

بهینه شکل سد وزنی توسط الگوریتم شبیه سازی بازپخت و ANSYS

آزینا سادات غضنفری هاشمی، اردشیر بحرینی نژاد، محمد تقی احمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس

استادیار بخش صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

استاد بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس

ghazanfari@modares.ac.ir

bahreininejad@modares.ac.ir

mtahmadi@modares.ac.ir

خلاصه

این مقاله، به بهینه شکل سد وزنی بصورت دوبعدی، توسط الگوریتم شبیه سازی بازپخت پرداخته است. سیستم سازه ای سدوزنی و فونداسیون با المان محدود مدل شده است. هدف کمینه کردن حجم (وزن) سدبتنی وزنی می باشد و قیود شامل تنش، ماکزیمم قید لغزش و خروج از مرکزیت می باشد. الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده، الگوریتم شبیه سازی بازپخت (SA) می باشد. این الگوریتم مبتنی بر روشهای اکتشافی است که بهینه کلی را از طریق وضعیتهای بطور تصادفی ایجاد شده، جستجو می کند. این الگوریتم به منظور دستیابی به آرایش اتمی از ماده که دارای حداقل انرژی است، طراحی شده است. در این روش، تابع هدف مساله بهینه سازی، مشابه تابع انرژی و متغیرهای طراحی، اتمها و حالات مختلف مساله بهینه سازی، مشابه آرایشهای اتمی مختلف ماده است. همین مساله نیز توسط ANSYS مدل، تحلیل و بهینه شده است و جوابها با هم مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: الگوریتم شبیه سازی بازپخت، بهینه سازی، سد وزنی، المان محدود

مقدمه

به خوبی می دانیم که طرح شکل اثر زیادی بر روی اقتصاد و ضریب اطمینان سدهای وزنی دارد. معمولا سدهای وزنی بوسیله سعی و خطا طراحی می شوند یک شکل شماتیک اولیه داده می شود و سپس آنالیز می شود. اگر مشخصات طراحی را ارضا کرد شکل پذیرفته می شود در غیر اینصورت شکل سد تغییر داده می شود و دوباره آنالیز صورت می گیرد. شکل سد از این روش به صورت قابل قبول بدست می آید لیکن بهینه و مناسب نمی باشد. برای بدست آوردن شکل بهتر چند شکل پیشنهاد می شود و آنالیز صورت می گیرد این روش نسبت به روش قبل بهتر است ولی شکل سد بهینه نمی باشد تحقیقاتی برای شکل بهینه یک سد وزنی توسط *simoes (1994-95)* [۱ و ۲] انجام شده که توسط الگوریتم برنامه ریزی درجه دوم بهینه شده است.

الگوریتم شبیه سازی باز پخت

فرآیند بازپخت به منظور دستیابی به پایدارترین حالت یک ماده جامد، ویا به عبارت دقیق تر، دستیابی به آرایش اتمی از ماده که دارای حداقل انرژی است، اولین بار در ۱۹۵۳ توسط متروپولیس معرفی شد [۳]. بطور کلی احتمال قرار گرفتن هر ماده در هر آرایش اتمی به انرژی آن آرایش بستگی دارد. اگر ماده درحالت تعادل حرارتی باشد، این احتمال از توزیع بولتزمان پیروی میکند.

$$P(\Delta E) = e^{-\frac{\Delta E}{k_b T}} \quad (1)$$

T : درجه حرارت و k_b : ثابت بولتزمان و ΔE تغییر در انرژی سیستم می باشد.

که $P(\Delta E)$ احتمال قرارگرفتن ماده در هر آرایش اتمی، E انرژی آرایش مورد نظر و T دمای جسم است. برای انجام بازپخت ابتدا ماده مورد نظر تاحد زیادی گرم میشود، تا اتمهای آن بشدت به جنبش درآیند. توزیع بولتزمان نشان می دهد که در این حالت، احتمال قرارگیری اتمها در هر وضعیت، بجز انرژی آن وضعیت، به دمای ماده نیز بستگی دارد. سپس دما اندکی کاهش یافته و مدتی به ماده فرصت داده میشود تا به ترازمندی برسد. با کاهش دما احتمال رخ دادن آرایشهای دارای انرژی بیشتر کاهش می یابد. با تکرار عمل کاهش دما هنگامی که دما به صفر نزدیک می شود، ماده به یکی از آرایشهای دارای انرژی کمینه می رسد. در ۱۹۸۳ کرکپاتریک [۳] شباهت مسائل بهینه سازی را با فرآیند بازپخت فلزات که تابع انرژی ماده را کمینه میکند را مطرح کرد.

