  $C_{VD}$  ضریب لرزه‌ای،  $T_D$  دوره تناوب سامانه جداساز و  $B_d$  ضریب میرایی بوده که بر اساس فرض کرنش برشی و استفاده از جداول آیین‌نامه UBC-97 در قسمت طراحی جداسازها به دست می‌آید.

- ۴- محاسبه  $t_r$  (ضخامت لاستیک) از رابطه (۱۱):

بزرگی، فاصله از گسل و ویژگی‌های چشمه لرزه‌ای سازگار با آنچه که زلزله مبنای طرح (یا زلزله محتمل حداکثر) را کنترل می‌نمایند، باشند.

مقادیر طرح در تحلیل دینامیکی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

- در صورت استفاده از سه تاریخچه زمانی، طرح باید براساس حداکثر کمیت‌های پاسخ انجام شود.

- در صورت استفاده از هفت تاریخچه زمانی، طرح باید براساس متوسط کمیت‌های پاسخ انجام شود [۱۰].

پس از انتخاب شتاب نگاشت‌های مناسب، باید آنها را با روشی که در آیین‌نامه ارائه شده است مقیاس نمود. با توجه به اینکه در صورت استفاده از ۷ مولفه و بکارگیری متوسط مقادیر پاسخ حداکثر هریک از هفت مولفه، نتایج حاصله برابری بهتری با طیف طرح آیین‌نامه خواهند داشت، به همین دلیل در این پژوهش از ۷ تحریک واقعی زلزله استفاده شده که مشخصات این ثبات‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): مشخصات ثبات‌های تاریخچه زمانی استفاده شده

| نام ثبات                  | زمان وقوع | ایستگاه ثبت کننده          | PGA(g)  |          |
|---------------------------|-----------|----------------------------|---------|----------|
|                           |           |                            | مولفه ۰ | مولفه ۹۰ |
| امپریال ولی <sup>۱۱</sup> | ۱۹۷۹      | ال سنتر <sup>۱۲</sup>      | ۰/۴۱    | ۰/۴۳۹    |
| لوما پریتا <sup>۱۳</sup>  | ۱۹۸۹      | هولپستر <sup>۱۴</sup>      | ۰/۳۷۱   | ۰/۱۷۷    |
| نورث ریج <sup>۱۵</sup>    | ۱۹۹۴      | سانتا مونیکا <sup>۱۶</sup> | ۰/۳۷    | ۰/۸۸     |
| طبیس                      | ۱۹۷۸      | طبیس                       | ۰/۸۳۶   | ۰/۸۵۲    |
| نورث ریج                  | ۱۹۹۴      | نیو هال <sup>۱۷</sup>      | ۰/۵۸۹   | ۰/۵۸۳    |
| نورث ریج                  | ۱۹۹۴      | سیلمار <sup>۱۸</sup>       | ۰/۸۴۳   | ۰/۶۰۴    |
| لیک هیوگز <sup>۱۹</sup>   | ۱۹۷۱      | سن فرناندو <sup>۲۰</sup>   | ۰/۱۴۵   | ۰/۱۱     |

نتایج مربوط به تغییر مکان روی جداساز حاصل از تحلیل دینامیکی سازه‌های با دهانه ۶ متر در جدول (۵) آورده شده است. مقاطع در نظر گرفته شده برای روسازه، برای ستون‌ها TUBO (قوطی مربع مستطیل) و برای تیرها مقطع IPB (تیر آهن عریض I) است.

بررسی مقادیر به دست آمده از تحلیل برای تغییر مکان روی جداساز (جدول ۵)، به خوبی نشان می‌دهد که آئین‌نامه UBC-97 در زمینه طراحی جداسازهای لرزه‌ای بسیار محافظه‌کارانه عمل نموده که این محافظه‌کاری بیش از حد بعلاوه‌ی فرایند تکراری طراحی جداسازها از عواملی هستند که در افزایش هزینه‌های اقتصادی مربوط به این فناوری نقش عمده‌ای دارد. پس در این تحقیق بعد از شناخت این عوامل و در

راستای کاهش هزینه‌ها و با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برنامه‌ای جامع و در عین حال کاربردی، تدوین شده تا برخلاف در نظر گرفتن ملاحظات فنی، هزینه‌های جداسازی تا حد امکان کاهش یابد. گفتنی است که این برنامه برای هر نوع پلان و با هر ابعادی کارایی داشته و سازه با ابعاد مشخص در این مقاله به‌عنوان مثال ارائه شده است.

#### ۴- طراحی بهینه جداسازهای پایه

برنامه رایانه‌ای تدوین شده در تحقیق حاضر، در محیط برنامه‌نویسی فرترن تهیه شده و هدف اصلی این برنامه کاهش هزینه‌های مربوط به جداسازی سازه‌ها با توجه به ملاحظات کاربردی و عملی این فناوری است. یکی از ویژگی‌های این برنامه، توانایی آن در تولید پلان‌های مختلف با توجه به محدودیت‌های تعریف شده برای فاصله بین ستون‌ها است، که در حقیقت با این روش، تعداد مناسبی از طرح‌های بهینه در اختیار طراح قرار می‌گیرد و در حالتی که محدودیتی از لحاظ معماری و اجرایی وجود نداشته باشد می‌توان از میان طرح‌های بهینه، بهینه‌ترین طرح را انتخاب نمود.

الگوریتم ژنتیک بکار رفته برای بهینه‌سازی در این برنامه، دارای یک سری عوامل اساسی است که عبارتند از:

میزان جمعیت، احتمال ترکیب، احتمال جهش، نوع ترکیب. که تعیین مناسب این عوامل در نتیجه نهایی تحلیل و سرعت همگرایی برنامه بسیار اثرگذار بوده و انتخاب صحیح این عوامل بر اساس تجربه و تحلیل حساسیت (در صورت وجود کارهای مشابه و داشتن مقادیر اولیه) برای هر مورد خاص انجام شود.

