

بهینه سازی مخازن بتنی نیمه مدفون نگهدارنده سیالات توسط الگوریتم اجتماع ذرات و غلاف تقویتی منشوری

غلامرضا هوایی^{۱*}، سعید کیا^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

مخازن بتنی یکی از سازه‌های مهم در نگهداری سیالات به منظور ذخیره‌سازی و استفاده در شبکه‌های انتقال سیالات می‌باشند. این مخازن مستطیلی معمولاً دارای اشکال ثابتی بوده و با توجه به میزان دبی ورودی، شرایط زمین ساختگاه، نوع بار استاتیکی و دینامیکی طراحی و محاسبه می‌گردند. در این تحقیق بر اساس آنالیزهای انجام شده در ابتدا المان‌های جداره‌های مخزن تیپ شده و سپس میزان دامنه ضخامت پوسته و سطح مقطع میلگرد مصرفی حداقل و حداکثر در هر یک از المان‌ها بر اساس میزان تنش حداکثری مشخص شده‌اند. در مرحله بعد برپایه آنالیز مخزن و به کمک الگوریتم رابط پارامتریک شناسایی سیستم سازه‌ها اطلاعات مربوطه با کد الگوریتم اجتماع ذرات که یک الگوریتم جستجوی اجتماعی می‌باشد ترکیب شده تا میزان ضخامت بهینه مقاطع المان‌های پوسته مخزن به همراه میزان بهینه سطح مقطع میلگردهای مصرفی مشخص شوند. با توجه به مدل‌های خطی ریاضی بسیار پیچیده برای جانمایی صحیح و زوایای مربوط به زنجیره‌ای از غلاف‌های تقویتی پیرامونی که باعث بهسازی لرزه‌ای سازه می‌شوند، یک رابطه دو طرفه بین نرم افزار مدل سازی و کد الگوریتم اجتماع ذرات در جهت بهینه سازی انتخاب گردیده است. در انتها میزان مقایسه‌ای وزن بهینه سازی شده مخزن بتنی توسط غلاف تقویتی پیرامونی با روش‌های متداول مورد ارزیابی قرار گرفته است که نشان دهنده کاهش ۱۹٪ وزن میلگرد مصرفی، ۲۰٪ وزن بتن مصرفی و حداقل صرفه جویی ۱۳٪ هزینه ساخت بر اساس آیت‌های فهرست بهاء در یک مخزن شاخص بتنی ۱۰/۰۰۰ متر مکعبی شده است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، الگوریتم اجتماع ذرات، مخازن بتنی، غلاف تقویتی پیرامونی، پایش سازه‌ها

Optimization of Reinforced Concrete Reservoir with Circumferential Stiffeners Strips by Particle Swarm Algorithm

Gholam Reza Havaei^{*1}, Saeed Kia²

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology

2- PhD Student in Construction Engineering and Management, Department of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology

* مؤلف مسئول: غلامرضا هوایی havaei@aut.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۲/۲۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۶/۲

Abstract

Reinforced concrete reservoirs (RCR) have been used extensively in municipal and industrial facilities for several decades. The design of these structures requires that attention be given not only to strength requirements, but to serviceability requirements as well. These types of structures will be square, round, and oval reinforced concrete structures which may be above, below, or partially below ground. The main challenge is to design concrete liquid containing structures which will resist the extremes of seasonal temperature changes, a variety of loading conditions, and remain liquid tight for useful life of 50 to 60 years. In this study, optimization is performed by particle swarm algorithm based on structural design. Firstly by structural analysis all range of shell thickness and areas of rebar find. In the second step by parameter identification system interchange algorithm, source code which developed in particle swarm algorithm by MATLAB software linked to analysis software. Therefore best and optimized thicknesses and total area of bars for each element find. Lastly with circumferential stiffeners structure optimize and show 19% decrease in weight of rebar, 20% decrease in volume of concrete, and 13% minimum cost reduction in construction procedure compared with conventional 10,000 m³ RCR structures.

Keywords: Stiffeners Strips, Particle Swarm Algorithm, Reinforced Concrete Reservoirs, Optimization

۱- مقدمه

امروزه، کاربرد سازه‌های بتن مسلح به منظور ذخیره آب یا دیگر مایعات آبی گسترش فراوانی یافته است. در این راستا، برای ساخت سازه‌هایی با کیفیت بالا و با صرفه اقتصادی رعایت یک طراحی و اجرای درست و دقیق آن از اهمیت خاصی برخوردار است [۱]. هر سازه‌ای که برای نگهداری مایعات طراحی می‌شود باید از پایداری، مقاومت و استحکام کافی در برابر ترک خوردگی و تغییر شکل برخوردار باشد. طراحی باید به گونه‌ای باشد که مایع نتواند از میان بتن سازه نفوذ و یا تراوش نماید [۲]. در سازه‌های معمولی، جنبه بحرانی طراحی، پایداری و مقاومت سازه در مقابل بارهای وارده می‌باشد. اما در طراحی مخازن نگهدارنده مایعات، سازه باید افزون بر پایداری و استحکام سازه‌ای، در برابر نفوذ و تراوش نیز مقاومت کافی نشان دهد. بنابراین در این گونه سازه‌ها، باید پوشش بتنی مناسب برای آرماتور در نظر گرفته شود. لذا طراحی سازه‌های نگهدارنده مایعات آبی، حساستر از سازه‌های معمولی می‌باشد [۳].