در روش الگوریتم شبیه سازی بازپخت از توقف در ناحیه بهینه محلی اجتناب شده و به طور گذرا از آن رد میشود. این حالت با پذیرفتن احتمالی جوابهای بد انجام میشود، تا از نقطه بهینه محلی خارج شود. به عبارت دیگر در صورت ایجاد جواب Z در همسایگی جواب قبلی یعنی n ، فقط در صورتیکه جواب Z باعث بهبود تابع هدف شده پذیرفته نمیشود، بلکه حتی هنگامی که جواب Z از جواب n بدتر باشد نیز با احتمال مشخصی پذیرفته میگردد. این

احتمال برابر است با $(e^{-\frac{df}{T}})$ که در آن، T : درجه حرارت df : میزان تغییر در تابع هدف

$$df = f(j) - f(i) \quad (2)$$

اگر این احتمال از یک عدد تصادفی یکنواخت بین $[0, 1]$ بیشتر باشد، جواب نامناسب هم پذیرفته میشود. به صورت تئوری ثابت شده است که الگوریتم شبیه سازی باز پخت به سمت جواب بهینه همگرایی دارد.

مراحل اصلی در الگوریتم شبیه سازی باز پخت

به هنگام اجرای الگوریتم شبیه سازی باز پخت، مهمترین مراحل که باید بررسی شوند عبارتند از:

- ۱- روش تولید همسایگی ۲- درجه حرارت اولیه ۳- نحوه تغییر درجه حرارت ۴- شرط تعادل ۵- شرط توقف

روش تولید همسایگی

روشهای حل را از نظر نحوه تولید فضای همسایگی میتوان به دو دسته طبقه بندی کرد. یک روش انتخاب تصادفی جواب از بین فضای جواب امکانپذیر است. دسته دیگری از مسائل، از روش تعویض جفتی ترتیبی جهت تولید فضای همسایگی استفاده شده و نشان داده شده است که نسبت به روش تصادفی بهتر عمل میکند. روش حلی که در این تحقیق به کار برده شده بر مبنای روش انتخاب تصادفی جواب از بین فضای جواب امکانپذیری باشد.

درجه حرارت اولیه

تعداد تکرارها در طول فرآیند آنیل کردن به طور نسبی به درجه حرارت اولیه بستگی دارد. روشهای موجود جهت تعیین درجه حرارت اولیه نیز ممکن است به دو دسته تقسیم بندی شوند. یک سری از روشها، درجه حرارت اولیه را به عنوان یک عدد ثابت در نظر میگیرند که باید قبل از اجرای فرآیند آنیل کردن، تعیین شود. که در این حالت ممکن است درجه حرارت اولیه بالا و یا پائین انتخاب شده که به نوع و اندازه مسئله مورد نظر بستگی دارد. روش دیگر، با استفاده از اطلاعات بدست آمده از اجرای تکرارهایی قبل از شروع الگوریتم شبیه سازی باز پخت اصلی، درجه حرارت اولیه را تعیین میکنند. به علت ساختار احتمالی الگوریتم شبیه سازی باز پخت، در این روش در هر بار اجرای الگوریتم درجه حرارت اولیه تغییر میکنند. در این تحقیق درجه حرارت اولیه به عنوان یک عدد ثابت در نظر گرفته شده است.

نحوه تغییر درجه حرارت

پس از اجرای الگوریتم متروپولیس، برنامه سرد کردن آغاز میشود. برای اینکار دما اندکی کاهش یافته و الگوریتم متروپولیس مجدداً اجرا میشود. با اجرای مکرر الگوریتم و کاهش متوالی دما، کم توزیع نمونه برداری به توزیع بولتزمن در دمای نزدیک به صفر، نزدیک میشود؛ یعنی بتدریج احتمال نمونه برداری از نقاط با تابع هدف بیشتر، به صفر میل میکند.

برنامه سرد کردن دارای اهمیت ویژه ای است. اگر دمای اولیه زیاد باشد، احتمال توقف در بهینه محلی کاهش یافته و زمان رسیدن الگوریتم به دمای نهایی، یعنی دستیابی به بهینه کلی، بیشتر میشود. دمای نهایی زیاد، موجب عدم دستیابی به بهینه کلی شده و مقدار کم آن نیز باعث طولانی شدن الگوریتم میشود. در این تحقیق، تابع سرد کردن بصورت تابع هندسی، بارابطه زیر ارائه شده است

$$T_k = \alpha_k \times T_{k-1} \quad (3)$$

که در آن $0 < \alpha_k < 1$ و معمولاً ثابت فرض شده و نزدیک به یک است.