در این تحقیق با توجه به نبود کارهای مشابه و نداشتن مقادیر اولیه‌ای برای انجام تحلیل حساسیت، سعی شده تا با انجام تحلیل‌های متعدد مقادیری برای عوامل الگوریتم ژنتیک انتخاب شود که با محدودۀ کلی تعریف شده برای آنها نیز برابری داشته باشد. مقادیر در نظر گرفته شده برای عوامل فوق به صورت زیر است:

جدول (۶): مقادیر عوامل الگوریتم ژنتیک

| پارامتر           | مقدار در نظر گرفته شده |
|-------------------|------------------------|
| میزان جمعیت اولیه | ۳۰                     |
| احتمال ترکیب      | $P_c = 0/5$            |
| احتمال جهش        | $P_m = 0/02$           |

#### ۵- بهینه‌سازی جداسازها با توجه به تابع هدف

مشخصات جداساز طراحی شده برای هر پلان را به



مکانی آن، مقادیر مربوط به بارگذاری و تعداد طبقات سازه. - مقادیر مربوط به طراحی جداسازها که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

مرحله دوم: در این مرحله برنامه، P پلان به صورت تصادفی به عنوان جمعیت اولیه تولید می‌نماید. نحوه تولید پلان‌ها به این صورت است که بر طبق تعریف انجام شده برای برنامه برای محدودیت فاصله بین دهانه‌ها، محدوده تعداد دهانه‌ها برای هر راستا برای برنامه مشخص شده و سپس برنامه، یک سری اعداد صحیح را برای فاصله بین ستون‌ها، در نظر می‌گیرد. توضیحات تکمیلی بیشتر با ارائه یک مثال آورده شده است.

مرحله سوم: در این مرحله بر اساس پلان در نظر گرفته شده در مرحله قبل و با توجه به اطلاعات ورودی، برنامه ابعاد جداساز مورد نیاز برای قرارگیری در زیر هر یک از ستون‌ها را بر مبنای الگوریتم طراحی جداسازها، محاسبه می‌نماید. بر اساس طرح ارائه شده برای جداسازها، حجم کل مورد نیاز لاستیک برای ساخت جداسازها با در نظر گرفتن کاهش هزینه‌های مربوط به قالب‌بندی اضافی برای هر واحد جداساز، محاسبه می‌شود.

مرحله چهارم: در این مرحله تابع هدف یا همان تابع هزینه برای هر عضو از جمعیت و بر اساس پلان در نظر گرفته شده و جداسازهای طراحی شده برای آن پلان، محاسبه می‌شود. برای عمومیت بخشیدن به برنامه نوشته شده در این تحقیق، حجم کل ایزولاتور مورد نیاز برای هر طرح (یا همان پلان) مشخص که با توجه به طراحی جداسازهای مربوط به آن، به دست می‌آید و معیار مناسبی برای محاسبه هزینه ساخت جداسازها است، به عنوان تابع هدف در برنامه در نظر گرفته شده است.

در شکل (۴) نمودار گردش اجرای برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌نمودن سازه‌های جداسازی شده نشان داده شده است.

مرحله پنجم: پس از تعیین تابع هدف برای هر عضو از جمعیت، اعضا بر اساس مقادیر تابع هدف آنها از کوچک به بزرگ مرتب شده و برای هر کدام از آنها یک عدد برانزنگی نسبت داده می‌شود که این عدد یک عدد غیر منفی بوده و احتمال انتخاب شدن هر عضو را در مرحله هفت تعیین می‌نماید.

صورتی تعیین می‌نماییم که تابع هزینه آن تحت شرایط طراحی و اجرایی، کم‌ترین مقدار را داشته باشد. بدین منظور متغیرهای طراحی ( $D^T$ ) را به صورت  $D^T=(d, t_r, S_V, S_H, N_V, N_H)$  در نظر می‌گیریم که در آن  $d$  قطر جداساز،  $t_r$  ارتفاع جداساز،  $S_V$  فاصله دهانه‌ها در راستای طولی سایت موردنظر و  $S_H$  فاصله دهانه‌ها در راستای عرضی آن و  $N_V$  و  $N_H$  نیز تعداد دهانه‌ها در راستای طولی و عرضی هستند. در حقیقت مقادیر  $N_V$  و  $N_H$  و  $S_V$  و  $S_H$  مشخص‌کننده پلان موردنظر خواهند بود و خروجی برنامه می‌تواند به تعداد  $N_V$  و  $N_H$  مقادیر متفاوتی برای  $S_V$  و  $S_H$  انتخاب نماید.

برای در نظر گرفتن میزان مصرف مصالح در روسازه و همچنین مسائل اجرایی مرتبط با آن، دو ضریب جداگانه به نام‌های ضریب روسازه و ضریب چشمه در تابع هدف که همان تابع هزینه است، اعمال شده است. واضح است که با زیاد شدن فاصله بین دهانه‌ها، مقاطع در روسازه نیز بزرگتر شده و در نتیجه هزینه آنها نیز بیشتر می‌شود. برای اعمال این افزایش هزینه در تابع هدف و با توجه به محدوده در نظر گرفته شده برای فواصل بین دهانه‌ها، برای فواصل ۵ متری که در اجرا بیشتر متداول است، از ضریب ۱ و برای فواصل ۱۰ متری از ضریب ۱/۲ و برای سایر فواصل از روش انترپولاسیون استفاده شده است (گفتنی است که محدوده تعریف شده برای فواصل بین دهانه‌ها برای هر پژوهش قابل تغییر است). با مشخص شدن پلان مربوط به هر طرح، ابتدا این ضریب برای تک‌تک دهانه‌ها و سپس برای هر راستا و در نهایت برای کل پلان محاسبه و در تابع هدف ضرب می‌شود.

همچنین می‌دانیم که برای کاهش هزینه‌ها، از نظر اجرایی، مناسب‌تر است که تنوع چشمه‌ها در یک پلان تا حد امکان حداقل باشد. برای در نظر گرفتن این مسئله، ابتدا با مشخص شدن تعداد دهانه‌ها در هر راستا، حداکثر تعداد چشمه‌هایی که هر پلان امکان دارد داشته باشد، مشخص می‌شود. پس از آن و در فرایند انجام عملیات الگوریتم ژنتیک، اگر تعداد چشمه‌های یک پلان ۱ شود برای آن پلان ضریب ۱ و اگر تعداد چشمه‌ها برابر حداکثر مقدار محاسبه شده باشد، ضریب ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود. در اینجا نیز ضریب مرتبط با سایر موارد از راه انترپولاسیون محاسبه خواهد شد.