در گذشته طراحی سازه‌های بتنی بر مبنای تئوری الاستیک انجام می‌پذیرفته حال آنکه پایه و اساس این تئوری، کنترل تنش‌های حداکثر زیر بارهای وارده می‌باشد. طراحی سازه‌های نگهدارنده مایعات آبی، براساس روابط الاستیک و با محدود بودن تنش‌های مصالح به مقادیر مجاز انجام گرفته شده است و با وجود این تنش کم، ترک در سازه به میزان زیاد توسعه نیافته است. این مساله سبب کاربرد مقاطع ضخیم بتن همراه با مقدار زیادی از فولاد می‌شود. در آن زمان تحلیل مسائل بر روی احتمال ترک خوردگی حرارتی و ترک خوردگی ناشی از افت بتن بر اساس پایه‌های قابل قبولی صورت نگرفته بود. همچنین در آیین‌نامه‌ها فقط مقادیر اسمی فولاد آورده می‌شد. در سال‌های اخیر حالت حدی که پایه‌های منطقی بیشتری دارد، برای تعیین فاکتورهای ایمنی معرفی شد در این روش ضرایب بارهای وارده به همراه مقاومت‌های نهایی مصالح در طراحی سازه مخازن استفاده گردیده است. به منظور محاسبه عرض ترک خمشی و مقایسه آن با بیشترین مقدار مجاز، از روش‌های تحلیلی توسعه یافته‌ای استفاده می‌شود. افزون بر آن، روش‌های محاسبه اثرات کرنش‌های حرارتی و کرنش‌های ناشی از افت خشک شدن بتن نیز مطرح گردیده است. پیشرفت‌های مذکور سبب توسعه اعمال روش حالات حدی در طراحی سازه‌های نگهدارنده مایعات آبی شده‌اند. روش طراحی حالات حدی، امکان شناسایی و بررسی حالت‌های ممکن شکست سازه را به طراحان می‌دهد، بطوریکه بتوان از گسیختگی زودرس سازه جلوگیری به عمل آورد [۴].

در این تحقیق با توجه به یکسان بودن شکل سازه مخازن بتنی و میزان دامنه دبی آب ورودی که از ۱۰۰۰ الی ۳۰/۰۰۰ مترمکعب می‌باشند. در ابتدا یک مخزن با حجم دبی ورودی ۱۰۰۰۰ متر مکعبی و با توجه به حالت حداکثری شرایط طراحی در کشور انتخاب گردیده است. طبق آنالیزهای انجام شده بر اساس فرضیات مطرح شده محدوده‌ای از ضخامت المان‌های پوسته و میلگردهای مصرفی بر طبق بیشترین تنش موجود در سازه مشخص شده‌اند. سپس با کمک الگوریتم رابط پارامتریک شناسایی سیستم سازه‌ها^۱ که به مفهوم ارتباط دهنده نرم افزار محاسباتی به روش المان محدود و کد نگارش شده الگوریتم اجتماع ذرات در نرم افزار مطلب می‌باشد [۵ و ۱۴]، یک رابطه دو طرفه برای دستیابی به مقاطع بهینه انتخاب گردیده است. در انتها در جهت استفاده از غلاف تقویتی پیرامونی هر یک از پارامترهای بهینه سازی شده با توجه به قیود مربوطه مورد ارزیابی مجدد در فرآیند آنالیزی قرار گرفته تا جهت قرارگیری و جانمایی بهینه آن‌ها مشخص شوند.

۲- مسائل بهینه‌سازی

مسائل بهینه‌سازی را در حالت کلی می‌توان به دو گروه مسائل بدون قید و مسائل مقید تقسیم می‌شوند [۶]. در بهینه‌سازی سازه‌ها به دلیل وجود قیود متعدد برای محدود نمودن تنشها، تغییر شکلها و مصالح مصرفی، غالباً با مسائل مقید سروکار داریم. مسئله بهینه‌سازی مخازن بتنی نگهدارنده سیالات نیز یک مسئله بهینه‌سازی سازه‌ای مقید می‌باشد. برای تبدیل یک مسئله مقید به یک مسئله بدون قید روشهای مختلفی وجود دارد که رایج ترین آنها استفاده از تابع جریمه است که نوع به کار گرفته شده در تحقیق حاضر می‌باشد. حال به بیان مسئله بهینه‌سازی کلی می‌پردازیم. یک مسئله بهینه‌سازی (کمینه‌سازی) را می‌توان به صورت زیر مطرح نمود:

$$\text{minimize : } F(\{X\}) \quad (1)$$

$$\text{subject : } \begin{cases} g_i(\{X\}) \leq 0 \\ h_j(\{X\}) = 0 \end{cases} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, k \\ j = 1, 2, \dots, z \end{cases} \quad (2)$$

$$(X_L) \leq (X) \leq (X_U) \quad (3)$$

در رابطه (۱) بردار $\{X\}$ نمایانگر متغیرهای طراحی و نماد F نشان دهنده تابع هدف مسئله بهینه‌سازی بوده که معیاری برای طرح‌های مختلف و انتخاب طرح برتر به شمار می‌آید. مشخص است که کمینه‌سازی تابع هدف نباید اثر نامطلوبی بر رفتار سازه و کارایی آن داشته باشد. سپس لازم است نقطه کمینه تابع هدف نابرابری‌های رابطه (۲) را که قیود مسئله نامیده می‌شوند، برآورده نماید. نمادهای g و h در برگرنده شرایطی است که دامنه حدود تغییرات، توانایی سازه برای تحمل بارهای وارده و نیز سایر معیارهای کاربردی آن را تضمین می‌کند. از طریق می‌توان محدودیت‌های حداقل و حداکثر میزان آرماتور مصرفی، تغییرات ضخامت جداره مخازن بتنی، بیشترین تنش و بیشترین تغییر مکان را نام برد. سرانجام رابطه (۳) نشان دهنده محدودیتهایی است که به دلیل ملاحظات غیر رفتاری سازه مانند مسائل اجرا بر متغیرهای طراحی وارد می‌گردند [۲۰].