شرط تعادل

پس از انجام یکسری تعویضها در درجه حرارت معین در روش شبیه سازی باز پخت، لازم است تا حالت تعادل بررسی شود که آیا فرآیند آنیل کردن در همان درجه حرارت ادامه پیدا کند و یا متوقف شده و به درجه حرارت بعدی برود. جهت برقراری شرط تعادل در روشهای شبیه سازی باز پخت، تعداد تعویضهای معینی باید در آن درجه حرارت انجام شود که به آن تکرار یا دوره گرفته میشود. این تعداد تعویض در برخی مسائل ثابت و در برخی در طول اجرای الگوریتم شبیه سازی باز پخت تغییر پیدا میکند که از یک تابع پیروی می نماید. تابع مورد استفاده در این تحقیق تابع ثابت می باشد.

- مقدار ثابت

$$N_k = \text{مقدار ثابت} \quad (4)$$

در برخی از روشهای شبیه سازی باز پخت علاوه بر تعداد تعویضها در هر درجه حرارت، روش دیگری برای بررسی شرط تعادل معرفی شده است. به عنوان مثال در روش ویلهلم و وارد [4]، پس از دستیابی به یک تعداد معین از تعویضهای پذیرفته شده در یک درجه حرارت، یک شرط تعادل بررسی میشود اگر این شرط تعادل برقرار بود، درجه حرارت کاهش داده شده و فرآیند آنیل کردن بعدی تکرار میشود. در غیر اینصورت، تعویض های جدید برای دستیابی به یک دوره در همان درجه حرارت انجام شده و مجدداً شرط تعادل بررسی می شود. این رابطه تعادلی به صورت رابطه (5) است:

$$\left| \frac{\bar{f}_e - \bar{f}'_e}{\bar{f}'_e} \right| \leq \varepsilon \quad (5)$$

که در آن:

\bar{f}_e : متوسط میزان تابع هدف برای تمام تعویضهای پذیرفته شده در طول آخرین دوره در درجه حرارت مورد نظر.
 \bar{f}'_e : مقدار متوسط مقادیر \bar{f}_e برای تمام دوره های تکرار شده قبلی در درجه حرارت T_k
 ε : عدد ثابت و معمولاً کوچک که شرط تعادل سیستم را کنترل می کند.

شرط توقف

معیارهای توقف متعددی جهت روشهای شبیه سازی باز پخت ارائه شده است. برخی از آنها بشرح زیر است:

- رسیدن به یک درجه حرارت نهایی
- تعداد کل تعویضهای پذیرفته شده در طول فرآیند آنیل کردن
- تعداد کل مراحل که باید انجام شود
- بررسی یک تابع جهت رسیدن به نقطه انجماد، که این تابع براساس مقادیر تابع هدف و درجه حرارت تعیین میشود.

فرم کلی الگوریتم شبیه سازی باز پخت در این تحقیق

در این تحقیق الگوریتم پیشنهادی مرجع [4] مورد استفاده قرار گرفته است. که پارامترهای آن در جدول زیر نشان داده شده است. مرحله اول: به عنوان اولین گام در روند بهینه سازی، طراح حدود بالا و پایین متغیرهای طراحی را تعریف می کند و مقدار مناسبی برای ضریب وزن (r_k) معادله (21) در نظر می گیرد [5].

مرحله دوم: به علت استفاده از تابع جریمه خارجی (از ناحیه ای خارج فضای قابل قبول به سمت مرز حرکت می کند)، نقطه اولیه ای انتخاب می شود که حداقل یک قید را نقض نماید.

مرحله سوم: میزان تابع هزینه را به ازای جواب اولیه (که از تابع هدف بعلاوه مقدار جریمه قیود تشکیل یافته است) محاسبه کنید ϕ_1 معادله (21). این مقدار را بعنوان حداقل مقدار تابع هدف قرار دهید $E = \phi_1$ و جواب اولیه را بعنوان بهترین جواب تا کنون در نظر بگیرید $(X^* = X_1)$

از این مرحله وارد روند بهینه یابی توسط الگوریتم شبیه سازی باز پخت مربوط به ضریب وزن معین (r_k) می شویم
مرحله چهارم: مقادیر اولیه پارامترهای ورودی الگوریتم شبیه سازی باز پخت $\varepsilon_1, \varepsilon_2, M, e$ را مشخص کنید. (جدول 1) ممکن است این مقادیر بر حسب ضریب وزن r_k متغیر باشد.