## ۶- توضیح مراحل اجرای الگوریتم برنامه

مرحله اول: در این مرحله برنامه، اطلاعات مربوط به موارد زیر را دریافت می‌نماید:

- مشخصات هندسی مربوط به ابعاد زمین مورد نظر، موقعیت



واقع مراحل ۳ تا ۷ یک چرخه را تشکیل داده و به تعداد مناسب تکرار می‌شوند.

#### ۷- مراحل طراحی جداسازها در برنامه بهینه‌سازی

برنامه تدوین شده برای بهینه‌سازی کاربرد جداگرهای پی از دو قسمت اصلی که یکی مربوط به طراحی خود جداسازها و دیگری مربوط به انجام عملیات بهینه‌سازی توسط روش الگوریتم ژنتیک است، تشکیل می‌شود. در حقیقت این دو برنامه در کنار یکدیگر فرایند بهینه‌سازی را انجام می‌دهند. مراحل طراحی جداسازها برای هر پلان مشخص، عبارتند از:

- ۱- وارد نمودن مقادیر مربوط به طراحی جداسازها که عبارتند از:
  - مشخصات مربوط به پلان.
  - مشخصات مربوط به بارگذاری سازه.
  - مشخصات مربوط به لاستیک که شامل  $G_1$  (مدول برش الاستومر در حالت الاستیک)  $G_2$  (مدول برش الاستومر پس از تسلیم)  $\gamma_y$  ( کرنش برشی متناظر با نیروی تسلیم) و  $\gamma_D$  (حداکثر کرنش برشی) و  $C_{VD}$  ضریب لرزه‌ای منطقه است.
- ۲- محاسبه بار قائم مربوط به هر یک از ستون‌ها توسط برنامه.

۳- محاسبه عامل میرایی موثر  $\beta_{eff}$

$$\beta_{eff} = \frac{4\tau_Q (\gamma_D - \gamma_y)}{2\pi(G_2 + \frac{\tau_Q}{\gamma_D})\gamma_D^2} \quad (16)$$

که در این فرمول  $\tau_Q$  از رابطه ۱۷ بدست می‌آید:

$$\tau_Q = (G_1 - G_2)\gamma_y \quad (17)$$

۴- در نظر گرفتن محدوده‌ای بین ۱/۵ تا ۴ ثانیه و با گام ۰/۱ برای دوره سازه جداسازی شده و سپس محاسبه سختی موثر جداسازها برای زیر هر یک از ستون‌ها.

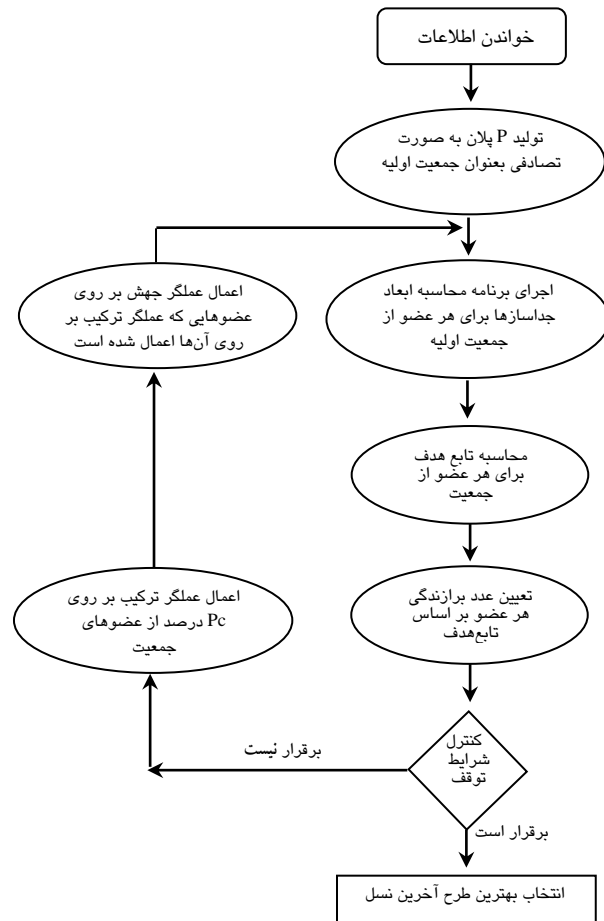
۵- محاسبه عامل  $B_d$ ،  $D_D$  و  $t_r$  به ازای تمام مقادیر مربوط به دوره سازه که در بند ۴ گفته شد.

برای تبدیل اعداد مربوط به  $D_D$  و  $t_r$  به اعداد اجرایی، محدوده‌ای برای این عوامل در نظر گرفته شده که این محدوده برای  $D_D$  اعداد صحیح قبل و بعد از آن و با گام ۰/۵ (سانتی‌متر) و برای  $t_r$  اعداد صحیح قبل و بعد از آن و با گام ۱ (سانتی‌متر) است.

برای محاسبه  $B_d$  از رابطه ۱۸ استفاده می‌شود:

$$B_d = \frac{4}{1 - \ln\beta} \quad (18)$$

۶- محاسبه سطح مورد نیاز جداسازها و در نتیجه ابعاد آن‌ها (در دو حالت مربعی یا دایره‌ای) و سپس تبدیل این



شکل (۴): نمودارگردشی اجرای برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌نمودن سازه‌های جداسازی شده

مرحله ششم: در این مرحله شرایط توقف برنامه کنترل می‌شود، تعداد تکرار و یا زمان اجرای برنامه می‌تواند به عنوان شرایط پایان برنامه در نظر گرفته شود. اگر شرایط توقف برقرار شده باشد، بهترین طرح از آخرین نسل به عنوان جواب بهینه انتخاب شده و برنامه متوقف می‌شود. در این تحقیق، شرط توقف، تعداد تکرار، قرار داده شده و اجرای برنامه در تکرار ۱۰ ام متوقف می‌شود.