۳- طراحی مخزن بتنی از منظر ساخت و بهره‌برداری

۳-۱- کلیات

در تاسیسات آبرسانی، مخازن آب جهت هماهنگ کردن تولید و مصرف آب و همچنین تنظیم فشار در شبکه آبرسانی استفاده می‌شوند. تاسیسات آبرسانی و تصفیه آب بر پایه حداکثر دبی مصرفی روزانه تا هفتگی مصرف آب طرح می‌شود. توجه به جنبه‌های اقتصادی طرح و بهره‌برداری ایجاب میکند، که ظرفیت تاسیسات برداشت بطوری باشد که در روندی یکسان در شبانه روز، بتواند آب مورد نیاز را تامین نماید [۳]. روشن است که مصرف آب در شهر نمی‌تواند تابع این روند یکنواخت باشد، مصرف آب در ساعات مختلف، بر حسب شرایط،

ممکن است تا چند برابر میانگین مصرف روزانه متغیر باشد. برای کاهش یا حذف تاثیر این نوسانات و ایجاد هماهنگی بین تولید و مصرف آب، ساخت مخازن هماهنگ کننده یا تعدیل کننده از منظر اقتصادی و بهره برداری قابل توجه می باشد [۲۱]. این مخازن بتنی در هر نقطه از تأسیسات آبرسانی که ساخته شوند، پیرامون خود را از تغییرات شدید مصرف ساعتی آب محفوظ نگه خواهند داشت. مناسبترین محل برای ساخت این مخازن در صورتی که شرایط ایجاب نماید در مرکز توزیع آب یا در کنار آن می باشد. در این موقعیت، خطوط انتقال و تأسیسات آبیگری و تصفیه از تغییرات ساعتی مصرف ایمن بوده و هزینه های بهره برداری طرح از نگاه اقتصادی مناسب می شود [۱۰].

در این تحقیق با توجه به یکسان بودن المان های سازه ای در مخازن بتنی مستطیلی مدفون یک مخزن بتنی با امکان ذخیره ۱۰۰۰۰ مترمکعب آب مورد نیاز شبکه توزیع انتخاب گردیده است در این مرحله با توجه به سوابق طراحی گوناگون مخازن حدود ضخامت دیوارها، فونداسیون و سقف برای دستیابی به حدود مرزی قیدها انتخاب شده است تا فضای بهینه سازی مسئله در فضای مناسب انتخاب شود. در مرحله بعدی با کمک آنالیز محاسباتی به روش المان های محدود دامنه ای از جداره های پوسته مخزن با توجه به موقعیت های کناری و میانی با فرض تاثیر بارگذاری نیروی آب درون مخزن بر دو جداره متقابل در حالت پر از آب و یک جداره انتخاب گردیده است. در بین المان های مطرح شده آن طیف از المان هایی که حداکثر میزان تنش وارده را دارند انتخاب گردیده اند تا در ابتدا ضخامت بهینه جداره پوسته، میزان بهینه میلگرد مصرفی محاسبه و در مرحله بعد همین پارامترهای مورد بررسی برپایه غلاف تقویتی مورد ارزیابی قرار می گیرند.

۲-۳- فرضیات محاسبات مخزن بتنی

در این تحقیق با توجه به تیپ بودن شکل سازه ای مخازن بتنی فرضیاتی بر اساس مدل سازی صورت گرفته انتخاب شده است. سازه مخزن به صورت نیمه مدفون بوده که آب مخزن ۱۰/۰۰۰ متر مکعبی هدایت شده می باشد. حداکثر تراز آب در مخزن برابر ۴/۷+ متر نسبت به تراز کف می باشد. ابعاد ترازهای سازه مخزن در کف برابر ۴۱/۶۰ متر عرض، ۶۱/۶۰ متر طول و در ارتفاع ۵/۳۵+ متر برابر ۴۰/۶۰ متر عرض، ۶۰/۶۰ متر طول می باشد. به منظور افزایش ضریب اطمینان و همچنین کاهش مقادیر تنش در پای دیوارها، در کف پاشنه ای به عرض ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. سازه بتنی مخزن شامل دیوارهای پیرامونی بتنی به ارتفاع ۵/۱۰ متر می باشد که بر روی سقف آن ۴۰ سانتی متر خاکریزی انجام شده است. این سازه به صورت نیمه مدفون در زمین در نظر گرفته شده است و همچنین با توجه به محافظت از محموله، امکان تردید و سایط نقلیه از روی سقف مخزن وجود ندارد [۹، ۳].

