بهينه‌سازي كاربرد جداگرهاي پي با استفاده از الگوريتم ژنتيک

علي كمک پناه[i]؛ سيدمجيد سبزپوشان[ii] *

چكيده

جداسازي لرزه‌اي، يک روش نسبتا جديد مورد استفاده در ساختمان‌هاي مقاوم در برابر زلزله است كه مبناي آن كاهش نيروهاي وارده بر سازه، به جاي افزايش ظرفيت سازه براي تحمل بارهاي جانبي، است. با وجود پيشرفت‌هاي اخير و تحقيقات فراوان صورت گرفته، مقايسه اقتصادي اين روش با ساير روش‌ها و گرايش‌هاي بيش از حد محافظه كارانه‌ي آئين‌نامه‌ها، هنوز به‌عنوان موانع گسترش سراسري اين فناوري به حساب مي‌آيند. بنابراين در اين مقاله با هدف قرار دادن بحث اقتصادي اين مقوله و در نظر گرفتن وضعيت آيين‌نامه‌هاي موجود و توجه به مسائل كاربردي و عملي و همچنين با اعمال تغييراتي در روند متداول طراحي جداسازها و بهره‌گيري از روش بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك، برنامه‌اي در محيط برنامه‌نويسي فرترن نوشته شده كه اين برنامه در حقيقت تركيبي از برنامه طراحي جداسازها و برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك بوده و هدف اصلي آن كاهش هزينه‌هاي مربوط به جداسازي سازه‌ها با توجه به ملاحظات كاربردي و عملي اين فناوري است. اين برنامه قادر است تا بر اساس ابعاد زمين موردنظر، پلان‌هاي مختلف ستون‌گذاري را با در نظر گرفتن مسائل مرتبط با روسازه و همچنين مسائل اجرايي بررسي نموده و پلاني كه منجر به توليد سامانه جداساز با هزينه‌ي كمتري باشد را به‌عنوان پلان پيشنهادي معرفي نمايد.

كلمات كليدي

جداسازي لرزه‌اي، هزينه‌هاي اقتصادي، مدل بهينه، برنامه‌نويسي 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

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۹/۸/۱۵

تاريخ اصلاحات مقاله:۱۳۹۰/۳/۲۳

[i] دانشيار دانشكده عمران و محيط زيست، دانشگاه تربيت مدرس: a-panah@modares.ac.ir.

[ii] * نويسنده مسئول و كارشناس ارشد مهندسي عمران، دانشكده عمران و محيط زيست، دانشگاه تربيت مدرس: smajid_sabzpooshan@yahoo.com.

۱- مقدمه

اولين تحقيقات در زمينه جداسازي لرزه‌اي را مي‌توان به جان مايلن[1] انگليسي نسبت داد. مايلن در زمينه تحقيقات زلزله‌شناسي آنقدر پيشتاز بود كه اغلب از وي با لقب پدر زلزله‌شناسي نوين نام برده‌اند. او در دانشگاه توكيو[2] نمونه‌اي از يک ساختمان جدا شده را ساخت و سپس اصلاحاتي بر روي آن انجام داد و در نهايت در سال ۱۸۸٦ گزارشي از طرح خود ارائه نمود. بعد از وي كساني همچون جاكوب بچتولد[3] در سال ۱۹۰٦ و فرانک لويدرايت[4] در سال ۱۹۲۱ از ايده جداسازي براي محافظت ساختمان‌ها در برابر زلزله استفاده نمودند [٤].

نخستين مورد استفاده از يک سامانه جداساز لاستيكي براي محافظت ساختمان‌ها در برابر زمين لرزه در سال ۱۹٦۹ ميلادي در ساختمان يک مدرسه ابتدايي در اسكوپيه[5] يوگسلاوي سابق بوده است. در حال حاضر در كشورهاي آمريكا و ژاپن استفاده از جداسازي براي ساختن ساختمان‌هاي مقاوم لرزه‌اي به صورت فعالي پيگيري مي‌شود كه اين روند با اتمام ساختمان‌هاي بزرگ جداسازي شده و عملكرد مطلوب آنها در برابر زلزله‌هاي واقعي شدت گرفته وباعث افزايش تعداد درخواست‌هاي استفاده از اين فناوري درساختمان‌هاي مسكوني نيز شده است [٤].

پيشرفت‌هاي اخير در فناوري لاستيک، ايده جداسازي پايه را تبديل به يک واقعيت عملي نموده است. امروزه جداسازي پايه، فناوري توسعه يافته‌اي است كه در بسياري از كشورها براي كاهش خسارات ناشي از زلزله‌هاي بزرگ در سازه‌ها، به‌كار مي‌رود [٥].

با قرار دادن ساختمان بر روي يک سامانه جداساز، از انتقال يافتن ميزان زيادي از حركات افقي زمين به سازه جلوگيري مي‌شود. اين عمل باعث كاهش قابل ملاحظه‌اي در شتاب‌هاي كف و جابجايي‌هاي بين طبقات شده و بدين وسيله از محتويات ساختمان و اجزاي آن محافظت خواهد شد [٦].

مزيت ديگر جداسازي لرزه‌اي افزايش دوره اصلي ارتعاش سازه و انتقال آن به نواحي كم انرژي‌تر زلزله در طيف پاسخ است. در اثر اين عمل، نيروهاي ارتجاعي حداكثر، كاهش قابل ملاحظه‌اي يابند. براي رسيدن به اهداف فوق، هر سامانه جداساز از سه جزء پايه تشكيل شده است:

۱- تكيه‌گاه انعطاف‌پذير

۲- مستهلک‌كننده و يا جاذب انرژي

۳- وسيله‌اي براي فراهم آوردن صلبيت تحت بارهاي جانبي كوچک [٤].

هدف آيين‌نامه‌ها، كاهش هزينه سازه نبوده بلكه كنترل خسارات وارده به سازه و محتويات آن با توجه به عملكرد الاستيک سازه در زلزله‌هاي شديد است. از اين مهم‌تر، تا زماني كه ضوابط طراحي در آئين‌نامه‌ها به شكل كنوني باقي بماند، نيازهاي آئين‌نامه‌اي آنقدر محافظه كارانه است كه مزاياي بالقوه‌ي استفاده از جداسازي لرزه‌اي را كمرنگ مي‌نمايد.

به همين دليل در اين مقاله سعي شده با هدف قرار دادن بحث اقتصادي اين مقوله و در نظر گرفتن وضعيت فعلي آيين‌نامه‌هاي موجود و توجه بيشتر به مسائل كاربردي و عملي و پرهيز از هزينه‌هاي قالب‌ريزي اضافي براي هر واحد جداساز، راه‌كارهايي براي كاهش هرچه بيشتر هزينه‌هاي مربوط به جداسازي سازه‌ها با عنايت به عملكرد مطلوب آنها در حين زلزله، ارائه شود تا زمينه استفاده هرچه بيشتر از اين فن‌آوري در ساختمان‌هاي معمولي نيز فراهم شود.

براي رسيدن به اين هدف، با اعمال تغييراتي در روند متداول طراحي جداسازها وبا بهره‌گيري از روش بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك به‌عنوان يك روش توانمند بهينه‌سازي، برنامه‌اي در محيط برنامه نويسي فرترن نوشته شده كه در حقيقت تركيبي از برنامه طراحي جداسازها و برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك بوده و هدف اصلي اين برنامه كاهش هزينه‌هاي مربوط به جداسازي سازه‌ها با توجه به ملاحظات كاربردي و عملي اين فناوري است.

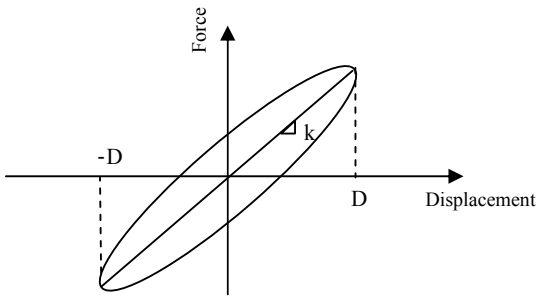
۲- رفتار انواع سامانه‌هاي جداساز

دو طرح اصلي كه در طراحي‌هاي عملي براي استخراج عوامل مربوط به تحليل سامانه‌هاي جداساز مورد استفاده قرار مي‌گيرند عبارتنداز:

۲-۱- مدل خطي

با استفاده از لاستيک طبيعي و مصنوعي مي‌توان جداسازهايي كه به‌نسبت بدون ميرايي بوده و يا ميرايي بسيار كمي دارند را توليد نمود.