مرحله هفتم: برای تولید نسل جدید، پس از تعیین برازندگی طرح‌ها، عملگرهای ترکیب و جهش بر روی آن‌ها اعمال می‌شود. با استفاده از روش دیسک‌گردان، هر بار دو رشته به طور تصادفی انتخاب شده و تحت عمل ترکیب یک نقطه‌ای قرار می‌گیرند. سپس رشته‌هایی که بدین صورت تولید شده‌اند تحت عمل جهش قرار خواهند گرفت. در تمام مراحل که طرح‌های جدید تولید می‌شوند، کنترل می‌شود که متغیرهای طراحی در محدوده موردنظر قرار داشته باشند.

مرحله هشتم: برای طرح‌های جدیدی که با استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش ایجاد گشته‌اند، جداسازها طراحی شده و تابع هدف برای هر یک از آن‌ها محاسبه می‌شود. در



ابعاد به اعداد صحیح.

در مورد سطح مورد نیاز جداسازها از رابطه ۱۹ استفاده می‌شود:

$$K = \frac{GA}{t_r} \quad (۱۹)$$

که در رابطه فوق  $K$  سختی موثر مربوط به هر یک از جداسازها بوده و در بند ۴ محاسبه شده و  $G$  با توجه به رابطه (۲۰):

$$G = G_{eff} = (G_2 + \frac{\tau_0}{\gamma_D}) \quad (۲۰)$$

محاسبه می‌شود.

۷- محاسبه سختی جداسازهای طراحی شده بر اساس اعداد اصلاح شده و سپس محاسبه سختی کل سامانه جداساز.

۸- محاسبه وزن کل سازه.

۹- محاسبه دوره سازه جداسازی شده بر اساس سختی کل محاسبه شده در بند ۷ و وزن کل سازه که از بند ۸ بدست می‌آید.

۱۰- در صورتی که مقدار دوره محاسبه شده در بند ۹ با دوره‌ای که در گام ۴، برنامه در نظر گرفته بود دارای تفاوتی کمتر از میزان خطایی باشد که برای برنامه تعریف می‌نماییم، مشخصات جداساز و عوامل آن به همراه یک شمارنده مخصوص در برنامه ذخیره می‌شود.

۱۱- در این مرحله برنامه با بررسی مشخصات جداساز و سازه جداسازی شده و از بین حالات طراحی شده ممکن، حالتی که دارای حداقل حجم و در نتیجه هزینه کمتری است را انتخاب نموده و سپس مشخصات جداساز زیر هر یک از ستون‌ها را بر اساس اعداد اجرایی (مضربی از ۵) مشخص می‌نماید. خروجی این قسمت برای هر پلان مشخص شده، به برنامه الگوریتم ژنتیک وارد می‌شود.

گفتنی است که برنامه به نحوی نوشته شده است که وقتی بند ۱۰ برقرار شد مشخصات جداساز را بر اساس کمترین  $D_D$  و  $t_r$  ممکن ارائه می‌نماید. همچنین با بررسی پژوهش‌های اجرایی و پیشنهادات کارخانجات تولیدکننده جداسازها و در راستای کاهش هزینه‌های قالب‌بندی برای هر واحد جداساز، حداقل بُعد برای جداسازها در این برنامه ۳۰ سانتی‌متر تعریف شده و اگر بر اساس طراحی بُعد جداسازی از ۳۰ سانتی‌متر کمتر باشد، برنامه حداقل بُعد را برای آن در نظر می‌گیرد.

حال به تحلیل مساله‌ای در این زمینه می‌پردازیم:

فرض کنید زمین موردنظر دارای ابعاد  $۳۰ \times ۴۰$  متر مربع بوده و اطلاعات مرتبط با زمین مورد نظر و بارگذاری سازه و

سایر موارد مربوط به طراحی جداسازها مانند مثال ارائه شده در بند ۳-۱ باشد.

ابتدا مقادیر مناسب عوامل الگوریتم ژنتیک و متغیرهای طراحی، تعیین می‌شوند. با توجه به اینکه بیش‌ترین و کم‌ترین محدوده تعریف شده برای فاصله بین دهانه‌ها در برنامه به ترتیب ۱۰ و ۵ متر است، بنابراین پس از مشخص شدن ابعاد زمین، برنامه ابعاد موردنظر را به بیش‌ترین و کم‌ترین فاصله ممکن بین دهانه‌ها، تقسیم نموده تا محدوده تعداد دهانه‌ها برای برنامه مشخص شود. بر این اساس برای این سایت محدوده تعداد دهانه‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$۳ \leq$  تعداد دهانه‌ها برای بُعد ۳۰ متری  $\leq ۶$

$۴ \leq$  تعداد دهانه‌ها برای بُعد ۴۰ متری  $\leq ۸$

حالت‌های مختلف تولید پلان برای سایت در نظر گرفته شده

در جدول ۷ ارائه شده است. پس از اینکه مطابق جدول ۷ تعداد دهانه‌ها برای برنامه مشخص شد و برنامه پلان موردنظر را تولید نمود، با توجه به تعداد دهانه‌ها و استفاده از برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، برنامه، یک سری اعداد تصادفی بین ۵ تا ۱۰ متر (با گام ۱ متر) برای فاصله بین دهانه‌ها را از راهی انتخاب نماید که مجموع آنها برابر ۳۰ و ۴۰ متر شود. یعنی به عنوان مثال وقتی بُعد ۳۰ متر را به ۳ دهانه و بُعد ۴۰ متر را به ۵ دهانه تبدیل نمود، آنگاه پلان موردنظر را شکل داده و برنامه وارد الگوریتم ژنتیک می‌شود. با توجه به تعداد دهانه انتخابی برای بُعد ۳۰ متر فقط عدد ۱۰ متر برای این بعد قابل قبول است ولی برای بُعد ۴۰ متر اعداد مختلفی بین ۵ تا ۱۰ متر را انتخاب نموده و برای هر پلان، برنامه طراحی جداسازها فرا خوانده شده و ایزولاتور مربوط به هر پلان مطابق برنامه طراحی جداسازها، طراحی می‌شود. یعنی با این پلان و اعداد تصادفی که انتخاب می‌نماید جمعیت اولیه را تولید نموده و در پایان پس از انجام الگوریتم ژنتیک، جواب بهینه مربوط به این تعداد دهانه در هر راستا که شامل فاصله بین دهانه‌ها و در نتیجه مشخصات جداساز مربوطه است را محاسبه نموده و بعد از اتمام این مرحله وارد حلقه دوم می‌شود.