مصالح بتنی مورد استفاده در مخزن، با توجه مقاومت مورد نیاز و همچنین کاربری سازه مورد نظر، با حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی برابر ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و حداقل سیمان مصرفی برابر ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است. بتن مورد استفاده حداکثر مقدار نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ فرض شده و طرح اختلاط جهت عملیات اجرایی در محل احداث سازه و با توجه به شرایط موجود، قابل ارائه خواهد بود. نوع میلگرد مصرفی در بتن ریزی های قسمت های مختلف سازه (فونداسیون، دیوارها، سقف و ستون ها)، با توجه به مقاومت مورد نیاز و همچنین ایجاد گیرایی مناسب بین مصالح فولادی و بتنی و عملکرد همزمان، از نوع AIII آجدار و با حداقل حد جاری شدن ۴۰۰۰ تا ۴۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع فرض شده و در مدل منظور گردیده است [۷، ۴].

خاک محل ساختگاه از نوع II در نظر گرفته شده است. ظرفیت باربری خاک برابر ۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و وزن مخصوص خاک موجود در محل نیز برابر ۲ تن بر مترمکعب فرض شده است. سطح آب زیر زمینی در محل احداث سازه مخزن، با توجه فرضیات منطقه، پایین تر از تراز کف در نظر گرفته شده و در نتیجه بار گذاری های جانبی استاتیکی و دینامیکی آب ناشی از زمین لرزه در پیرامون دیوارهای سازه تعریف نشده است [۸].

محل اجرای پروژه در شهری با خطر پذیری نسبی زلزله زیاد انتخاب شده است که مقادیر نیروی زلزله و بارهای دینامیکی آب و خاک وارد بر سازه قابل محاسبه می باشند. در محاسبه ضریب زلزله، محل ساختگاه، پهنه با خطر نسبی زلزله زیاد و حداکثر شتاب زلزله برابر $0.3 * g$ و با توجه به اینکه سازه مورد نظر مربوط به تأسیسات آبرسانی است، سازه با اهمیت خیلی زیاد و ضریب اهمیت ۱،۴ در نظر گرفته

شده است. ضریب رفتار برابر ۳ نیز بر اساس شکل پذیری و قابلیت استهلاک انرژی پایین این سازه‌ها، به منظور اعمال بارهای جانبی زمین لرزه بر سازه بتنی مخزن و فشارهای دینامیکی آب و خاک لحاظ شده است [۹]. طبق ضوابط آیین نامه جهت اعمال شرایط ترک خوردگی المان‌ها و اثرات کاهش مقاومت و سطح مقطع هر یک، ضریب ترک خوردگی موثر در ممان اینرسی اعضا را برای ستون‌ها ۰/۷۰ حول محورهای y و z لحاظ شده است. همچنین اثرات کاهش سختی ناشی از ترک خوردگی، در دیوارها با ضریب کاهش ۰/۷۰، در سقف با ضریب کاهش ۰/۲۵ و در نواحی صلب انتهایی اعضا در اتصالات، صلبیت این ناحیه برابر ۰/۵۰ فرض شده است [۳].

۳-۳- انتخاب المان‌های سازه مخزن بتنی

ضخامت المان‌های پوسته برای دیوارهای پیرامونی، فونداسیون و سقف، با توجه به ابعاد هر المان و شرایط بارگذاری آن، بر اساس تجربه‌های پیشین در مدل سازی‌ها تعریف شده است. بگونه‌ای که برای دیوارها با توجه به وجود تنش‌های بزرگ در محل اتصال به پی، بیشترین ضخامت و با کاهش تنش و حرکت به سمت سقف مخزن، مقادیر ضخامت به تدریج کاهش یافته است. در پی نیز که این دیوارها به آن متصل هستند ضخامت بیشتری جهت تامین گیرداری مناسب و باربری در پای دیوارها تعریف گردیده که با حرکت به سمت مرکز مخزن این مقادیر با توجه به کاهش مقادیر تنش، کاهش یافته است. در تعریف این المان‌ها، جهت محورهای محلی مطابق با فرضیات اولیه طراحی و چگونگی بارگذاری سازه، تعریف شده است.

ابعاد مقاطع المان‌های قاب ستون‌ها، بر اساس مقادیر بارهای اعمالی تابع اندازه دهانه‌ها، ارتفاع سازه و شرایط بارگذاری و همچنین تجربه‌های پیشین مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به شرایط بارگذاری، سهولت قالب‌بندی و آرماتوربندی و ضخامت سقف، به صورت اولیه در مدل‌ها منظور شده است. در تعریف این المان‌ها، جهت محورهای محلی مطابق با فرضیات اولیه طراحی تعریف و ترک خوردگی مقاطع ستون، در مدل‌ها بر اساس آیین‌نامه منظور شده و همچنین در محل اتصالات اثر کاهش صلبیت مقاطع تعریف شده است. ابعاد اولیه ستون‌ها با استفاده از تجربه‌های مدل‌سازی پیشین و با توجه به طول دهانه، ارتفاع سازه و مقادیر بارهای اعمالی برابر ۴۰ در ۴۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. تعداد آرماتورها نیز به صورت اولیه در هر ستون برابر ۸ عدد فرض شده است. میزان سطح مقطع میلگرد مصرفی برابر ۰/۰۰۴ الی ۰/۰۰۴ سانتیمتر مربع با بتن پوشش ۵ سانتیمتر مشخص شده است [۹، ۸، ۴].