شكل (۱) رفتارجداسازهايي كه بدون ميرايي و يا داراي ميرايي بسيار كم هستند را نشان مي‌دهد كه در اين شكل k سختي الاستيک جداساز بوده و در تحليل‌ها از آن استفاده مي‌شود.

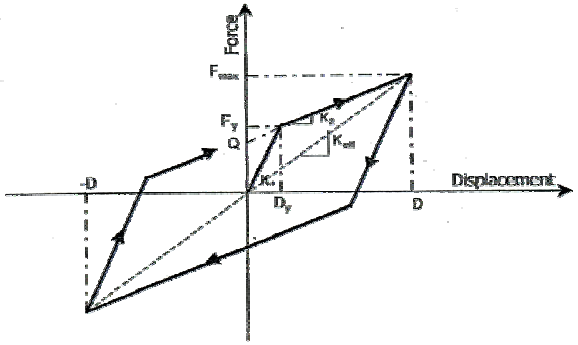


شکل (۱): عوامل‌هاي بيانگر جداسازهاي خطي

۲-۲- مدل دو خطي

رفتار ساير ايزولاتورها را كه شامل نشيمن‌هاي با هسته سربي ولاستيک طبيعي با ميرايي بالا و سامانه‌هايي كه از اعضاي اصطكاكي استفاده نمايند مي‌توان به صورت سامانه‌هايي دوخطي درنظر گرفت. يعني مي‌توان آنها را توسط حلقه‌هاي هيسترزيس نيرو-تغييرمكان به صورت متوازي‌الاضلاع فرض نمود.

همانطور كه در شكل (۲) ديده مي‌شود تمام سامانه‌هاي دوخطي براساس ۳ عامل Q، K_1 و K_2 مدل‌سازي مي‌شوند. عامل K_1 سختي الاستيک[۶]، K_2 سختي پس از تسليم[۷] و Q مقاومت مشخصه جداساز[۸] هستند كه به سادگي از روي نمودارهايي كه از نتايج آزمايش‌هاي ديناميكي بر روي نمونه‌ها حاصل مي‌شوند، به‌دست مي‌آيند.



شكل (۲): عامل‌هاي بيانگر جداسازهاي دو خطي

عامل سختي موثر، K_{eff} به صورت شيب خط گذرنده از نقاط اوج حلقه هيسترزيس تعريف مي‌شود. مقدار سختي موثر را مي‌توان برحسب عامل‌هاي پايه K_1 , K_2 , Q و با توجه به روابط هندسي حاكم، به صورت زير نوشت:

$$k_{eff} = k_2 + \frac{Q}{D} \qquad D \ge D_y \qquad (۱)$$

كه در آن D_y تغييرمكان حد تسليم ايزولاتور بوده و از رابطه (۲) به‌دست مي‌آيد.

$$D_y = \frac{Q}{k_1 - k_2} \qquad (۲)$$

همچنين فركانس طبيعي ω و دوره تناوب موثر T برابر خواهد بود با:

$$\omega = \sqrt{\frac{k_{eff}\ g}{W}} \qquad (۳)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{W}{k_{eff}\ g}} \qquad (۴)$$

كه در اين رابطه W بار قائم مربوط به طراحي ستون است.

سطح محصور شده توسط حلقه هيسترزيس معادل انرژي تلف شده در يک دوره بارگذاري و باربرداري بوده و از رابطه (۵) محاسبه مي‌شود:

$$W_o = 4Q(D - D_y) \qquad (۵)$$

مقدار ميرايي موثر، β_{eff} به ازاي $D \ge D_y$ نيز به صورت رابطه (۶) تعريف مي‌شود:

$$\beta_{eff} = \frac{\text{سطح زيرحلقه هيسترزيس}}{2\pi k_{eff} D^2} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi k_{eff} D^2} \qquad (۶)$$

دو عامل ضريب غيرخطي بودن (NL) و درجه جداسازي (I) نيز بر اساس طرح دو خطي ارائه شده در شكل (۲) به صورت رابطه (۷) بيان مي‌شوند:

$$NL = \frac{F_y}{F_{\max}} - \frac{D_y}{D} \qquad (۷)$$

$$I = \frac{T_{(b_1)}}{T_{(u_1)}} \qquad (۸)$$

كه در اين رابطه $T_{(b_1)}$ زمان تناوب سازه جداسازي شده در حالت اول الاستيک و $T_{(u_1)}$ زمان تناوب همان سازه با پايه ثابت است [۵].

سامانه‌هاي هيسترزيس دوخطي كه داراي جداسازي الاستيک خوب و ميزان غيرخطي بودن متوسط هستند را مي‌توان به عنوان يک دسته مرجع درنظرگرفت. در بسياري از موارد كاربردي، اين دسته، طرحي منطقي براي رسيدن به برش پايه كم، تغييرمكان جداگر كوچک همراه با طيف پاسخ كف كم تا متوسط را ارائه مي‌دهند. اين نوع جداسازي مي‌تواند توسط تكيه‌گاه‌هاي سربي- لاستيكي تامين شود [۵].

در اين تحقيق، نشيمن‌هاي الاستومري با هسته سربي[۹] (LRB) كه از آنها در بسياري از موارد كاربردي در سطح جهان استفاده شده و عملكرد مطلوب آنها در زلزله‌هاي واقعي ارزيابي و مواردي مثل جزئيات نصب و طراحي آنها نيز به

خوبي شناخته شده، انتخاب و طراحي‌ها و نتيجه‌گيري‌ها بر اساس اين نوع جداگر انجام شده است. اين نشيمن‌ها، شرايط تكيه‌گاهي لازم براي سازه، انعطاف‌پذيري افقي و ميرايي را مجموعا در يک واحد كه نصب آن نيز آسان است تامين نمايند.

۳- طراحي و تحليل سامانه‌هاي جداساز

براي ارائه يك الگوي بهينه و مناسب از نظر فني واقتصادي براي كاربرد جداگرهاي پي، ابتدا بايد روش متداول طراحي جداسازها و آيين‌نامه‌هاي مورد استفاده در اين رابطه مورد بررسي قرار گيرد تا براساس نتايجي كه به‌دست مي‌آيد وضعيت آيين‌نامه‌هاي موجود و چگونگي اعمال تغييرات در روند متداول طراحي جداسازها، مشخص شود. با توجه به اين مطالب، در اين تحقيق ابتدا بر اساس روش‌هاي متداول طراحي، جداسازها براي يك دسته از سازه‌ها طراحي و ارزيابي شده كه در ادامه اين فرايند تشريح مي‌شود.

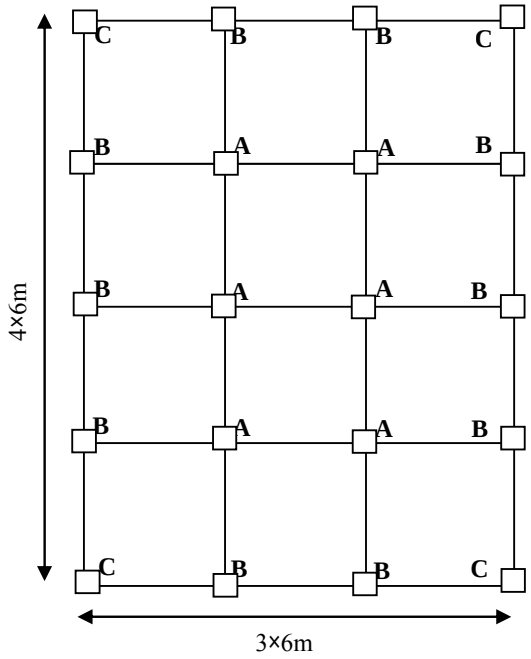
۳-۱- فرايند طراحي سامانه‌هاي جداساز

فرايند طراحي يک سامانه جداساز معمولا با طراحي اوليه آن شروع مي‌شود كه براي اين منظور از عامل‌هاي موجود در پژوهش‌هاي قبلي و يا از داده‌هاي ارائه شده به وسيله سازنده جداسازها استفاده مي‌شود. در اين پژوهش از نتايج آزمايش‌هاي انجام شده براي چند پژوهش بزرگ در ژاپن ازجمله ساختمان‌هاي اداري *TPC* استفاده شده است. اين نتايج كه توسط كلي[۱۰] ارائه شده‌اند [۸] در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): عوامل مكانيكي سامانه‌هاي LRB

G1 (Kg/cm2)	G2 (Kg/cm2)	τY (Kg/cm2)	γY (%)	G2/G1
۳۶	۶	۳/۶	۱۰	۰/۱۶۶۷

در جدول فوق G_1 و G_2 به ترتيب مدول برشي جداساز قبل و پس از تسليم τ_y و γ_y تنش برشي و كرنش برشي در حالت تسليم است. با توجه به اينكه بيشترين استفاده از مزاياي جداسازي لرزه‌اي در ساختمان‌هاي با ارتفاع كم تا متوسط (يعني سازه‌هايي كه داراي دوره ارتعاشي كوتاه هستند)، است بنابراين در اين تحقيق، سازه‌هاي با تعداد طبقات ۲، ٤، ٦، ۸ و ۱۰ طبقه و با پلان ۲٤×۱۸ متر مربع انتخاب شده و طراحي سامانه‌هاي جداساز براي آنها بر اساس ضوابط ومعيارهاي آيين‌نامهUBC-97 انجام شده است. انتخاب اين اندازه‌ها براي مورد مطالعه به اين دليل است كه طبق بررسي‌هاي انجام شده بر روي ساختمان‌هاي ايزوله، در بيشتر موارد، حداقل طول دهانه‌ها ٦ متر بوده است كه اين، خود مزيت ساختمان‌هاي ايزوله را نسبت به ساختمان‌هاي با پايه ثابت در ارتباط با كاهش محدوديت‌هاي معماري بيان مي‌نمايد.