T_0 (دمای اولیه) و T_f (درجه حرارت نهایی) را مقداردهی کنید. مقدار Tr (درجه حرارت در مرحله r ام) را برابر T_0 قرار دهید. (جدول 1)
مقادیر شمارنده های n, t, r را مساوی صفر قرار دهید r مربوط به تعداد دفعات انجام فرآیند آنیل کردن، t مربوط به تعداد جوابهای پذیرفته شده در هر درجه حرارت و n مربوط به تعداد جوابهای پذیرفته شده در هر «دوره» است.

مرحله پنجم: با توجه به مکانیزم تولید همسایگی (انتخاب تصادفی متغیرهای طراحی)، جواب جدید X_j را در همسایگی جواب قبلی (X_i) ایجاد کنید.
مرحله ششم: میزان تغییر در تابع هدف را به ازای جواب جدید محاسبه کنید:

$$\Delta\phi(T_r) = \phi_j(T_r) - \phi_i(T_r) \quad (6)$$

اگر $\Delta\phi(T_r) \leq 0$ باشد، به مرحله هشتم بروید.

مرحله هفتم: یک عدد تصادفی مانند y را بین صفر و یک انتخاب کنید $y \approx U(0,1)$ و مقدار $P(\Delta\phi)$ را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$P(\Delta\phi) = \exp[-\Delta\phi(T_r)/T_r] \quad (7)$$

اگر $y > P(\Delta\phi)$ باشد، به مرحله ۵ بروید.

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم شبیه سازی باز یخت پیشنهادی در مرجع [۴]

| |
|---|
| T_0 : درجه حرارت اولیه |
| T_f : درجه حرارت نهایی |
| T_r : درجه حرارت در مرحله r ام |
| M : حداکثر تعداد جوابهای پذیرفته شده در هر درجه حرارت |
| e : طول «دوره» یا تعداد تعویضهای پذیرفته شده در هر «دوره» جهت بررسی شرط تعادل |
| n : مربوط به تعداد جوابهای پذیرفته شده در هر «دوره» است |
| r : مربوط به تعداد دفعات انجام فرآیند آنیل کردن |
| t : مربوط به تعداد جوابهای پذیرفته شده در هر درجه حرارت |
| α : ضریب کاهش درجه حرارت در هر مرحله (عدد اعشاری بین صفر و یک) |
| ε_1 : عدد مثبت و کوچک جهت بررسی شرط تعادل سیستم در درجه حرارت T_r |
| ε_2 : عدد مثبت و کوچک جهت توقف (نقطه انجماد) |
| $\bar{f}_e(T_r)$: متوسط مقدار تابع هدف برای کلیه حالتهای پذیرفته شده در هر «دوره» در درجه حرارت T_r |
| $\bar{f}_g(T_r)$: متوسط مقادیر \bar{f}_e برای تمام دوره های قبلی در درجه حرارت T_r |
| $\bar{f}(T_r)$: متوسط مقدار تابع هدف برای کلیه حالتهای پذیرفته شده تا رسیدن به شرط تعادل در درجه حرارت T_r |
| $f_i(T_r)$: میزان تابع هدف با توجه به جواب a_i . |
| a_i : جواب امکان پذیر |

مرحله هشتم: جواب جدید (X_j) پذیرفته میشود.

$$n = n + 1$$

اگر مقدار تابع هدف به ازای جواب جدید از بهترین مقدار تابع هدف تاکنون بهتر باشد ($E > \phi_j(T_r)$)، این مقدار را جایگزین مقدار قبلی

$$E = \phi_j(T_r)$$

اگر $n < e$ باشد به مرحله پنجم بروید.

$$t = t + e \text{ و } n = 0$$

مرحله نهم: شرط تعادل را بررسی کنید:

الف) اگر تعداد جوابهای پذیرفته شده در هر درجه حرارت (T) از حداکثر تعداد جوابهای پذیرفته شده (M) بیشتر باشد، به مرحله دهم

بروید، در غیر اینصورت شرط (ب) را بررسی کنید:

ب) اگر شرط (۸) برقرار بود به مرحله پنجم بروید:

$$\frac{|\bar{\phi}_g(T_r) - \bar{\phi}_g(T_r)|}{\bar{\phi}_g(T_r)} > \varepsilon_1 \quad (8)$$