در این مثال با توجه به ابعاد زمین موردنظر، ۲۰ بار این عمل تکرار می‌شود و در پایان از بین ۲۰ جواب به دست آمده، دوباره برنامه پلانی که کم‌ترین حجم ایزولاتور را دارد انتخاب نموده و در خروجی چاپ می‌نماید.

برای مقایسه خروجی برنامه نوشته شده با طراحی‌های متداولی که صورت می‌گیرد، جداسازهای مربوط به یک سازه شش طبقه که دارای سایت  $۳۰ \times ۴۰$  متر مربع است، با استفاده از برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک طراحی شده‌اند. نتایج

به دست آمده از برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای پلان‌های مختلف تولید شده و فاصله بین دهانه‌های متفاوت در نظر گرفته شده و حجم کل ایزولاتور طراحی شده برای هر یک از آنها در جدول (۸) نشان داده شده است.

در مثال ارائه شده برنامه دو نوع ایزولاتور به ابعاد ۳۰ سانتی‌متر برای ستون‌های گوشه و کنار و ۴۰ سانتی‌متر برای ستون‌های وسط را ارائه نموده در حالی که در طراحی دستی و متداول صورت گرفته (که مانند مثال بند ۳ انجام شده است) برای این زمین که پلان موردنظر آن دارای سه دهانه در بعد ۳۰ متر و چهار دهانه در بعد ۴۰ متر و با طول‌های برابر با ۱۰ متر برای همه دهانه‌ها است، جداسازها برابر ۳ نوع بوده که ابعاد آنها برای ستون‌های گوشه برابر با ۳۹ سانتی‌متر و برای ستون‌های کناری برابر با ۵۴ سانتی‌متر و برای ستون‌های وسط برابر با ۷۷ سانتی‌متر، بدست می‌آید.

در مقایسه طراحی دستی و طرح ارائه شده توسط برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، دیده می‌شود با توجه به کاهش حجم الاستومر مصرفی و همچنین کاهش تنوع ابعاد جداسازها و در نتیجه کاهش هزینه‌های قالب‌بندی اضافی، در صورت استفاده از طرح پیشنهاد شده توسط برنامه بهینه‌سازی، هزینه‌های جداسازی که در حقیقت هدف نهایی این تحقیق است، برخلاف درنظر گرفتن ملاحظات طراحی و اجرایی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

#### ۸- نکات قابل توجه در راستای انجام این تحقیق

قبل از بیان نتیجه‌گیری‌های کلی بدست آمده از این تحقیق، لازم است موارد زیر در رابطه با کاربرد جداسازها و برنامه تدوین شده در این پژوهش، مورد توجه قرار گیرد:

- در طراحی سازه‌های متداول، رفتار الاستیک سازه و سپس وارد شدن آن به حالت پلاستیک بر اثر نیروهای حاصل از تحلیل دینامیکی پذیرفته شده است، ولی در طراحی سازه‌های جداسازی شده فرض می‌شود که سازه تحت تاثیر همان نیروها وارد حالت پلاستیک نشده و در آن هیچ خرابی اتفاق نیافتد. بر این اساس، اگر از دیدگاه اقتصادی، مسئله مورد ارزیابی قرار گیرد، می‌توان بیان نمود که اگر نگرش برای سازه به این صورت باشد که تحت اثر نیروهای دینامیکی هرگز به سازه آسیب نرسد و سازه کاملاً سالم بماند، آنگاه براساس آیین‌نامه‌ها و روش‌های طراحی موجود، طرح جداسازی برای این دسته از سازه‌ها، منطقی و قابل توجیه خواهد بود ولی اگر بپذیریم که سازه تحت اثر نیروهای حاصل از زلزله وارد حالت پلاستیک و در نتیجه دچار آسیب می‌شود آنگاه باید تحلیل و یا مدیریت خطر انجام داده تا کاربرد جداساز در این حالت برای

سازه مورد ارزیابی قرار گیرد.

- همانگونه که بیان شد، طراحی اولیه جداسازها براساس بار قائم ستون‌ها بوده و طرح اولیه جداسازها برای سازه‌های مختلفی که دارای بار قائم یکسان باشند، مشابه خواهد بود، به عبارت دیگر در طراحی جداسازها، ضریبی مثل ضریب اهمیت سازه که در آیین‌نامه‌های زلزله آمده است، وارد نشده و این مسئله باعث می‌شود که استفاده از جداساز در ساختمان‌های مهم، اقتصادی شود. در حقیقت وقتی برای سازه‌ای، طراحی جداساز صورت می‌گیرد فرقی نمی‌کند که آن یک بیمارستان و یا یک سازه معمولی باشد، زیرا نگرش در مورد هر دو سازه در صورت استفاده از جداساز این است که تحت اثر نیروهای ناشی از زلزله سازه سالم مانده و هرگز دچار آسیب نشود، ولی در آیین‌نامه‌های معمولی، اعمال ضریب اهمیت در مورد سازه‌های مهم باعث افزایش بارهای دینامیکی شده که این افزایش بار، استفاده از جداسازها را در ساختمان‌های مهم و حیاتی، اقتصادی و در سازه‌های معمولی، غیر اقتصادی خواهد نمود.

- برنامه بهینه‌سازی تدوین شده در این تحقیق، توانایی آن را دارد که پلان‌های مختلفی را با توجه به محدودیت‌های تعریف شده برای فاصله بین ستون‌ها، تولید نموده و برای هر پلان مشخص، طرح بهینه جداسازها را ارائه نماید. اهمیت این مطلب از این نظر است که اصولاً طراحی سازه‌ها ابتدا براساس طراحی پارکینگ صورت گرفته و معمولاً فاصله بین ستون‌ها به نحوی در نظر گرفته می‌شود که حداقل ۲ وسیله نقلیه در کنار هم قابل پارک باشند، پس در طراحی‌های عملی و کاربردی که فرایند طراحی سازه براساس پارکینگ است، این برنامه قادر است طرح‌های مختلف و به نسبت مناسبی را به مهندس طراح پیشنهاد داده و براساس اصلاحات و نظرات مهندس طراح، طرح بهینه و یا حتی‌المقدور نزدیک‌ترین طرح به طرح بهینه را که در آن ملاحظات معماری و اجرایی و همچنین هزینه‌های اقتصادی در نظر گرفته شده است، را ارائه نماید.