شكل (۳): طرح مورد مطالعه و محل قرارگيري جداسازها

اين ساختمان‌ها همگي داراي سامانه قاب مقاوم خمشي بوده و ارتفاع طبقات در آنها ۳/۲ متر است. بار زنده و مرده طبقات به ترتيب ۲۰۰ و ٦۵۰ كيلوگرم بر متر مربع بوده و براي محاسبه وزن هر طبقه كه در تحليل استاتيكي و ديناميكي مورد استفاده قرار مي‌گيرد ۲۵ درصد بار زنده به بار مرده افزوده شده است. سامانه‌هاي جداساز مورد بررسي در اين طرح‌ها براساس بار قائم ستون و روش معادل استاتيكي طراحي شده‌اند. براي اين منظور ستون‌هاي هر ساختمان به ۳ نوع A ، B و C تقسيم‌بندي شده‌اند. همان‌طور كه در شكل (۳) ديده مي‌شود، ستون‌هاي نوع A، همه ستون‌هاي وسط، ستون‌هاي نوع B همه ستون‌هاي كناري و ستون‌هاي نوع C، ستون‌هاي گوشه ساختمان را شامل مي‌شوند. بدين ترتيب سامانه ايزوله هر طرح داراي ٦ عدد ايزولاتور نوع A، ۱۰ عدد ايزولاتور نوع B و ٤ عدد ايزولاتور نوع C است.

۳-۲- تعيين عوامل لرزه‌اي

براي طراحي سامانه جداساز، لازم است تا عوامل لرزه‌اي مورد نياز از آيين‌نامه استخراج شوند. اين عوامل به نحوي

انتخاب شده‌اند که با عوامل موجود در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران براي شهر تهران مطابقت داشته باشند. براي تعیین عوامل لرزه‌اي 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 کیلومتري گسلي قرار دارد که قادر به تولید زمین لرزه‌هایي با ۶/۵≤M≤۷ است.

با توجه به فرضیات بالا و جداول ارائه شده در بخش طراحي ایزولاتورها در آیین‌نامه UBC-97 عوامل لرزه‌اي را مي‌توان به صورت جدول (۲) خلاصه نمود [۱۰].

جدول (۲): عوامل لرزه‌اي مورد نیاز

ضریب ناحیه لرزه خیزي (Z)	۰/۴
نوع پروفیل خاک	S_C
نوع چشمه لرزه اي	B
ضریب نزدیکي چشمه N_a	۱
ضریب نزدیکي چشمه N_v	۱
ضریب پاسخ حداکثر زلزله ممکن MCE	۱/۲۵
ضریب لرزه‌اي C_{AD}	۰/۴
ضریب لرزه‌اي C_{VD}	۰/۵۶
ضریب لرزه‌اي C_{AM}	۰/۵
ضریب لرزه‌اي C_{VM}	۰/۷

طراحي گام به گام سامانه‌هاي جداساز در تحقیق حاضر بطور اختصار داراي مراحل زیر است [۱۰]:

۱- فرض مقادیر اولیه براي دوره سامانه، T و کرنش برشي آن، γ.

۲- محاسبه سختي موثر هر ایزولاتور با توجه به بار طراحي ستون W و مقدار T که با توجه به رابطه (۹) به‌دست مي‌آید:

$$K_{eff} = \frac{W}{g}\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \qquad (۹)$$

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

$$D_D = \frac{gC_{VD}T_D}{4\pi^2 B_d} \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه g شتاب گرانشي زمین، C_{VD} ضریب لرزه‌اي، T_D دوره تناوب سامانه جداساز و B_d ضریب میرایي بوده که B_d بر اساس فرض کرنش برشي و استفاده از جداول آیین‌نامه UBC–97 در قسمت طراحي جداسازها به‌دست مي‌آید.

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

$$t_r = \frac{D_D}{\gamma} \qquad (۱۱)$$

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

$$A = \frac{kt_r}{G} \qquad (۱۲)$$

که در آن G مدول برش جداساز در کرنش برشي γ است که از منحني تنش ـ کرنش قابل محاسبه است. پس از محاسبه A با فرض اینکه جداسازهاي مورد استفاده مربعي باشند، ابعاد جداسازها a به دست مي‌آیند.

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

۷- محاسبه سختي جداسازها براساس t_r ،A اصلاح شده و محاسبه سختي موثر کل سامانه جداساز که از مجموع سختي تمام جداسازها به‌دست مي‌آید.

۸- محاسبه دوره سامانه جداساز و جابجایي مرکز آن.

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

۱۰- محاسبه عوامل تحلیل دینامیکي:

$$k_1 = \frac{G_1 A}{t_r} \qquad \text{سختي قبل از تسلیم} \qquad (۱۳)$$

$$k_2 = \frac{G_2 A}{t_r} \qquad \text{سختي پس از تسلیم} \qquad (۱۴)$$

$$F_y = \tau_y A \qquad \text{نیروي برشي تسلیم جداساز} \qquad (۱۵)$$

با توجه به مراحل فوق، طراحي سامانه‌هاي جداساز، یک فرآیند تکراري و زمان بر بوده که در بعضي از موارد تجربه طراح نیز مي‌تواند بسیار اثرگذار باشد. نتایج حاصل از طراحي صورت گرفته که شامل ابعاد جداسازها، عوامل طراحي، خواص معادل خطي و عوامل تحلیل دینامیکي غیرخطي هستند و از آنها در طراحي جداسازها در طرح محاسباتي این تحقیق براي ساختمان‌هاي با دهانه ۶ متري استفاده مي‌شود در جدول (۳) ارائه شده است.

۳-۳- بررسي نتایج حاصل از تحلیل‌هاي دینامیکي

با در دست داشتن عوامل مکانیکي جداسازها و طراحي آنها در برنامه SAP 2000، تحلیل‌هاي دینامیکي تاریخچه زماني با استفاده از شتاب نگاشت‌هاي مقیاس شده انجام و نتایج حاصل از این تحلیل‌ها با نتایج حاصل از تحلیل‌هاي شبه‌استاتیکي مقایسه شده و در نهایت مقادیر طراحي براي ساخت جداسازها معین مي‌شوند. بر طبق ضوابط آیین‌نامه UBC-97 براي یک تحلیل دینامیکي تاریخچه زماني باید حداقل از سه جفت شتاب نگاشت مناسب استفاده نمود. این شتاب نگاشت‌ها باید داراي

بزرگي، فاصله از گسل و ويژگي‌هاي چشمه لرزه‌اي سازگار با آنچه که زلزله مبناي طرح (يا زلزله محتمل حداکثر) را کنترل مي‌نمايند، باشند.

مقادير طرح در تحليل ديناميکي به صورت زير محاسبه مي‌شوند:

- در صورت استفاده از سه تاريخچه زماني، طرح بايد براساس حداکثر کميت‌هاي پاسخ انجام شود.
- در صورت استفاده از هفت تاريخچه زماني، طرح بايد براساس متوسط کميت‌هاي پاسخ انجام شود [۱۰].

پس از انتخاب شتاب نگاشت‌هاي مناسب، بايد آنها را با روشي که در آيين‌نامه ارائه شده است مقياس نمود. با توجه به اينکه در صورت استفاده از ۷ مولفه و بکارگيري متوسط مقادير پاسخ حداکثر هريک از هفت مولفه، نتايج حاصله برابري بهتري با طيف طرح آيين‌نامه خواهند داشت، به همين دليل در اين پژوهش از ۷ تحريک واقعي زلزله استفاده شده که مشخصات اين ثبات‌ها در جدول (٤) ارائه شده است.