مرحله دهم: مقادیر $\bar{\phi}(T_r)$ و $V(T_r)$ و $S(T_r)$ را محاسبه کنید و $t=0$ قرار دهید.

$$V(T_r) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi_i^2(T_r) - [\bar{\phi}(T_r)]^2 \quad (9)$$

$$S(T_r) = \frac{V(T_r)}{T_r * [\bar{\phi}(T_0) - \bar{\phi}(T_r)]} \quad (10)$$

شرط توقف را بررسی کنید:

الف) اگر $T_r \leq T_f$ باشد، به مرحله ۱۲ بروید. در غیر اینصورت شرط (ب) را بررسی کنید.

ب) اگر $S(T_r) \leq \varepsilon_2$ باشد، به مرحله ۱۲ بروید.

مرحله یازدهم: (کاهش درجه حرارت)

مقدار جدید درجه حرارت T_{r+1} را از رابطه (۱۱) محاسبه کنید. (α ضریب کاهش درجه حرارت است) و دوباره به مرحله ۵ بروید.

$$r = r + 1$$

$$T_{r+1} = \alpha T_r \quad (11)$$

مرحله دوازدهم: جواب نهایی در مرحله k ام از تابع جریمه خارجی عبارت است از: (E, X_k^*)

مرحله سیزدهم: آزمایش کنید آیا نقطه X_k^* در همه قیود صدق می کند یا نه؟ اگر X_k^* امکان پذیر بود، نقطه کمینه مطلوب است. پس روش را متوقف کنید. در غیر اینصورت به مرحله (چهاردهم) بروید.

مرحله چهاردهم: مقدار بعدی پارامتر جریمه را به گونه ای که در رابطه زیر صدق کند، انتخاب نمایید $r_{k+1} > r_k$ و مقدار جدید k را مقدار اصلی آن بعلاوه یک قرار دهید. در اینجا $c = 10$ در نظر گرفته شده است. $r_{k+1} = c.r_k$ و نقطه بهینه مر حله قبل را نقطه شروع مرحله جدید قرار دهید و به مرحله سوم بروید.

مرحله (۵): توقف.

فرمول مساله

متغیرهای طراحی شکل سد وزنی بتنی

متغیرهای طراحی برای بهینه سد، متغیر TA (عرض در تاج سد) و TU (شیب بالا دست سد) و TD (شیب پایین دست سد) و H_2, H_3 (در شکل نشان داده شده) و A (مقدار شیب در محل اتصال سد به پی برای کم کردن مقدار نیروی برشی) در نظر گرفته شده است. متغیرها در محدوده زیر واقع هستند. شکل (۱)

$$6^m < TA < 20^m; 0.6 < TU < \frac{\pi}{2}; 0.6 < TD < \frac{\pi}{2}; 0 < A < \frac{\pi}{6}; .05H < H_2 < 0.2H; \\ .05H - H_1 < H_3 < H - H_1 \quad (12)$$

تابع هدف

تابع هدف عبارت است از وزن یا به عبارتی حجم بدنه سد (مقطع عرضی سد)

$$V = (H - H1) * 2 / (2 * \tan(TU)) + TA * H + (H - H2) * 2 / (2 * \tan(TD)) \\ + \{(H - H1 - H3) / \tan(TU) + TA + (H - H2) / \tan(TD)\}^2 \times \\ (1 + \tan(A) / (\tan(A) - \tan(TU))) \times \tan(A) / 2 \quad (13)$$

قیود

قید تنش

سدهای وزنی از حجم بتن بدون آرماتور ساخته می شوند و بر اساس تنشهای مجاز کششی و فشاری و برشی طراحی می گردند که تحت اثر بارگذاری لازم است در محدوده مجاز قرار گیرند.

$$(14)$$

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_{allow i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, N$$

سیستم سازه ای توسط برنامه المان محدود مدل شده و مقادیر تنشهای نرمال کششی و فشاری و برشی در نقاط A, A', D, M', N', M'', L از همین روش بدست می آید شکل (۱). لمانهای مورد استفاده در آن المانهای مثلثی سه گرهی است. تعداد المانهای مورد استفاده در بدنه سد ۱۴۳ المان $Shell$ سه گرهی است و تعداد المانها در پی ۴۴ المان $Shell$ سه گرهی و تعداد گرهها در کل مدل ۱۱۹ و تعداد درجات آزادی در کل مدل ۲۳۸ می باشد.