#### ۹- نتیجه‌گیری

براساس مطالعات و تحلیل‌های صورت گرفته در فصل‌های قبل نتایج زیر ارائه می‌شود:

۱- این تحقیق نشان داد که مقادیر ارائه شده در آیین‌نامه UBC-97 در رابطه با طراحی جداسازهای لرزه‌ای در بسیاری از موارد، محافظه‌کارانه بوده و انتظار می‌رود ویرایش‌های بعدی این آیین‌نامه مقادیر منطقی‌تر و مناسب‌تری را برای طراحی جداسازهای لرزه‌ای ارائه نماید.



۲- الگوریتم ژنتیک باتوجه به ساده و قابل فهم بودن و راحتی تبدیل به برنامه رایانه‌ای، سازگاری مناسبی برای حل مسائل مختلف بهینه‌سازی داشته و با استفاده از روش کدگذاری با اعداد حقیقی و تعیین مقادیر مناسب برای عوامل الگوریتم ژنتیک، می‌توان سرعت همگرایی طرح بهینه را افزایش داد.

۳- در طراحی سازه‌های جداسازی شده به اثر متقابل طرح جداسازها در هزینه‌های روسازه و همچنین اثر پلان سازه در هزینه‌های مربوط به جداسازی و در نتیجه هزینه تمام شده یک سازه جداسازی شده باید توجه نمود.

## ۱۰- ضمائم

جدول ۳: مشخصات جداسازهای مربوط به ساختمان‌های با دهانه ۶ متری

| مدل مطالعاتی | طبقه | مشخصات هندسی ایزولاتور |        | پارامترهای طراحی |                     |                        | خواص معادل خطی       |      |                        | پارامترهای آنالیز غیرخطی |                    |                     |                                |  |
|--------------|------|------------------------|--------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------|------|------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|--|
|              |      | a(cm)                  | tr(cm) | W(ton)           | D <sub>D</sub> (cm) | σ(kg/cm <sup>2</sup> ) | T <sub>B</sub> (sec) | β(%) | K <sub>eff</sub> (N/m) | K <sub>I</sub> (N/m)     | F <sub>y</sub> (N) | D <sub>y</sub> (cm) | k <sub>2</sub> /k <sub>1</sub> |  |
| دو طبقه      | A    | ۴۲                     | ۱۱     | ۷۵/۶             | ۱۶                  | ۴۲/۸                   | ۱/۵۶                 | ۱۵   | ۱۲۵۸۵۲۵                | ۵۶۶۳۴۰۲                  | ۶۲۲۹۷              | ۱/۱                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | B    | ۲۹                     | ۱۱     | ۳۷/۸             | ۱۶                  | ۴۵                     | ۱/۵۶                 | ۱۵   | ۶۰۰۰۱۹                 | ۹۴۳۲۰۰                   | ۲۹۷۰۱              | ۱/۱                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | C    | ۲۱                     | ۱۱     | ۱۸/۹             | ۱۶                  | ۴۳                     | ۱/۵۶                 | ۱۵   | ۳۱۴۶۰۷                 | ۱۴۱۵۸۷۷                  | ۱۵۵۷۸              | ۱/۱                 | -۱/۱۶۷                         |  |
| چهار طبقه    | A    | ۴۹                     | ۱۴     | ۱۲۶              | ۲۰                  | ۵۲/۵                   | ۱/۹۴                 | ۱۵   | ۱۳۴۵۹۳۲                | ۶۰۵۶۶۹۴                  | ۸۴۷۹۴              | ۱/۴                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | B    | ۳۴                     | ۱۴     | ۶۳               | ۲۰                  | ۵۴/۵                   | ۱/۹۴                 | ۱۵   | ۶۴۸۰۲۱                 | ۲۹۱۶۰۹۳                  | ۴۰۸۲۵              | ۱/۴                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | C    | ۲۴                     | ۱۴     | ۳۱/۵             | ۲۰                  | ۵۴/۷                   | ۱/۹۴                 | ۱۵   | ۳۲۲۷۴۹                 | ۱۴۵۲۸۶۱                  | ۲۰۳۴۶              | ۱/۴                 | -۱/۱۶۷                         |  |
| شش طبقه      | A    | ۵۰                     | ۱۸     | ۱۷۶/۴            | ۲۶                  | ۷۰/۶                   | ۲/۵۴                 | ۱۵   | ۱۰۹۰۰۰۰                | ۴۹۰۵۰۰۰                  | ۸۸۲۹۰              | ۱/۸                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | B    | ۳۵                     | ۱۸     | ۸۸/۲             | ۲۶                  | ۷۲                     | ۲/۵۴                 | ۱۵   | ۵۳۴۳۰۰                 | ۲۴۰۳۴۵۰                  | ۴۳۲۶۲              | ۱/۸                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | C    | ۲۵                     | ۱۸     | ۴۴/۱             | ۲۶                  | ۷۰/۶                   | ۲/۵۴                 | ۱۵   | ۲۷۲۷۱۸                 | ۱۲۴۶۲۵۰                  | ۲۲۰۷۳              | ۱/۸                 | -۱/۱۶۷                         |  |
| هشت طبقه     | A    | ۵۲                     | ۲۰     | ۲۲۶/۸            | ۳۰                  | ۸۳/۹                   | ۲/۹۴                 | ۱۵   | ۱۰۶۱۰۵۰                | ۴۷۷۴۷۲۳                  | ۹۵۴۹۶              | ۲                   | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | B    | ۳۶                     | ۲۰     | ۱۱۳/۴            | ۳۰                  | ۸۷/۵                   | ۲/۹۴                 | ۱۵   | ۵۰۸۵۵۰                 | ۲۲۸۸۴۷۷                  | ۴۵۷۷۰              | ۲                   | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | C    | ۲۶                     | ۲۰     | ۵۶/۷             | ۳۰                  | ۸۳/۹                   | ۲/۹۴                 | ۱۵   | ۲۶۴۸۷۰                 | ۱۱۹۳۸۷۷                  | ۲۳۸۷۸              | ۲                   | -۱/۱۶۷                         |  |
| ده طبقه      | A    | ۵۵                     | ۲۲     | ۲۷۷/۲            | ۳۳                  | ۹۱/۶۴                  | ۳/۲۲                 | ۱۵   | ۱۰۷۹۱۰۰                | ۴۸۵۵۹۵۰                  | ۱۰۶۸۳۱             | ۲/۲                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | B    | ۳۸                     | ۲۲     | ۱۲۸/۶            | ۳۳                  | ۹۶                     | ۳/۲۲                 | ۱۵   | ۵۱۵۱۱۴                 | ۲۳۱۸۰۱۴                  | ۵۰۹۹۶              | ۲/۲                 | -۱/۱۶۷                         |  |
|              | C    | ۲۷                     | ۲۲     | ۶۹/۳             | ۳۳                  | ۹۵/۱                   | ۳/۲۲                 | ۱۵   | ۲۵۹۹۶۵                 | ۱۱۷۰۳۳۳                  | ۲۵۷۴۱              | ۲/۲                 | -۱/۱۶۷                         |  |