جدول (٤): مشخصات ثبات‌هاي تاريخچه زماني استفاده شده

نام ثبات	زمان وقوع	ايستگاه ثبت کننده	PGA(g)	
			مولفه ۰ درجه	مولفه ۹۰ درجه
امپريال ولي[11]	۱۹۷۹	ال سنترو[12]	۰/۴۱	۰/۴۳۹
لوما پريتا[13]	۱۹۸۹	هوليستر[14]	۰/۳۷۱	۰/۱۷۷
نورث ريج[15]	۱۹۹۴	سانتا مونيکا[16]	۰/۳۷	۰/۸۸
طبس	۱۹۷۸	طبس	۰/۸۳۶	۰/۸۵۲
نورث ريج	۱۹۹۴	نيو هال[17]	۰/۵۸۹	۰/۵۸۳
نورث ريج	۱۹۹۴	سيلمار[18]	۰/۸۴۳	۰/۶۰۴
ليک هيوگز[19]	۱۹۷۱	سن فرناندو[20]	۰/۱۴۵	۰/۱۱

نتايج مربوط به تغيير مکان روي جداساز حاصل از تحليل ديناميکي سازه‌هاي با دهانه ٦ متر در جدول (۵) آورده شده است. مقاطع درنظر گرفته شده براي روسازه، براي ستون‌ها TUBO (قوطي مربع مستطيل) و براي تيرها مقطع IPB (تيرآهن عريض I) است.

بررسي مقادير به‌دست آمده از تحليل براي تغيير مکان روي جداساز (جدول۵)، به خوبي نشان مي‌دهد که آئين‌نامه UBC-97 درزمينه طراحي جداسازهاي لرزه‌اي بسيار محافظه‌کارانه عمل نموده که اين محافظه‌کاري بيش از حد بعلاوه‌ي فرايند تکراري طراحي جداسازها از عواملي هستند که در افزايش هزينه‌هاي اقتصادي مربوط به اين فناوري نقش عمده‌اي دارد. پس در اين تحقيق بعد از شناخت اين عوامل و در راستاي کاهش هزينه‌ها وبا استفاده از روش بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك برنامه‌اي جامع و در عين حال کاربردي، تدوين شده تا برخلاف در نظر گرفتن ملاحظات فني، هزينه‌هاي جداسازي تا حد امکان کاهش يابد. گفتني است که اين برنامه براي هر نوع پلان و با هر ابعادي کارايي داشته و سازه با ابعاد مشخص در اين مقاله به‌عنوان مثال ارائه شده است.

۴- طراحي بهينه جداسازهاي پايه

برنامه رايانه‌اي تدوين شده در تحقيق حاضر، در محيط برنامه‌نويسي فرترن تهيه شده و هدف اصلي اين برنامه کاهش هزينه‌هاي مربوط به جداسازي سازه‌ها با توجه به ملاحظات کاربردي و عملي اين فناوري است. يکي از ويژگي‌هاي اين برنامه، توانايي آن در توليد پلان‌هاي مختلف با توجه به محدوديت‌هاي تعريف شده براي فاصله بين ستون‌ها است، که در حقيقت با اين روش، تعداد مناسبي از طرح‌هاي بهينه در اختيار طراح قرار مي‌گيرد و در حالتي که محدوديتي از لحاظ معماري و اجرايي وجود نداشته باشد مي‌توان از ميان طرح‌هاي بهينه، بهينه‌ترين طرح را انتخاب نمود.

الگوريتم ژنتيک بکار رفته براي بهينه‌سازي در اين برنامه، داراي يک سري عوامل اساسي است که عبارتند از:

ميزان جمعيت، احتمال ترکيب، احتمال جهش، نوع ترکيب. که تعيين مناسب اين عوامل در نتيجه نهايي تحليل و سرعت همگرايي برنامه بسيار اثرگذار بوده و انتخاب صحيح اين عوامل بر اساس تجربه و تحليل حساسيت (در صورت وجود کارهاي مشابه و داشتن مقادير اوليه) براي هر مورد خاص انجام شود.

در اين تحقيق با توجه به نبود کارهاي مشابه و نداشتن مقادير اوليه‌اي براي انجام تحليل حساسيت، سعي شده تا با انجام تحليل‌هاي متعدد مقاديري براي عوامل الگوريتم ژنتيك انتخاب شود که با محدوده کلي تعريف شده براي آنها نيز برابري داشته باشد. مقادير در نظر گرفته شده براي عوامل فوق به صورت زير است:

جدول (۶): مقاديرعوامل الگوريتم ژنتيک

پارامتر	مقدار در نظر گرفته شده
ميزان جمعيت اوليه	۳۰
احتمال ترکيب	P_c = ۰/۵
احتمال جهش	P_m = ۰/۰۲

۵- بهینه‌سازي جداسازها با توجه به تابع هدف

مشخصات جداساز طراحي شده براي هر پلان را به صورتي تعيين مي‌نماييم كه تابع هزينه آن تحت شرايط طراحي و اجرايي، كم‌ترين مقدار را داشته باشد. بدين منظور متغيرهاي طراحي (D^T) را به صورت $D^T=(d,t_r,S_V,S_H,N_V,N_H)$ در نظر مي‌گيريم كه در آن d قطر جداساز، t_r ارتفاع جداساز، S_V فاصله دهانه‌ها در راستاي طولي سايت موردنظر و S_H فاصله دهانه‌ها در راستاي عرضي آن و N_V و N_H نيز تعداد دهانه‌ها در راستاي طولي و عرضي هستند. در حقيقت مقادير N_V و N_H و S_V و S_H مشخص‌كننده پلان موردنظر خواهند بود و خروجي برنامه مي‌تواند به تعداد N_V و N_H مقادير متفاوتي براي S_V و S_H انتخاب نمايد.

براي در نظر گرفتن ميزان مصرف مصالح در روسازه و هم‌چنين مسائل اجرايي مرتبط با آن، دو ضريب جداگانه به نام‌هاي ضريب روسازه و ضريب چشمه در تابع هدف كه همان تابع هزينه است، اعمال شده است. واضح است كه با زياد شدن فاصله بين دهانه‌ها، مقاطع در روسازه نيز بزرگ‌تر شده و در نتيجه هزينة آنها نيز بيشتر مي‌شود. براي اعمال اين افزايش هزينه در تابع هدف و با توجه به محدودة در نظر گرفته شده براي فواصل بين دهانه‌ها، براي فواصل ۵ متري كه در اجرا بيشتر متداول است، از ضريب ۱ و براي فواصل ۱۰ متري از ضريب ۱/۲ و براي ساير فواصل از روش انترپلاسيون استفاده شده است (گفتني است كه محدوده تعريف شده براي فواصل بين دهانه‌ها براي هر پژوهش قابل تغيير است). با مشخص شدن پلان مربوط به هر طرح، ابتدا اين ضريب براي تك‌تك دهانه‌ها و سپس براي هر راستا و در نهايت براي كل پلان محاسبه و در تابع هدف ضرب مي‌شود.

همچنين مي‌دانيم كه براي كاهش هزينه‌ها، از نظر اجرايي، مناسب‌تر است كه تنوع چشمه‌ها در يك پلان تا حد امكان حداقل باشد. براي در نظر گرفتن اين مسئله، ابتدا با مشخص شدن تعداد دهانه‌ها در هر راستا، حداكثر تعداد چشمه‌هايي كه هر پلان امكان دارد داشته باشد، مشخص مي‌شود. پس از آن و در فرايند انجام عمليات الگوريتم ژنتيك، اگر تعداد چشمه‌هاي يك پلان ۱ شود براي آن پلان ضريب ۱ و اگر تعداد چشمه‌ها برابر حداكثر مقدار محاسبه شده باشد، ضريب ۱/۵ در نظر گرفته مي‌شود. در اينجا نيز ضريب مرتبط با ساير موارد از راه انترپلاسيون محاسبه خواهد شد.

٦- توضيح مراحل اجراي الگوريتم برنامه

مرحله اول: در اين مرحله برنامه، اطلاعات مربوط به موارد زير را دريافت مي‌نمايد:

– مشخصات هندسي مربوط به ابعاد زمين مورد نظر، موقعيت مكاني آن، مقادير مربوط به بارگذاري و تعداد طبقات سازه.

– مقادير مربوط به طراحي جداسازها كه در ادامه توضيح داده خواهد شد.