قید لغزش

ضریب اطمینان در مقابل لغزش عبارت است از نسبت کل نیروهای افقی مقاوم در مقابل لغزش به نیروهای افقی لغزشی که بافرض صرفنظر کردن از مقاومت برشی مقطع، تنها نیروی مقاوم، اصطکاک بین دو قطعه می باشد (۱۵).

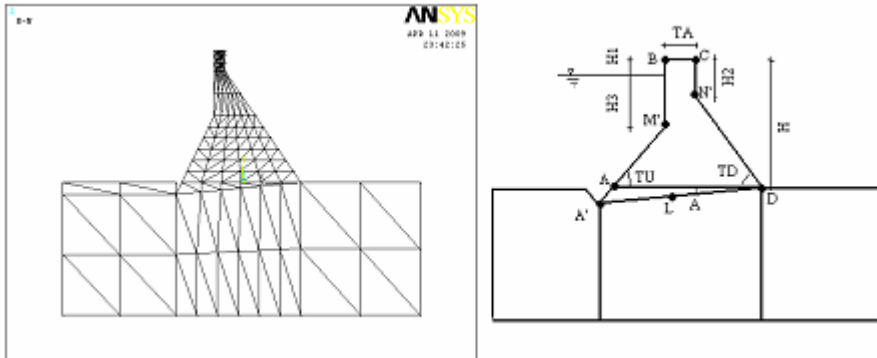
(۱۵)

$$e_s = \mu \frac{F_V}{F_H} = .8 \frac{V}{H}$$

(۱۶)

$$es_i \geq es_{allow i} \rightarrow \frac{es_{allow i}}{es_i} \leq 1 \rightarrow \frac{es_{allow i}}{es_i} - 1 \leq 0$$

$es_{allow i}$ به ترتیب، قید لغزش و مقدار مجاز آن برای هر حالت بارگذاری می باشد.



شکل (۱): متغیرهای طراحی و مدل المان محدود در حالت بهینه توسط الگوریتم شبیه سازی بازپخت

قید واژگونی

این قید عبارت است از لنگر نیروهای مقاوم در مقابل واژگونی حول پنجه سد به لنگر نیروهای واژگونی نسبت به همان نقطه. *USBR* اعلام می دارد که نیروهای ناشی از زلزله به علت طبیعت نوسانی بودنشان، در محاسبه لنگر واژگونی به حساب نمی آیند. معادله ۱۷ شکل نرمالایز شده این قید است [۵].

(۱۷)

$$eo \geq eo_{allow} \rightarrow \frac{eo_{allow}}{eo} \leq 1 \rightarrow \frac{eo_{allow}}{eo} - 1 \leq 0$$

قید خروج از مرکزیت

از آنجایی که سدهای وزنی برای حالتی طراحی می شوند که هیچگونه تنش کششی بر آنها وارد نشود، پس منتهج نیروها بایستی از منطقه $\frac{1}{3}$ میانی قاعده عبور نمایند. برای بارهای زلزله لازم نیست منتهج نیروها درون هسته مقطع قرار گیرد، اما تنشها نباید از مقادیر مجازشان تجاوز کند [۵].

(۱۸)

$$ec \leq ec_{allow} \rightarrow \frac{ec}{ec_{allow}} \leq 1 \rightarrow \frac{ec}{ec_{allow}} - 1 \leq 0$$

مثال

مساله زیر روند بهینه یابی برای بارهای استاتیکی در یک سد وزنی را نشان می دهد. برای صحت روند الگوریتم شبیه سازی بازپخت، همین مساله در *ANSYS* توسط روش *First order* بهینه می شود و جوابها با هم مقایسه می گردد. ارتفاع سد وزنی برابر $H = 149m$ عدم وجود آب در پایین دست سد وزنی و $H_1 = 5m$ (تراز آب در مخزن سد وزنی) فرض شده است. سیستم سازه ای بوسیله مدل المان محدود مدل شده است. تنشهای مجاز فشاری

$$10,000 \frac{KN}{m^2} \text{ و کششی بتن برابر } 1000 \frac{KN}{m^2} \text{ و مشخصات الاستیکی بتن به قرار زیر است [۸]:}$$

$$E = 2.1 \times 10^7 \frac{KN}{m^2}, \nu = 0.2, \gamma = 24 \frac{KN}{m^3} \quad (۱۹)$$