W: بار قائم ستون D<sub>D</sub>: تغییر مکان مرکز سیستم جداساز σ: تنش وارد شده بر سطح جداساز t: ضخامت لاستیک a: ابعاد جداساز

جدول (۵): تغییر مکان روی جداساز (برحسب سانتی‌متر) حاصل از تحلیل دینامیکی سازه‌های با دهانه شش متر

| مدل مطالعاتی | زلزله نیوهال |       | زلزله طبس |       | زلزله سانفرناندو |       | زلزله سلیمار |       | زلزله هولیستر |       | زلزله اس مونیکا |       | زلزله السنترو |       | میانگین |       |
|--------------|--------------|-------|-----------|-------|------------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|-----------------|-------|---------------|-------|---------|-------|
|              | جهت X        | جهت Y | جهت X     | جهت Y | جهت X            | جهت Y | جهت X        | جهت Y | جهت X         | جهت Y | جهت X           | جهت Y | جهت X         | جهت Y | جهت X   | جهت Y |
| دو طبقه      | ۱۱/۵         | ۵/۸   | ۹/۹       | ۸/۵   | ۲/۲              | ۱/۱   | ۱۵/۳         | ۹/۲   | ۷/۳           | ۲/۹   | ۱/۹             | ۳/۳   | ۴/۸           | ۷/۶   | ۷/۶     | ۵/۵   |
| چهار طبقه    | ۱۲/۷         | ۱۲/۷  | ۱۴/۹      | ۱۱/۳  | ۲/۸              | ۱/۴   | ۱۸/۵         | ۱۰/۵  | ۸/۱           | ۳/۹   | ۹/۹۵            | ۴     | ۷/۷           | ۱۰/۳  | ۹/۷     | ۷/۷۳  |
| شش طبقه      | ۱۵           | ۹/۷   | ۱۶        | ۱۷/۴  | ۱/۲              | ۱/۴   | ۲۱/۳         | ۱۶/۱  | ۹/۱           | ۳/۴   | ۳/۱             | ۶/۴   | ۱۴/۹          | ۲۴/۵  | ۱۱/۶    | ۱۱/۳  |

|          |      |      |    |      |     |     |      |      |      |     |     |      |      |      |      |      |  |
|----------|------|------|----|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|--|
| طبقه     |      |      |    |      |     |     |      |      |      |     |     |      |      |      |      |      |  |
| هشت طبقه | ۱۶   | ۹/۲  | ۱۹ | ۲۶/۳ | ۱/۵ | ۰/۸ | ۲۰/۲ | ۱۷/۵ | ۱۳/۶ | ۱/۴ | ۵/۱ | ۷/۵  | ۱۸/۳ | ۳۴/۸ | ۱۳/۴ | ۱۴/۳ |  |
| ده طبقه  | ۱۵/۳ | ۱۰/۳ | ۲۰ | ۳۵/۶ | ۱/۲ | ۰/۷ | ۱۸/۴ | ۱۶/۳ | ۱۴/۳ | ۵/۲ | ۴/۸ | ۱۰/۳ | ۱۹/۳ | ۳۸/۲ | ۱۳/۳ | ۱۶/۷ |  |

جدول (۷): حالت‌های مختلف تولید پلان

|                                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حالت‌های مختلف تولید پلان      | ۲۰ | ۱۹ | ۱۸ | ۱۷ | ۱۶ | ۱۵ | ۱۴ | ۱۳ | ۱۲ | ۱۱ | ۱۰ | ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |
| تعداد دهانه‌ها برای بعد ۴۰ متر | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۷  | ۷  | ۷  | ۷  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ |
| تعداد دهانه‌ها برای بعد ۳۰ متر | ۶  | ۵  | ۴  | ۳  | ۶  | ۵  | ۴  | ۳  | ۶  | ۵  | ۴  | ۳ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ |

جدول (۸): نتایج به دست آمده از برنامه بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