مرحله دوم: در اين مرحله برنامه، P پلان به صورت تصادفي به‌عنوان جمعيت اوليه توليد مي‌نمايد. نحوه توليد پلان‌ها به اين صورت است كه بر طبق تعريف انجام شده براي برنامه براي محدوديت فاصلة بين دهانه‌ها، محدودة تعداد دهانه‌ها براي هر راستا براي برنامه مشخص شده و سپس برنامه، يك سري اعداد صحيح را براي فاصلة بين ستون‌ها، در نظر مي‌گيرد. توضيحات تكميلي بيشتر با ارائه يك مثال آورده شده است.

مرحلة سوم: در اين مرحله بر اساس پلان در نظر گرفته شده در مرحلة قبل و با توجه به اطلاعات ورودي، برنامه ابعاد جداساز مورد نياز براي قرارگيري در زير هر يك از ستون‌ها را بر مبناي الگوريتم طراحي جداسازها، محاسبه مي‌نمايد. بر اساس طرح ارائه شده براي جداسازها، حجم كل مورد نياز لاستيك براي ساخت جداسازها با درنظر گرفتن كاهش هزينه‌هاي مربوط به قالب‌بندي اضافي براي هر واحد جداساز، محاسبه مي‌شود.

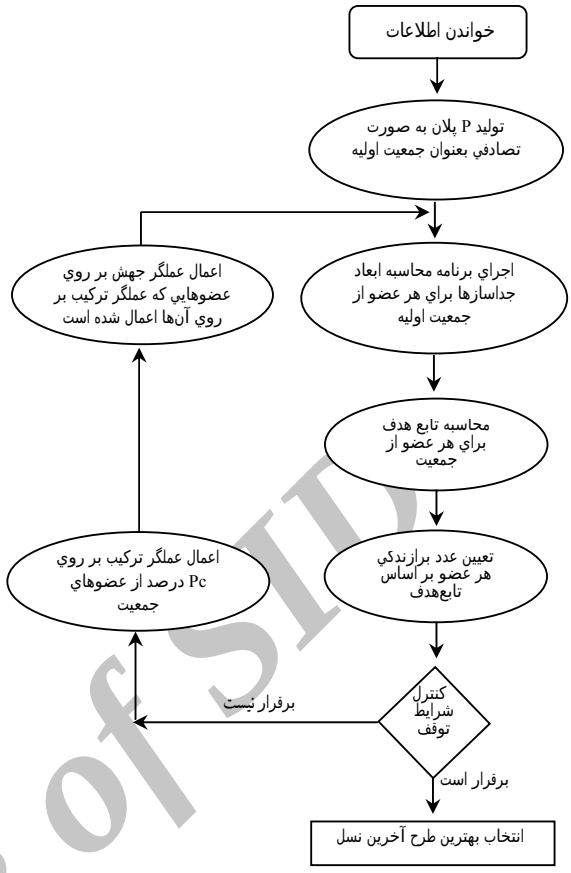
مرحله چهارم: در اين مرحله تابع هدف يا همان تابع هزينه براي هر عضو از جمعيت و بر اساس پلان در نظر گرفته شده و جداسازهاي طراحي شده براي آن پلان، محاسبه مي‌شود.

براي عموميت بخشيدن به برنامه نوشته شده در اين تحقيق، حجم كل ايزولاتور مورد نياز براي هر طرح (يا همان پلان) مشخص كه با توجه به طراحي جداسازهاي مربوط به آن، به‌دست مي‌آيد و معيار مناسبي براي محاسبه هزينه ساخت جداسازها است، به‌عنوان تابع هدف در برنامه در نظر گرفته شده است.

در شكل (٤) نمودار گردشي اجراي برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك براي بهينه‌نمودن سازه‌هاي جداسازي شده نشان داده شده است.

مرحله پنجم: پس از تعيين تابع هدف براي هر عضو از جمعيت، عضوها بر اساس مقادير تابع هدف آنها از كوچك به بزرگ مرتب شده و براي هر كدام از آنها يك عدد برازندگي نسبت داده مي‌شود كه اين عدد يك عدد غير منفي بوده و

احتمال انتخاب شدن هر عضو را درمرحله هفت تعيين مي‌نمايد.



شكل (٤): نمودارگردشي اجراي برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك براي بهينه‌نمودن سازه‌هاي جداسازي شده

مرحله ششم: در اين مرحله شرايط توقف برنامه كنترل مي‌شود، تعداد تكرار و يا زمان اجراي برنامه مي‌تواند به عنوان شرايط پايان برنامه در نظر گرفته شود. اگر شرايط توقف برقرار شده باشد، بهترين طرح از آخرين نسل به عنوان جواب بهينه انتخاب شده و برنامه متوقف مي‌شود. در اين تحقيق، شرط توقف، تعداد تكرار، قرار داده شده و اجراي برنامه در تكرار ١٠ ام متوقف مي‌شود.

مرحله هفتم: براي توليد نسل جديد، پس از تعيين برازندگي طرح‌ها، عملگرهاي تركيب و جهش بر روي آن‌ها اعمال مي‌شود. با استفاده از روش ديسك‌گردان، هر بار دو رشته به طور تصادفي انتخاب شده و تحت عمل تركيب يک نقطه‌اي قرار مي‌گيرند. سپس رشته‌هايي كه بدين صورت توليد شده‌اند تحت عمل جهش قرار خواهند گرفت. در تمام مراحلي كه طرح‌هاي جديد توليد مي‌شوند، كنترل مي‌شود كه متغيرهاي طراحي در محدودة موردنظر قرار داشته باشند.

مرحله هشتم: براي طرح‌هاي جديدي كه با استفاده از عملگرهاي تركيب و جهش ايجاد گشته‌اند، جداسازها طراحي شده و تابع هدف براي هر يك از آن‌ها محاسبه مي‌شود. در واقع مراحل ٣ تا ٧ يك چرخه را تشكيل داده و به تعداد مناسب تكرار مي‌شوند.

٧- مراحل طراحي جداسازها در برنامه بهينه‌سازي

برنامه تدوين شده براي بهينه‌سازي كاربرد جداگرهاي پي از دو قسمت اصلي كه يكي مربوط به طراحي خود جداسازها و ديگري مربوط به انجام عمليات بهينه‌سازي توسط روش الگوريتم ژنتيك است، تشكيل مي‌شود. در حقيقت اين دو برنامه در كنار يكديگر فرايند بهينه‌سازي را انجام مي‌دهند. مراحل طراحي جداسازها براي هر پلان مشخص، عبارتند از:

١- وارد نمودن مقادير مربوط به طراحي جداسازها كه عبارتند از:

- مشخصات مربوط به پلان.
- مشخصات مربوط به بارگذاري سازه.
- مشخصات مربوط به لاستيك كه شامل G_1 (مدول برش الاستومر در حالت الاستيك) G_2 (مدول برش الاستومر پس از تسليم) γ_y (كرنش برشي متناظر با نيروي تسليم) و γ_D (حداكثر كرنش برشي) و C_{VD} ضريب لرزه‌اي منطقه است.

٢- محاسبه بار قائم مربوط به هر يك از ستون‌ها توسط برنامه.

٣- محاسبه عامل ميرايي موثر β_{eff}

$$\beta_{eff} = \frac{4\tau_Q(\gamma_D - \gamma_y)}{2\pi(G_2 + \frac{\tau_Q}{\gamma_D})\gamma_D^2} \qquad (١٦)$$

كه در اين فرمول τ_Q از رابطة ١٧ بدست مي‌آيد:

$$\tau_Q = (G_1 - G_2)\gamma_y \qquad (١٧)$$

٤- در نظر گرفتن محدوده‌اي بين ١/٥ تا ٤ ثانيه و با گام ٠/١ براي دوره سازه جداسازي شده وسپس محاسبه سختي موثر جداسازها براي زير هر يك از ستون‌ها.

٥- محاسبه عامل B_d، D_D و t_r، به ازاي تمام مقادير مربوط به دوره سازه كه در بند ٤ گفته شد.

براي تبديل اعداد مربوط به D_D و t_r به اعداد اجرايي، محدوده‌اي براي اين عوامل در نظر گرفته شده كه اين محدوده براي D_D، اعداد صحيح قبل و بعد از آن و با گام ٠/٥ (سانتي‌متر) و براي t_r اعداد صحيح قبل و بعد از آن و با گام ١ (سانتي‌متر) است.

براي محاسبة B_d از رابطه ١٨ استفاده مي‌شود:

$$B_d = \frac{4}{1 - Ln\beta} \qquad (١٨)$$

٦- محاسبه سطح مورد نياز جداسازها و در نتيجه ابعاد

آن‌ها (در دو حالت مربعي يا دايره‌اي) و سپس تبديل اين ابعاد به اعداد صحيح.