و مشخصات فونداسیون:

$$E = 10^7 \frac{KN}{m^2}, \nu = 0.15 \quad (۲۰)$$

ترکیب بارگذاری شامل ۱- بار وزن + فشار هیدرواستاتیکی + فشار برکنش آب ۲- بار وزن + فشار هیدرواستاتیکی + فشار برکنش آب + بار زلزله

E_{+x} فشار هیدرواستاتیکی + بار وزن + فشار هیدرواستاتیکی + فشار برکنش آب + بار زلزله E_{-x} فشار هیدرواستاتیکی + بار وزن + فشار هیدرواستاتیکی + فشار برکنش آب + بار زلزله E_{+y} + بار وزن + فشار هیدرواستاتیکی + فشار برکنش آب + بار زلزله E_{-y}

به علت اینکه مدل هم توسط الگوریتم شبیه سازی بازپخت و هم ANSYS بهینه می شود و ANSYS فقط برای یک حالت بارگذاری سازه را بهینه میکند بنابراین در این مساله قیود تنش فقط برای بارگذاری نوع ۲ اعمال گردیده و قید خروج از مرکزیت و واژگونی با توجه به آیین نامه که برای بارگذاری همراه با زلزله اعمال نمی شود، فقط برای بارگذاری نوع ۱ و قید لغزش برای هر ۵ حالت بارگذاری اعمال گردیده است. در نهایت با ۲۱ قید مواجه می باشیم. ضرایب اطمینان برای قید تنش مربوط به بارگذاری نوع ۲، (۱،۹۲) می باشد [۱]. بنابراین مقادیر مجاز قید کششی $\frac{KN}{m^2}$ 520 و فشاری برابر $\frac{KN}{m^2}$ 5200 می باشد. در جدول (۲) مقادیر مجاز قیود آورده شده است [۱].

جدول ۲- مقادیر مجاز قیود در دو حالت بارگذاری [۱]

| بارگذاری | تنش کششی $(\frac{KN}{m^2})$ | تنش فشاری $(\frac{KN}{m^2})$ | قید واژگونی | قید لغزش | قید خروج از مرکزیت |
|----------|-----------------------------|------------------------------|-------------|----------|--------------------|
| (۱) | | | $> 1,5$ | $> 1,5$ | $\frac{A'D}{6} <$ |
| (۲) | < 520 | < 5200 | | $> 1,2$ | |
| (۳) | | | | $> 1,2$ | |
| (۴) | | | | $> 1,2$ | |
| (۵) | | | | $> 1,2$ | |

تابع جریمه مربوط به الگوریتم شبیه سازی باز پخت

الگوریتم شبیه سازی باز پخت برای مسائل کمینه سازی نامقید کاربرد دارد. با روش تابع جریمه می توان این الگوریتم را برای کمینه سازی مسائل مقید نیز استفاده کرد. به این منظور هدف کمینه سازی تابع مرکب زیر می باشد که از تابع هدف و مقادیر نقض قیود ساخته می شود.

$$\phi(X, r_k) = f(X) + r_k \sum \max(0, g_i(X))^2 \quad (21)$$

$$= f(X) + r_k * \sum_{i=2}^2 \sum_{j=1}^{21} \max(0, \frac{\sigma_{maxij}}{\sigma_{allowij}} - 1)^2 + r_k * \sum_{i=1}^1 \max(0, \frac{ec_{allowi}}{ec_i} - 1)^2$$

$$+ r_k * \sum_{i=1}^5 \max(0, \frac{es_{allowi}}{es_i} - 1)^2 + r_k * \sum_{i=1}^1 \max(0, \frac{eo_{allowi}}{eo_i} - 1)^2$$

$f(X)$ تابع هدف و $g_i(X)$ مقادیر قیود نرمالایز شده $r_k = 10e6$ ضریب وزن مناسب در این مورد می باشد. که i نمایانگر شماره حالت بارگذاری و j شماره مربوط به قیود در هر حالت بارگذاری می باشد.