| شماره | تعداد دهانه‌ها برای بعد ۳۰ متر | تعداد دهانه‌ها برای بعد ۴۰ متر | فاصله دهانه‌ها در طول ۳۰ متر (از چپ به راست) |    |    |   |   |    |    |    | فاصله دهانه‌ها در طول ۴۰ متر (از پایین به بالا) |    |    |    |    |    |    |    | حجم کل ایزولاتور (cm <sup>3</sup> ) |    |    |         |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|--|----|----|---|---|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------------------|----|----|---------|
|       |                                |                                | ۱  | ۲  | ۳  | ۴ | ۵ | ۶  | ۷  | ۸  | ۹   | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ |                                     | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹      |
| ۱     | ۳                              | ۴                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | -  | -  | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۴۹۹۷۱۲۰ |
| ۲     | ۳                              | ۵                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | -  | -  | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۴۴۸۲۶۶۵ |
| ۳     | ۳                              | ۶                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | -  | -  | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۳۷۱۱۴۹۴ |
| ۴     | ۳                              | ۷                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | -  | -  | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۳۰۰۸۳۰۷ |
| ۵     | ۳                              | ۸                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | -  | -  | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۲۳۹۵۴۱۳ |
| ۶     | ۴                              | ۴                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | ۵  | ۵  | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۴۳۰۰۷۴۲ |
| ۷     | ۴                              | ۵                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | ۵  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۲۹۳۲۴۳۴ |
| ۸     | ۴                              | ۶                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | ۸  | ۶  | ۸  | ۸   | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸                                   | ۸  | ۸  | ۳۱۶۲۰۵۵ |
| ۹     | ۴                              | ۷                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | ۶  | ۶  | ۹  | ۹   | ۹  | ۹  | ۹  | ۹  | ۹  | ۹  | ۹  | ۹                                   | ۹  | ۹  | ۲۵۶۷۳۷۹ |
| ۱۰    | ۴                              | ۸                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | - | ۸  | ۸  | ۸  | ۸   | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸  | ۸                                   | ۸  | ۸  | ۲۰۳۲۹۱۵ |
| ۱۱    | ۵                              | ۴                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۵ | ۵  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۲۵۵۷۶۸۲ |
| ۱۲    | ۵                              | ۵                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۶ | ۶  | ۶  | ۶  | ۶   | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶                                   | ۶  | ۶  | ۳۰۶۲۶۸۸ |
| ۱۳    | ۵                              | ۶                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۵ | ۵  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۲۵۱۲۱۴۹ |
| ۱۴    | ۵                              | ۷                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۶ | ۶  | ۶  | ۶  | ۶   | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶                                   | ۶  | ۶  | ۲۰۷۸۴۴۲ |
| ۱۵    | ۵                              | ۸                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۶۸۲۴۴۸ |
| ۱۶    | ۶                              | ۴                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۵ | ۵  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۲۸۷۱۰۲۴ |
| ۱۷    | ۶                              | ۵                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۶ | ۶  | ۶  | ۶  | ۶   | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶                                   | ۶  | ۶  | ۲۴۸۵۰۰۳ |
| ۱۸    | ۶                              | ۶                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۵ | ۵  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۲۰۵۶۰۳۷ |
| ۱۹    | ۶                              | ۷                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۶ | ۶  | ۶  | ۶  | ۶   | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶  | ۶                                   | ۶  | ۶  | ۱۶۸۹۶۱۷ |
| ۲۰    | ۶                              | ۸                              | ۱۰   | ۱۰ | ۱۰ | - | ۵ | ۵  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰                                  | ۱۰ | ۱۰ | ۱۳۹۹۵۴۵ |

## ۱۱- مراجع

عمیق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر علی کمک پناه، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.

Farzad Naeim, James M. Kelly; Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, John Wiley & Sons, Inc, 1999.

R.I. Skinner, W.H. Robinson, G.H. Mcverry, An Introduction to Seismic Isolation, 1994.

F. Naeim; "Seismic Design Handbook", Chapter 13 by Ronald L. Mayes, "Design of Structures with Seismic Isolation", Van Nostrand Reinhold, 1989.

[۱] چوپرا، آنیل، ترجمه طاحونی، شاپور؛ دینامیک سازه‌ها و تعیین نیروهای زلزله (نظریه و کاربرد)، انتشارات علم و ادب، ۱۳۸۵.

[۲] خشای، امیرحسین؛ تهیه مدل رفتاری جداساز یونیورسال در سازه‌های بلند؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر علی کمک پناه، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.

[۳] نجفی زاده چناری، جعفر؛ بهینه‌سازی گروه شمع‌های



- PEER Strong Motion Database Record, <http://www.peer.Berkeley.edu>. [۷۵]
- Appendix chapter 16, Division IV- Earthquake Regulations for Seismic- Isolated Structure, Uniform Building code, Appendix, 1997. [۷۶]
- CSI Analysis Reference Manual, Computers and structures, Inc., 2005. [۷۷]
- H.S. Kim, P. Roschke; “GA – fuzzy control of smart base isolated benchmark building using supervisory control technique”, Advances in Engineering Software, Vol 38, pp. 453-465, 2007. [۷۸]
- A. Kaveh, M. Shahrouzi; “Simulated annealing and adaptive dynamic variable band mutation for structural optimization by genetic algorithms”, Asian journal of civil engineering, Vol 7, pp. 651-670, 2006. [۷۹]
- Rajeev, S and Krishnamoorthy, P; “Discrete optimization of structure using genetic algorithm”, Journal of structural Engineering, ASCE., Vol. 118, No.5, pp.1233-1250. [۲۰]
- James M. Kelly; “Aseismic and base isolation: review bibliography”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3, 202-216, 1986. [۷]
- <http://www.robinsonseismic.Com> [۸]
- Kelly, James M.; “Earthquake- Resistant Design with Rubber”, Second Edition, Springer, London, 1997. [۹]
- Division IV-Earthquake Design, Uniform Building Code, Volume 2, 1997. [۱۰]
- D.E.Gold berg; “ Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning”, Addison Wesley. [۱۱]
- S.Pourzeynali, M.Zarif; “Multi- objective optimization of seismically isolated high-rise building structures using genetic algorithm”, Journal of sound and vibration, Vol.311, pp.1141-1161, 2008. [۱۲]
- R.S.Jangid; “optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions”, Engineering structures, vol 29, pp.2503-2573, 2007. [۱۳]
- Michael D. Symans; “Seismic protective systems: Seismic Isolation”, FEMA 451, Design Examples, Chapter 15. [۱۴]

## ۱۲- زیر نویس ها

- <sup>۱</sup> John Milne  
<sup>۲</sup> Tokyo  
<sup>۳</sup> Jacob Bechtold  
<sup>۴</sup> Frank Lloyd Wright  
<sup>۵</sup> Skopje  
<sup>۶</sup> Elastic Stiffness  
<sup>۷</sup> Postyield Stiffness  
<sup>۸</sup> Characteristic Strength  
<sup>۹</sup> Lead Rubber Bearing  
<sup>۱۰</sup> Kelly  
<sup>۱۱</sup> Imperial Valley  
<sup>۱۲</sup> Elcentro  
<sup>۱۳</sup> Loma Prieta  
<sup>۱۴</sup> Hollister  
<sup>۱۵</sup> Northridge  
<sup>۱۶</sup> Santa Monica  
<sup>۱۷</sup> Newhall  
<sup>۱۸</sup> Sylmar  
<sup>۱۹</sup> Lake Hughes  
<sup>۲۰</sup> San Fernando