در مورد سطح مورد نياز جداسازها از رابطه ۱۹ استفاده مي‌شود:

$$K=\frac{G\,A}{t_r} \qquad (۱۹)$$

كه در رابطة فوق K سختي موثر مربوط به هر يك از جداسازها بوده و در بند ۴ محاسبه شده و G با توجه به رابطة (۲۰):

$$G=G_{eff}=(G_2+\frac{\tau_Q}{\gamma_D}) \qquad (۲۰)$$

محاسبه مي‌شود.

۷- محاسبه سختي جداسازهاي طراحي شده بر اساس اعداد اصلاح شده و سپس محاسبه سختي كل سامانه جداساز.

۸- محاسبه وزن كل سازه.

۹- محاسبه دوره سازه جداسازي شده بر اساس سختي كل محاسبه شده در بند ۷ و وزن كل سازه كه از بند ۸ بدست مي‌آيد.

۱۰- در صورتي كه مقدار دوره محاسبه شده در بند ۹ با دوره‌اي كه در گام ۴، برنامه در نظر گرفته بود داراي تفاوتي كم‌تر از ميزان خطايي باشد كه براي برنامه تعريف مي‌نماييم، مشخصات جداساز و عوامل آن به همراه يك شمارنده مخصوص در برنامه ذخيره مي‌شود.

۱۱- در اين مرحله برنامه با بررسي مشخصات جداساز و سازه جداسازي شده و از بين حالات طراحي شدة ممكن، حالتي كه داراي حداقل حجم و در نتيجه هزينه كم‌تري است را انتخاب نموده و سپس مشخصات جداساز زير هر يك از ستون‌ها را بر اساس اعداد اجرايي (مضربي از ۵) مشخص مي‌نمايد. خروجي اين قسمت براي هر پلان مشخص شده، به برنامه الگوريتم ژنتيك وارد مي‌شود.

گفتني است كه برنامه به نحوي نوشته شده است كه وقتي بند ۱۰ برقرار شد مشخصات جداساز را بر اساس كم‌ترين D_D و t_r ممكن ارائه مي‌نمايد. همچنين با بررسي پژوهش‌هاي اجرايي و پيشنهادات كارخانجات توليدكننده جداسازها و در راستاي كاهش هزينه‌هاي قالب‌بندي براي هر واحد جداساز، حداقل بعد براي جداسازها در اين برنامه ۳۰ سانتي‌متر تعريف شده و اگر بر اساس طراحي بعد جداسازي از ۳۰ سانتي‌متر كم‌تر باشد، برنامه حداقل بعد را براي آن در نظر مي‌گيرد.

حال به تحليل مساله‌اي در اين زمينه مي‌پردازيم:

فرض كنيد زمين موردنظر داراي ابعاد۴۰×۳۰ متر مربع بوده و اطلاعات مرتبط با زمين مورد نظر و بارگذاري سازه و ساير موارد مربوط به طراحي جداسازها مانند مثال ارائه شده در بند ۳-۱ باشد.

ابتدا مقادير مناسب عوامل الگوريتم ژنتيک و متغيرهاي طراحي، تعيين مي‌شوند. با توجه به اينكه بيش‌ترين و كم‌ترين محدوده تعريف شده براي فاصله بين دهانه‌ها در برنامه به ترتيب ۱۰ و ۵ متر است، بنابراين پس از مشخص شدن ابعاد زمين، برنامه ابعاد موردنظر را به بيش‌ترين و كم‌ترين فاصله ممكن بين دهانه‌ها، تقسيم نموده تا محدوده تعداد دهانه‌ها براي برنامه مشخص شود. بر اين اساس براي اين سايت محدوده تعداد دهانه‌ها به صورت زير خواهد بود:

۶≤ تعداد دهانه‌ها براي بعد ۳۰ متري≤ ۳

۸≤ تعداد دهانه‌ها براي بعد ۴۰ متري≤ ۴

حالت‌هاي مختلف توليد پلان براي سايت در نظر گرفته شده در جدول ۷ ارائه شده است. پس از اينكه مطابق جدول ۷ تعداد دهانه‌ها براي برنامه مشخص شد و برنامه پلان موردنظر را توليد نمود، با توجه به تعداد دهانه‌ها و استفاده از برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيک، برنامه، يک سري اعداد تصادفي بين ۵ تا ۱۰ متر (با گام ۱ متر) براي فاصله بين دهانه‌ها را از راهي انتخاب نمايد كه مجموع آنها برابر ۳۰ و ٤۰ متر شود. يعني به عنوان مثال وقتي بعد ۳۰ متر را به ۳ دهانه و بعد ٤۰ متر را به ۵ دهانه تبديل نمود، آنگاه پلان موردنظر را شكل داده و برنامه وارد الگوريتم ژنتيک مي‌شود. با توجه به تعداد دهانه انتخابي براي بعد ۳۰ متر فقط عدد ۱۰ متر براي اين بعد قابل قبول است ولي براي بعد ٤۰ متر اعداد مختلفي بين ۵ تا ۱۰ متر را انتخاب نموده و براي هر پلان، برنامه طراحي جداسازها فرا خوانده شده و ايزولاتور مربوط به هر پلان مطابق برنامه طراحي جداسازها، طراحي مي‌شود. يعني با اين پلان و اعداد تصادفي كه انتخاب مي‌نمايد جمعيت اوليه را توليد نموده و در پايان پس از انجام الگوريتم ژنتيك، جواب بهينه مربوط به اين تعداد دهانه در هر راستا كه شامل فاصله بين دهانه‌ها و در نتيجه مشخصات جداساز مربوطه است را محاسبه نموده و بعد از اتمام اين مرحله وارد حلقه دوم مي‌شود.

در اين مثال با توجه به ابعاد زمين موردنظر، ۲۰ بار اين عمل تكرار مي‌شود و در پايان از بين ۲۰ جواب به‌دست آمده، دوباره برنامه پلاني كه كم‌ترين حجم ايزولاتور را دارد انتخاب نموده و در خروجي چاپ مي‌نمايد.

براي مقايسه خروجي برنامه نوشته شده با طراحي‌هاي متداولي كه صورت مي‌گيرد، جداسازهاي مربوط به يک سازه شش طبقه كه داراي سايت ٤۰×۳۰ متر مربع است، با استفاده از

برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيک طراحي شده‌اند. نتايج به‌دست آمده از برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيک براي پلان‌هاي مختلف توليد شده و فاصله بين دهانه‌هاي متفاوت در نظر گرفته شده و حجم کل ايزولاتور طراحي شده براي هر يک از آنها در جدول (۸) نشان داده شده است.

در مثال ارائه شده برنامه دو نوع ايزولاتور به ابعاد ۳۰ سانتي‌متر براي ستون‌هاي گوشه و کنار و ٤۰ سانتي‌متر براي ستون‌هاي وسط را ارائه نموده در حالي‌که در طراحي دستي و متداول صورت گرفته (که مانند مثال بند ۳ انجام شده است) براي اين زمين که پلان موردنظر آن داراي سه دهانه در بعد ۳۰ متر و چهار دهانه در بعد ٤۰ متر و با طول‌هاي برابر با ۱۰ متر براي همه دهانه‌ها است، جداسازها برابر ۳ نوع بوده که ابعاد آنها براي ستون‌هاي گوشه برابر با ۳۹ سانتي‌متر و براي ستون‌هاي کناري برابر با ٥٤ سانتي‌متر و براي ستون‌هاي وسط برابر با ۷۷ سانتي‌متر، بدست مي‌آيد.

در مقايسه طراحي دستي و طرح ارائه شده توسط برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيک، ديده مي‌شود با توجه به کاهش حجم الاستومر مصرفي و همچنين کاهش تنوع ابعاد جداسازها و در نتيجه کاهش هزينه‌هاي قالب‌بندي اضافي، در صورت استفاده از طرح پيشنهاد شده توسط برنامه بهينه‌سازي، هزينه‌هاي جداسازي که در حقيقت هدف نهايي اين تحقيق است، برخلاف درنظر گرفتن ملاحظات طراحي و اجرايي به ميزان قابل توجهي کاهش مي‌يابد.