بهینه سد تحت الگوریتم شبیه سازی باز پخت و ANSYS

در این قسمت، پارامترهای کاربردی در الگوریتم شبیه سازی بازپخت بدین قرار است. دمای اولیه $T_0 = 300$ ، $T_{freeze} = 0.1$ انتخاب شده است. مقدار پارامتر کاهش دما برابر است با [۶]:

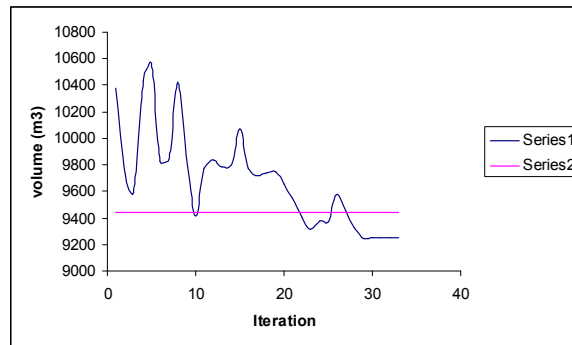
(۲۲)

$$T_{K+1} = \alpha_{K+1} T_K$$

$$\alpha_{K+1} = \begin{cases} 0.7 & T_0 < T_K < 0.2 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} \\ 0.75 & 0.2 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} < T_K < 0.1 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} \\ 0.8 & 0.1 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} < T_K < 0.01 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} \\ 0.85 & 0.01 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} < T_K < 0.004 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} \\ 0.9 & 0.004 \times (T_0 - T_{freeze}) + T_{freeze} < T_K < T_{freeze} \end{cases}$$

جدول ۴- نقطه بهینه توسط الگوریتم شبیه سازی باز پخت و ANSYS

| | TA(m) | TU | TD | A | H2(m) | H3(m) | f(m3) | $\varphi(m^3)$ | rk |
|-------------------------|---------|-----------|-----------|--------|----------|----------|----------|----------------|-----------|
| Initial Design | 9.39938 | 0.6932477 | 0.9466693 | 0.055 | 23.67591 | 93.22643 | 9369.576 | 10377.61 | 100,000 |
| Optimal Values By SA | 6.24 | 0.926 | 0.974 | 0.0682 | 23.15 | 68.47 | 9248 | | 1,000,000 |
| Optimal Values By ANSYS | 11.77 | 1.04 | 1.065 | 0.097 | 25.65 | 51.204 | 9437 | | |



شکل ۴- نمودار همگرایی الگوریتم شبیه سازی باز پخت

نتیجه گیری

مطابق جدول ۴ الگوریتم شبیه سازی باز پخت توانسته به جواب بهین تری نائل شود. الگوریتمهای جستجوی تصادفی در مقایسه با سایر روشها دارای این وضعیت می باشند که از گیر افتادن در بهینه های موضعی در امان هستند و بهینه کلی را بدون نیاز به ارزیابی گرادیان و با بار محاسباتی کمتری در مقایسه با روشهای ریاضی شناسایی کنند [۷]. ولی تعداد تکرارهای زیادی برای رسیدن به طرح بهینه لازم دارند که با انتخاب مناسب از فضای جستجو می توان تعداد سعی و خطاها را کمتر نمود. اما در روشهای گرادیانی احتمال زیاد گیر کردن الگوریتم در دام بهینه های محلی است، برای حل این مشکل گاهی بهینه سازی از نقاط متفاوتی شروع میشود تا جوابهای بهینه مختلفی بدست آید و کمترین جواب بعنوان جواب بهینه انتخاب شود که در مورد ANSYS از چنین روشی استفاده گردید.

مراجع

- [1] Simoes L. M. C. & Lapa J. A. M., "Optimal shape of dams subject to earthquakes", Proc. International conference on computational structures technology, Advances in structural optimization, 1994, pp. 119-130.
- [2] Simoes Luis M. C., "Shape optimization of dams for static and dynamic loading", International course on hydroelectric power plants, Coimbra, Portugal, July, 1995.
- [3] Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P., "Optimization by simulated annealing", Science, Vol. 220, 45-54, 1983.
- [4] برزین پور، فرناز "زمانبندی در سیستمهای تولید سلولی با در نظر گرفتن زمان آماده سازی" به راهنمایی ذگردی حسام الدین. دکتری (دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده فنی و مهندسی، رشته مهندسی صنایع)
- [5] تالیف: اس. اس. راؤ، ترجمه: سید محمد مهدی شهید پور "بهینه سازی (تئوری و کاربرد)" مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۳. (جلد اول و دوم).
- [6] Robert B. Jansen, "Advanced dam engineering for design construction, and rehabilitation".
- [7] Topping B. H. V., Khan A. I., Barros Leite J. P., "Topological design of truss structures using simulated annealing"
- [8] Papadrakakis M., Samartin A. and Onate E., "Optimum design of 3D structures under static and dynamic loading", Computer methods for shell and spatial structures, ISASR-NTUA, Athens Greece 2000.