۳-۴- بارگذاری مخزن بتنی

با توجه به اینکه سازه مورد نظر به صورت نیمه مدفون در خاک و تحت فشار استاتیکی و دینامیکی آب ذخیره شده می‌باشد، لذا جهت تعریف انواع بارهای وارده ضوابط و معیارهای آیین‌نامه اعمال شده‌اند. به منظور نیروهای جانبی زلزله به سازه مخزن میزان ضریب زلزله C برابر با ۰,۳۵ مورد استفاده قرار گرفته است و پس از آنالیز اولیه و پایین بودن زمان تناوب محاسبه شده، صحت فرض ضریب بازتاب برابر با ۲,۵ انتخاب شده است. به منظور انجام آنالیز مودال و تعیین صحیح زمان تناوب مخزن در مدل و همچنین بارگذاری زمین لرزه‌ای سازه مخزن با استفاده از مفهوم ضریب زلزله، نیاز به تعریف جرم موثر در زمین لرزه برای سازه می‌باشد، لذا با توجه به مفاهیم تحلیل لرزه‌ای، این جرم برابر مجموع بار مرده به همراه ۰/۲ بار زنده در مدل تعریف شده است [۸، ۳].

خلاصه بارهای وارده به سازه طی محاسبات انجام شده برای مجموع بار مرده اعمالی برابر با ۰/۷۲ تن بر مترمربع، بار برف طبق ضوابط مربوطه برابر با ۰/۱۵۰ تن بر مترمربع می‌باشد. وزن المان‌های پوسته و قاب‌ها موجود در مدل با اعمال ضرایب ۱ در تعریف بارها به صورت خود افزایشی در بار مرده منظور شده است. با توجه به نیمه مدفون بودن سازه در خاک در تماس با جداره‌های پوسته مخزن بتنی می‌بایست اثرات فشار جانبی خاک را بر روی المان‌های دیوارها اعمال نمود لذا ضریب فشار جانبی خاک در یک متر عرض دیوار برابر ۲/۵۷ تن بر مترمربع محاسبه شده است [۷، ۴].

تغییرات فشار خاک در هنگام زلزله، برای اعمال فشار جانبی خاک در حالت دینامیکی را می‌توان از رابطه سید و ویتمان بر اساس ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی استفاده نمود و فشار دینامیکی حاصل را به المان‌های پوسته دیواره‌های جانبی مدفون در خاک اعمال نمود لذا این متغییر از ۱/۵۷ تن بر متر مربع در ارتفاع ۳ متری تا کف مخزن متغییر می‌باشد. فشار جانبی و قائم مایعات با استفاده از تئوری مکانیک سیالات طبق رابطه $P = \gamma y$ محاسبه می‌شود که در آن P فشار جانبی یا قائم مایع، γ وزن مخصوص مایع و y عمق تراز مورد نظر از سطح آزاد مایع می‌باشد. با توجه به کاربری این سازه و وجود ۴/۷ متر آب در داخل مخزن می‌بایست اثرات فشار جانبی آب را به المان‌های پوسته دیواره‌های بتنی پیرامونی وارد نمود، همچنین فشار قائم ناشی از وزن آب بر روی کف مخزن نیز گسترده وارد می‌شود. وزن مخصوص آب برابر ۱ تن بر مترمکعب در نظر گرفته شده است و میزان P برابر با ۴/۷۰ تن بر مترمربع خواهد بود [۲۱].

در بارگذاری مخازن، جدار سازه از نوع سخت فرض می‌شود، لذا مطابق تئوری هازنر، مدل دینامیکی مایعات با ویسکوزیته‌ای در حدود آب که درون مخزنی با جدار سخت قرار دارند، مدلی با دو درجه آزادی است. یک درجه آزادی مربوط به جرمی شامل وزن آن قسمت از مایع است که همراه مخزن نوسان می‌کند و جرم سخت (W_1) نامیده می‌شود و یک درجه آزادی شامل وزن آن قسمت از مایع درون مخزن می‌باشد که به طور مستقل، با زمان تناوبی به مراتب بزرگتر از زمان تناوب قسمت سخت و سازه نوسان می‌کند و جرم موج (W_2) نامیده می‌شود [۹]. با توجه به تغییرات فشار آب در هنگام زلزله، برای اعمال این فشار جانبی در حالت دینامیکی می‌توان از روابط موجود در ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخزن آب زیرزمینی استفاده نمود و فشار دینامیکی حاصل را به المان‌های پوسته دیواره‌های جانبی اعمال نمود. این میزان در راستار X برای دومیزان Q_1 برابر با ۱/۵۵ تن بر متر مربع در سقف و ۳/۹۷ تن بر مترمربع در کف می‌باشد و همچنین در راستار Y برای دومیزان Q_1 برابر با ۱/۷۱ تن بر مترمربع در سقف و ۴/۱۳ تن بر مترمربع در کف می‌باشد. به منظور اعمال نیروهای ناشی از تغییر درجه حرارت بر روی المان‌های پوسته، تغییر درجه حرارتی برابر ۲۰ درجه سانتیگراد بر روی این اعضا با توجه قرار گرفتن این سازه در زمین و خاکریز روی سقف اعمال شده است.