۸- نکات قابل توجه در راستاي انجام اين تحقيق

قبل از بيان نتيجه‌گيري‌هاي کلي بدست آمده از اين تحقيق، لازم است موارد زير در رابطه با کاربرد جداسازها و برنامه تدوين شده در اين پژوهش، مورد توجه قرار گيرد:

– در طراحي سازه‌هاي متداول، رفتار الاستيک سازه و سپس وارد شدن آن به حالت پلاستيک بر اثر نيروهاي حاصل از تحليل ديناميکي پذيرفته شده است، ولي در طراحي سازه‌هاي جداسازي شده فرض مي‌شود که سازه تحت تاثير همان نيروها وارد حالت پلاستيک نشده و در آن هيچ خرابي اتفاق نيافتد. بر اين اساس، اگر از ديدگاه اقتصادي، مسئله مورد ارزيابي قرار گيرد، مي‌توان بيان نمود که اگر نگرش براي سازه به اين صورت باشد که تحت اثر نيروهاي ديناميکي هرگز به سازه آسيب نرسد و سازه کاملاً سالم بماند، آنگاه براساس آيين‌نامه‌ها و روش‌هاي طراحي موجود، طرح جداسازي براي اين دسته از سازه‌ها، منطقي و قابل توجيه خواهد بود ولي اگر بپذيريم که سازه تحت اثر نيروهاي حاصل از زلزله وارد حالت پلاستيک و در نتيجه دچار آسيب مي‌شود آنگاه بايد تحليل و يا مديريت خطر انجام داده تا کاربرد جداساز در اين حالت براي سازه مورد ارزيابي قرار گيرد.

– همانگونه که بيان شد، طراحي اوليه جداسازها براساس بار قائم ستون‌ها بوده و طرح اوليه جداسازها براي سازه‌هاي مختلفي که داراي بار قائم يکسان باشند، مشابه خواهد بود، به عبارت ديگر در طراحي جداسازها، ضريبي مثل ضريب اهميت سازه که در آيين‌نامه‌هاي زلزله آمده است، وارد نشده و اين مسئله باعث مي‌شود که استفاده از جداساز در ساختمان‌هاي مهم، اقتصادي شود. در حقيقت وقتي براي سازه‌اي، طراحي جداساز صورت مي‌گيرد فرقي نمي‌کند که آن يک بيمارستان و يا يك سازه معمولي باشد، زيرا نگرش در مورد هر دو سازه در صورت استفاده از جداساز اين است که تحت اثر نيروهاي ناشي از زلزله سازه سالم مانده و هرگز دچار آسيب نشود، ولي در آيين‌نامه‌هاي معمولي، اعمال ضريب اهميت در مورد سازه‌هاي مهم باعث افزايش بارهاي ديناميکي شده که اين افزايش بار، استفاده از جداسازها را در ساختمان‌هاي مهم و حياتي، اقتصادي و در سازه‌هاي معمولي، غير اقتصادي خواهد نمود.

– برنامه بهينه‌سازي تدوين شده در اين تحقيق، توانايي آن را دارد که پلان‌هاي مختلفي را با توجه به محدوديت‌هاي تعريف شده براي فاصله بين ستون‌ها، توليد نموده و براي هر پلان مشخص، طرح بهينه جداسازها را ارائه نمايد. اهميت اين مطلب از اين نظر است که اصولاً طراحي سازه‌ها ابتدا براساس طراحي پارکينگ صورت گرفته و معمولاً فاصله بين ستون‌ها به نحوي در نظر گرفته مي‌شود که حداقل ۲ وسيله نقليه در کنار هم قابل پارك باشند، پس در طراحي‌هاي عملي و کاربردي که فرايند طراحي سازه براساس پارکينگ است، اين برنامه قادر است طرح‌هاي مختلف و به نسبت مناسبي را به مهندس طراح پيشنهاد داده و براساس اصلاحات و نظرات مهندس طراح، طرح بهينه و يا حتي‌المقدور نزديك‌ترين طرح به طرح بهينه را که در آن ملاحظات معماري و اجرايي و همچنين هزينه‌هاي اقتصادي در نظر گرفته شده است، را ارائه نمايد.

۹- نتيجه‌گيري

براساس مطالعات وتحليل‌هاي صورت گرفته در فصل‌هاي قبل نتايج زير ارائه مي‌شود:

۱- اين تحقيق نشان داد که مقادير ارائه شده در آيين‌نامه UBC-97 در رابطه با طراحي جداسازهاي لرزه‌اي در بسياري از موارد، محافظه‌کارانه بوده و انتظار مي‌رود

ويـرايش‌هـاي بعـدي ايـن آيـين‌نامـه مقـادير منطقـي‌تـر و مناسب‌تري را براي طراحي جداسازهاي لرزه‌اي ارائه نمايد.

۲- الگوريتم ژنتيك باتوجه بـه سـاده و قابـل فهـم بـودن و راحتي تبديل به برنامه رايانه‌اي، سازگاري مناسبي براي حل مـسائل مختلـف بهينـه‌سـازي داشـته وبـا اسـتفاده از روش كدگذاري با اعداد حقيقي و تعيين مقادير مناسب براي عوامل الگوريتم ژنتيك، مـي‌تـوان سـرعت همگرايـي طـرح بهينـه را افزايش داد.

۳- در طراحي سازه‌هاي جداسازي شده به اثر متقابل طرح جداسازها در هزينه‌هاي روسازه و همچنين اثر پـلان سـازه در هزينه‌هاي مربوط به جداسازي و در نتيجـه هزينـة تمـام شده يك سازه جداسازي شده بايد توجه نمود.

۴- در مقايسه طراحي‌هاي متداول صـورت گرفتـه و طـرح ارائـه شـده توسـط برنامـه بهينـه‌سـازي الگـوريتم ژنتيـك، مي‌توان نتيجه گرفت كه با توجه بـه كـاهش حجـم الاسـتومر مصرفي و هم‌چنين كاهش تنـوع ابعـاد جداسـازها و كـاهش هزينه‌هـاي قالـب‌بنـدي اضـافي در طـرح ارائـه شـده توسـط برنامه، در صورت استفاده از طرح پيشنهادي برنامه، هزينـه جداسازي علاوه‌بر درنظر گرفتن ملاحظات طراحي و اجرايي به ميزان قابل توجهي كاهش مي‌يابد.

۱۰- ضمائم

جدول۳: مشخصات جداسازهاي مربوط به ساختمان‌هاي با دهانه ٦ متري

مدل مطالعاتي	نوع ايزولاتور	مشخصات هندسي ايزولاتور		پارامترهاي طراحي			خواص معادل خطي			پارامترهاي آناليز غيرخطي			
		$a(cm)$	$tr(cm)$	$W(ton)$	$D_D(cm)$	$\sigma(kg/cm^2)$	$T_B(sec)$	$\beta(\%)$	$K_{eff}(N/m)$	$K_1(N/m)$	$F_y(N)$	$D_y(cm)$	k_2/k_1
دو طبقه	A	۴۲	۱۱	۷۵/۶	۱۶	۴۲/۸	۱/۵۶	۱۵	۱۲۵۸۵۲۵	۵۶۶۳۴۰۲	۶۲۲۹۷	۱/۱	۰/۱۶۷
	B	۲۹	۱۱	۳۷/۸	۱۶	۴۵	۱/۵۶	۱۵	۶۰۰۰۱۹	۹۴۳۲۰۰	۲۹۷۰۱	۱/۱	۰/۱۶۷
	C	۲۱	۱۱	۱۸/۹	۱۶	۴۳	۱/۵۶	۱۵	۳۱۴۶۰۷	۱۴۱۵۸۷۷	۱۵۵۷۸	۱/۱	۰/۱۶۷
چهارطبقه	A	۴۹	۱۴	۱۲۶	۲۰	۵۲/۵	۱/۹۴	۱۵	۱۳۴۵۹۳۲	۶۰۵۶۶۹۴	۸۴۷۹۴	۱/۴	۰/۱۶۷
	B	۳۴	۱۴	۶۳	۲۰	۵۴/۵	۱/۹۴	۱۵	۶۴۸۰۲۱	۲۹۱۶۰۹۳	۴۰۸۲۵	۱/۴	۰/۱۶۷
	C	۲۴	۱۴	۳۱/۵	۲۰	۵۴/۷	۱/۹۴	۱۵	۳۲۲۷۴۹	۱۴۵۲۸۶۱	۲۰۳۴۶	۱/۴	۰/۱۶۷
شش طبقه	A	۵۰	۱۸	۱۷۶/۴	۲۶	۷۰/۶	۲/۵۴	۱۵	۱۰۹۰۰۰۰	۴۹۰۵۰۰۰	۸۸۲۹۰	۱/۸	۰/۱۶۷
	B	۳۵	۱۸	۸۸/۲	۲۶	۷۲	۲/۵۴	۱۵	۵۳۴۳۰۰	۲۴۰۳۴۵۰	۴۳۲۶۲	۱/۸	۰/۱۶۷
	C	۲۵	۱۸	۴۴/۱	۲۶	۷۰/۶	۲/۵۴	۱۵	۲۷۲۷۱۸	۱۲۲۶۲۵۰	۲۲۰۷۳	۱/۸	۰/۱۶۷
هشت طبقه	A	۵۲	۲۰	۲۲۶/۸	۳۰	۸۳/۹	۲/۹۴	۱۵	۱۰۶۱۰۵۰	۴۷۷۴۷۲۳	۹۵۴۹۶	۲	۰/۱۶۷
	B	۳۶	۲۰	۱۱۳/۴	۳۰	۸۷/۵	۲/۹۴	۱۵	۵۰۸۵۵۰	۲۲۸۸۴۷۷	۴۵۷۷۰	۲	۰/۱۶۷
	C	۲۶	۲۰	۵۶/۷	۳۰	۸۳/۹	۲/۹۴	۱۵	۲۶۴۸۷۰	۱۱۹۳۸۷۷	۲۳۸۷۸	۲	۰/۱۶۷
ده طبقه	A	۵۵	۲۲	۲۷۷/۲	۳۳	۹۱/۶۴	۳/۲۲	۱۵	۱۰۷۹۱۰۰	۴۸۵۵۹۵۰	۱۰۶۸۳۱	۲/۲	۰/۱۶۷
	B	۳۸	۲۲	۱۳۸/۶	۳۳	۹۶	۳/۲۲	۱۵	۵۱۵۱۱۴	۲۳۱۸۰۱۴	۵۰۹۹۶	۲/۲	۰/۱۶۷
	C	۲۷	۲۲	۶۹/۳	۳۳	۹۵/۱	۳/۲۲	۱۵	۲۵۹۹۶۵	۱۱۷۰۳۳۳	۲۵۷۴۱	۲/۲	۰/۱۶۷

W: بار قائم ستون D_D: تغيير مكان مركز سيستم جداساز σ: تنش وارد شده بر سطح جداساز t_r: ضخامت لاستيك a: ابعاد جداساز

جدول (۵): تغيير مكان روي جداساز (برحسب سانتي‌متر) حاصل از تحليل ديناميكي سازه‌هاي با دهانه شش متر

مدل مطالعاتي	زلزله نيوهال		زلزله طبس		زلزله سانفرناندو		زلزله سيلمار		زلزله هوليستر		زلزله اس‌مونيكا		زلزله السترو		ميانگين	
	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	½	۱/۴	۲۱/۳	۱۶/۱	۹/۱	۳/۴	۳/۱	۶/۴	۱۴/۹	۲۴/۵	۱۱/۶	۱۱/۳
هشت طبقه	۱۶	۹/۲	۱۹	۲۶/۳	۱/۵	۰/۸	۲۰/۲	۱۷/۵	۱۳/۶	¼	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): حالت‌هاي مختلف توليد پلان

حالت‌هاي مختلف توليد پلان	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
تعداد دهانه‌ها براي بعد ٤٠ متر	٤	٤	٤	٤	٥	٥	٥	٥	٦	٦	٦	٦	۷	۷	۷	۷	۸	۸	۸	۸
تعداد دهانه‌ها براي بعد ۳۰ متر	۳	٤	٥	٦	۳	٤	٥	٦	۳	٤	٥	٦	۳	٤	٥	٦	۳	٤	٥	٦

جدول (۸): نتايج به‌دست آمده از برنامه بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيک

شماره	تعداد دهانه‌ها براي بعد ۳۰ متر	تعداد دهانه‌ها براي بعد ۴۰ متر	فاصله دهانه‌ها در طول۳۰ متر (از چپ به راست)								فاصله دهانه‌ها در طول۴۰ متر (از پايين به بالا)								حجم کل ايزولاتور(cm3)
۱	۳	۴	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	-	-	۴۹۹۷۱۲۰
۲	۳	۵	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	۶	۱۰	۶	۱۰	۸	-	-	-	۶	۵	۴۴۸۳۶۶۵
۳	۳	۶	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	۹	۶	۵	۵	۶	۹	-	-	۵	۵	۳۷۱۱۴۹۴
۴	۳	۷	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	۶	۶	۶	۵	۵	۵	۶	۶	۵	۵	۳۰۰۸۳۰۷
۵	۳	۸	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۲۳۹۵۴۱۳
۶	۴	۴	۱۰	۱۰	۵	۵	-	-	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	-	-	۴۳۰۰۷۴۲
۷	۴	۵	۵	۱۰	۱۰	۵	-	-	۷	۱۰	۶	۷	۷	۱۰	-	-	-	-	۳۹۳۲۴۳۴
۸	۴	۶	۸	۸	۶	۸	-	-	۷	۷	۶	۶	۶	۷	۷	-	-	-	۳۱۶۲۰۵۵
۹	۴	۷	۹	۹	۶	۶	-	-	۶	۵	۶	۵	۵	۶	۶	۶	۶	-	۲۵۶۷۳۷۹
۱۰	۴	۸	۶	۸	۸	۸	-	-	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۲۰۳۲۹۱۵
۱۱	۵	۴	۵	۵	۱۰	۵	۵	-	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	-	-	۳۵۵۷۶۸۲
۱۲	۵	۵	۶	۶	۶	۶	۶	-	۹	۶	۶	۹	۹	۱۰	-	-	-	-	۳۰۶۲۶۸۸
۱۳	۵	۶	۵	۵	۱۰	۵	۵	-	۵	۵	۵	۵	۱۰	۱۰	۵	۵	-	-	۲۵۱۲۱۴۹
۱۴	۵	۷	۶	۶	۶	۶	۶	-	۵	۵	۵	۵	۶	۹	۵	۵	۵	-	۲۰۷۸۴۴۲
۱۵	۵	۸	۵	۵	۵	۱۰	۵	-	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۱۶۸۴۳۴۸
۱۶	۶	۴	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	-	-	۲۸۷۱۰۲۴
۱۷	۶	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۶	۹	۶	۱۰	۹	-	-	-	-	-	۲۴۸۵۰۰۳
۱۸	۶	۶	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۸	۵	۹	۵	۸	۵	۵	-	-	-	۲۰۵۶۰۳۷
۱۹	۶	۷	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۶	۵	۶	۶	۶	۶	۵	۶	-	-	۱۶۸۹۶۱۷
۲۰	۶	۸	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۱۳۹۹۵۴۵

۱۱- مراجع

[۱] چوپرا، آنيل، ترجمه طاحوني، شاپور؛ ديناميك سازه‌ها و تعيين نيروهاي زلزله (نظريه و كاربرد) ، انتشارات علم و ادب، ۱۳۸۵.

[۲] خشاي، اميرحسين؛ تهيه مدل رفتاري جداساز يونيورسال در سازه‌هاي بلند؛ پايان‌نامه كارشناسي ارشد، به راهنمايي دكتر علي كمك پناه، دانشكده فني مهندسي دانشگاه تربيت مدرس، ۱۳۸۶.

[۳] نجفي زاده چناري، جعفر؛ بهينه‌سازي گروه شمع‌هاي عميق، پايان‌نامه كارشناسي ارشد، به راهنمايي دكتر علي كمك پناه، دانشكده فني مهندسي دانشگاه تربيت مدرس، ۱۳۸۳.

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

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

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

[۷] James M. Kelly; "Aseismic and base isolation: review bibliography", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3, 202-216, 1986.

[۸] http: //www.robinsonseismic. Com

[۹] Kelly, James M.; "Earthquake- Resistant Design with Rubber", Second Edition, Springer, London, 1997.

[۱۰] Division IV-Earthquake Design, Uniform Building Code, Volume 2, 1997.

[۱۱] D.E.Gold berg; " Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning", Addison Wesley.

[۱۲] S.Pourzeynali, M.Zarif; "Multi- objective optimization of seismically isolated high-rise building structures using genetic algorithme", Journal of sound and vibration, Vol.311, pp.1141-1161, 2008.

[۱۳] R.S.Jangid; "optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions", Engineering structures, vol 29, pp.2503-2573, 2007.

[۱۴] Michael D. Symans; "Seismic protective systems: Seismic Isolation", FEMA 451, Design Examples, Chapter 15.

[۱۵] PEER Strong Motion Database Record, http://www.peer.Berkeley.edu.

[۱۶] Appendix chapter 16, Division IV- Earthquake Regulations for Seismic- Isolated Structure, Uniform Building code, Appendix, 1997.

[۱۷] CSI Analysis Reference Manual, Computers and structures, Inc., 2005.

[۱۸] 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.

[۱۹] 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.

[۲۰] Rajeev, S and Krishnamoorthy, P; "Discrete optimization of structure using genetic algorithm", Journal of structural Engineering, ASCE., Vol. 118, No.5, pp.1233-1250.

۱۲- زیرنویس ها

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