۳-۵- نرم افزار و مدل سازی مخزن بتنی

به دلیل استفاده از المان‌های پوسته و نیاز به شبکه بندی و تحلیل قسمت‌های مختلف این سازه، به منظور مدل سازی مخزن از نرم افزار المان محدود [۲۳] با قابلیت انجام تحلیل‌های خطی المان‌های پوسته متصل به المان‌های قاب، استفاده شده است [۱۷]. سازه مخزن با توجه به درزهای انبساط موجود به شش قسمت تقسیم گردیده که به منظور طراحی قسمت‌های مختلف این سازه، سه مدل طبق ضوابط [۱۳] در برنامه فوق‌الذکر ساخته و بررسی گردیده است. برای اعضای دیوار مخزن، ضخامت المان پوسته با توجه به طول و ارتفاع دیوار و شرایط بارگذاری آن، در محل اتصال به پی تا ۸۰ سانتیمتر و با حرکت به سمت بالا و سقف به تدریج کاهش یافته و در محل اتصال به سقف حداقل ۳۵ سانتیمتر فرض شده است. ضخامت دیوارهای برشی حداقل ۳۵ سانتیمتر و ضخامت پی نیز با توجه به تجربه‌های پیشین و لنگر و برش انتقال یافته از طرف دیوارها، در محل اتصال به دیوار حداکثر ۸۰ سانتیمتر فرض شده که با حرکت به سمت مرکز مخزن این مقدار به تدریج کاهش یافته و پس از ۷ متر حداقل ۴۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. ضخامت سقف نیز با توجه به تجربه‌های پیشین و لنگر و برش انتقال یافته از طرف دیوارها و همچنین ضخامت خاک سربار، حداقل ۲۵ سانتیمتر در مدل تعریف شده است. پس از اتمام هندسه و بارگذاری، هر یک از مدل‌های فوق تحلیل استاتیکی خطی قرار گرفته و با توجه به نتایج حاصل، المان‌های پوسته به صورت دستی و المان‌های قاب توسط برنامه طراحی شده است.

۳-۶- نتایج تحلیل مخزن بتنی

پس از انجام تحلیل، نتایج تحلیل استاتیکی خطی تمامی حالات بارگذاری مدل‌ها، برای طراحی دستی سازه بتنی بر اساس مقادیر نیروها و لنگرها حاصل از آنالیز مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور طراحی سازه بتنی مخزن متشکل از المان‌های پوسته، نتایج تحلیل سازه برای انواع بارهای وارد بر آن، در قالب ترکیبات بار مشخص و پاسخ‌های لنگر خمشی و نیروهای کششی وارد بر پوسته‌های دیوار، فونداسیون و سقف مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از مقادیر لنگر کشش ضمن تعیین و طراحی ضخامت اعضای سازه جهت مقاومت در برابر نیروی برشی وارده و همچنین بهینه کردن مقادیر میلگرد مورد نیاز برای مقاومت در برابر لنگر و کشش، آرماتورهای مورد نیاز در اعضا به همراه مقادیر اضافی در نقاط تمرکز تنش محاسبه شده است. به منظور کنترل تنش‌های زیر پی جهت جلوگیری از ایجاد کشش در خاک و همچنین بیشتر شدن تنش‌های زیر پی نسبت به تنش مجاز خاک، میزان تغییر مکان قائم پی تحت ترکیبات بارگذاری فونداسیون کنترل گردیده و با توجه به نتایج حاصل از آنالیز مدل، بلندشدگی در پی رخ نداده و خاک زیر پی تحت کشش قرار نگرفته است.

۳-۷- اعتبارسنجی نرم افزار تحلیل مخزن بتنی

در جهت راستی آزمایشی آنالیز نرم افزار یک پوسته فلزی مستطیلی انتخاب گردید و یکبار به صورت المان پوسته‌ای نازک و بار دیگر به صورت المان پوسته‌ای ضخیم به کمک نرم افزار مدل سازی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹]. مدل سازی اولیه مطابق جدول شماره ۱ بر اساس یک المان ۸ گرهه ای با ۱۲ عضو با ضخامت ۰/۰۰۱ متر می‌باشد که تکیه گاه‌های آن در راستای X و Y گیردار و در راستای Z دارای پیچش صفحه‌ای و در راستاهای X و Y داری خمشی می‌باشند. نتایج بدست آمده از نرم افزار و محاسبات دستی طبق جدول شماره ۲ نشان داده شده است [۲۰]. نتایج بدست آمده طبق محاسبات پیش فرض نرم افزار نشان دهنده صفر درصد تخطی بر اساس نتایج حاصل شده می‌باشد [۲۴].

۴- الگوریتم اجتماع ذرات

الگوریتم اجتماع ذرات یک تکنیک بهینه‌سازی بر پایه قوانین احتمال می‌باشد که ایده اولیه آن توسط راسل ابرهارت، دانشمند علوم کامپیوتر و جیمز کندی، روان‌شناس مسائل اجتماعی در سال ۱۹۹۵ ارائه شد [۱۶]. این الگوریتم از رفتار اجتماعی پرندگان در حین جستجوی غذا برای هدایت مجموعه پرندگان به منطقه امید بخش در فضای جستجو استفاده می‌کند. الگوریتم اجتماع ذرات ذاتاً یک الگوریتم بهینه‌سازی پیوسته است و نسخه باینری این الگوریتم برای بهینه‌سازی مسائل گسسته به کار می‌رود [۲۰]. همان‌طور که گفته شد این الگوریتم از رفتار جمعی پرندگان در یافتن غذا الگوبرداری می‌شود. به این ترتیب که مجموعه‌ای متشکل از یک سری ذرات تشکیل می‌شود که هر ذره معرف یک پرنده در فضای جستجو می‌باشد. این الگوریتم با بهنگام کردن موقعیت ذرات با توجه به میزان شایستگی آنها مجموعه را به سمت جواب بهینه هدایت می‌کند.

این روش همانند روش الگوریتم وراثتی از یک جمعیت استفاده می‌کند که فضای مساله را به دنبال نقطه بهینه جستجو می‌کند. بنابراین برای هر ذره اندازه سرعت و جهت آن با ذره دیگر متفاوت خواهد بود. به هنگام جابجایی سرعت به دست آمده در یک اینرسی ضرب شده و سپس با مکان فعلی ذره جمع می‌شود.

$$\vec{v}_i(t) = \varphi \vec{v}_i(t-1) + r_1 c_1 (\vec{x}_{pbest} - \vec{x}_i(t-1)) + r_2 c_2 (\vec{x}_{Gbest} - \vec{x}_i(t-1)) \quad (۳)$$

$$\vec{x}_i(t) = \vec{x}_i(t-1) + \vec{v}_i(t) \quad (۴)$$

که در آن ϕ ضریب اینرسی، c_1 و c_2 عوامل یادگیری فردی و اجتماعی می‌باشند. مقادیر c_1 و c_2 مقدار عددی ثابت بین $1/5$ تا $2/5$ را به خود می‌گیرند r_1 و r_2 از بازه (۰،۱) بصورت تصادفی انتخاب می‌شوند تا پایداری سیستم را متضمن شوند t شمارنده تکرار و $\vec{x}_i(t)$ ، $\vec{v}_i(t)$ به ترتیب بردارهای سرعت و مکان برای i امین ذره می‌باشند. \vec{x}_{pbest} مبین بردار مکان بهترین موقعیت در تاریخچه ذره i امین تاکنون می‌باشد. \vec{x}_{gbest} بهترین موقعیت در بین کل ذرات تا کنون است که از همه به جواب نزدیکتر بوده است [۲۱]. از آنجایی که هیچ فرایندی جهت کنترل سرعت ذرات وجود نداشت، لازم شده است که یک مقدار حداکثر V_{max} برای آن در نظر گرفته شود که اگر سرعت از این حد فراتر رود، باید برابر با V_{max} قرار گیرد. مقدار این پارامتر برای فرایند بهینه سازی تعیین کننده است، زیرا ممکن است به ازای مقادیر بالای V_{max} ، ذرات از روی راه حل‌های خوب عبور نمایند و یا اینکه با مقادیر کم آن، از اکتشاف مناسب در فضای جستجو جلوگیری شود.

۵- انطباق الگوریتم اجتماع ذرات با مخازن بتنی

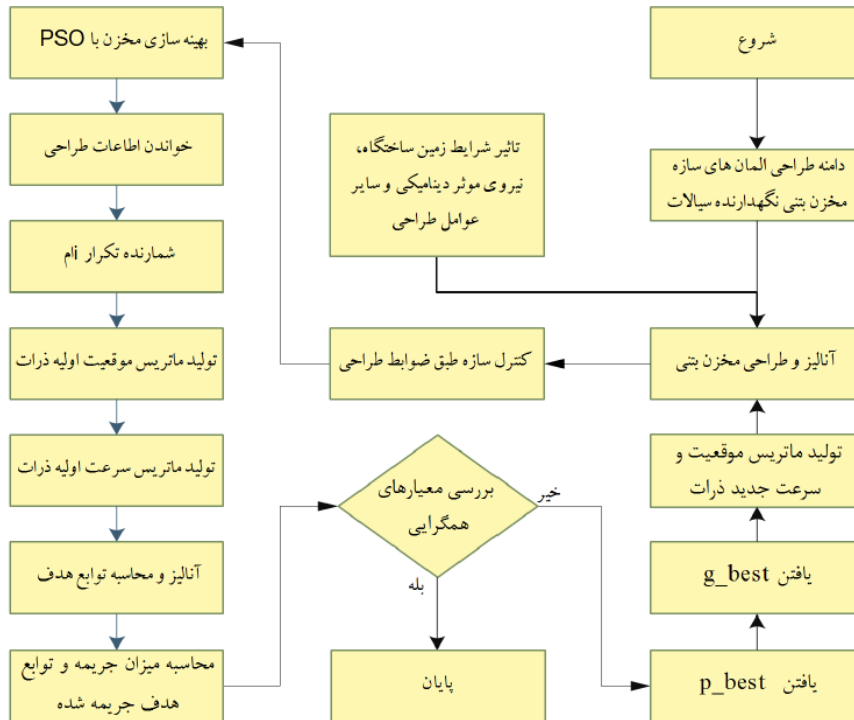
بهینه سازی در سازه به مفهوم دستیابی به المان‌های سازه‌ای با حداقل وزن و عملکرد بهینه در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی با کمترین میزان آسیب‌پذیری و حداکثر ایمنی می‌باشد [۲۰]. در مخزن بتنی در ابتدا بر اساس تجارب قبلی محدوده‌ای برای ضخامت المان‌های سازه‌ای با توجه به ابعاد مخزن و همچنین ارتفاع ۵/۱ متری آن در مدل انتخاب گردیده است. نقش اینرسی وزنی ϕ در رابطه (۵) به عنوان شاخصی موثر بر رفتار همگرایی الگوریتم اجتماع ذرات مطرح گردیده است. اینرسی وزنی، جهت کنترل تاثیر سوابق سرعت‌های پیشین بر سرعت‌های جاری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین قابلیت اجتماع ذرات را در اکتشاف مناطق بهینه فراگیر و محلی، و استخراج جواب بهینه تنظیم می‌نماید. مقادیر زیاد پارامتر ϕ به اکتشاف مناطق بهینه فراگیر (جستجوی نواحی جدید) کمک می‌کند و این در حالی است که مقادیر کم این پارامتر به اکتشاف مناطق بهینه محلی و استخراج جواب بهینه، کمک می‌نماید. در ابتدا، مقدار اینرسی وزنی ثابت در نظر گرفته شده اما نتایج تجربی نشان داد که بهتر است در ابتدا، جهت بهبود اکتشاف فراگیر در فضای جستجو، مقدار زیادتری برای اینرسی وزنی در نظر گرفته شود و بتدریج جهت بهبود در استخراج راه حل بهینه، از مقدار آن کاسته شود بنابراین می‌توان برای تعیین اینرسی وزنی از رابطه (۵) استفاده نمود:

$$\phi = \phi_{\max} - \frac{(\phi_{\max} - \phi_{\min}) \times n}{iTer_{\max}} \quad (5)$$

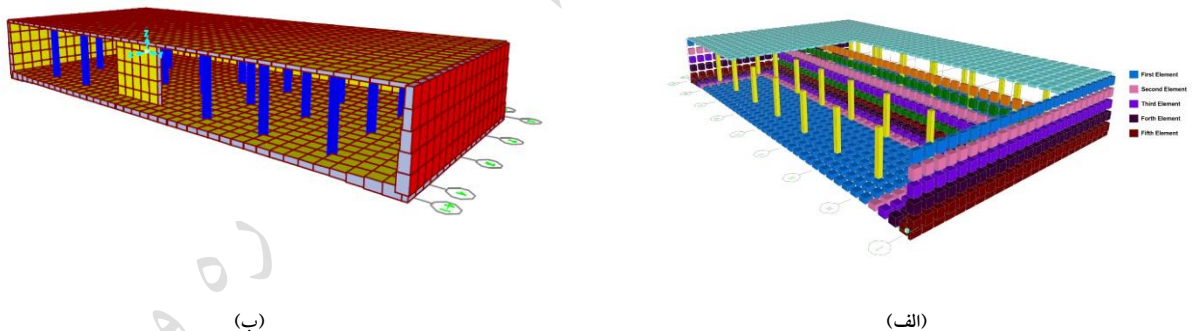
که در آن ϕ_{\max} میزان اولیه اینرسی وزنی، ϕ_{\min} میزان نهایی اینرسی وزنی، $iTer_{\max}$ حداکثر تعداد تکرارها و n شماره تکرار جاری می‌باشد. اضافه نمودن جمله جریمه به برازندگی (اگر هدف یافتن مینیمم باشد این جمله به مقدار برازندگی اضافه می‌شود و در حالت یافتن ماکزیمم این جمله از برازندگی کم می‌شود). هدف این روش این است که مقدار بهینه‌ای که خارج از فضای ممکن یافت می‌شود، از مقدار بهینه در فضای ممکن بهتر نباشد. همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود نحوه شروع مرحله برنامه کدنویسی شده در محیط نرم‌افزار مطلب به نمایش در آمده است تا توسط رابطه دو الگوریتم و فایل محاسباتی سازه مخزن بتنی میزان بهینه پوسته مخزن در حالت‌های مورد بررسی اخذ گردد.

بر طبق برنامه نگارش ده بر اساس شکل (۲-الف) شامل ۳ المان‌های پوسته مخزن بتنی با ابعاد ۱۰۰ سانتیمتری شبکه‌بندی شده و بر طبق آنالیزهای صورت پذیرفته محدوده ضخامت پوسته مخزن از ۳۵ الی ۸۰ سانتیمتر، فونداسیون از ۳۵ الی ۸۰ سانتیمتر و سقف از ۲۵ الی ۳۵ سانتیمتر متغیر در نظر گرفته شده‌اند. همانگونه که در شکل (۲-ب) مشاهده می‌شود یک مخزن دارای ۴ جهت دیوار پیرامونی می‌باشد که با توجه به نسبت تنش ماکزیمم وارد شده به هر یک از المان‌های انتخابی، جداره گوشه در سمت مثبت راستای y و x و z برای انجام

محاسبات انتخاب گردیده و هر یک از ۵ المان انتخابی بر اساس تیپ بندی جدارهای پوسته مخزن در طول پوسته محیطی مخزن به صورت نوارهای پیرامونی گسترده می شوند.



شکل ۱: بهینه سازی مخزن بتنی توسط الگوریتم های PARIS و اجتماع ذرات



شکل ۲: الف) جانمایی محل المانها، ب) مدل سازه ای مخزن و المانها

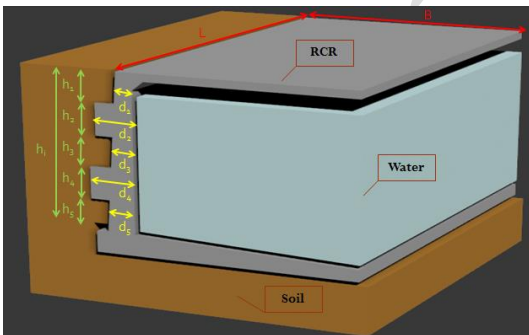
در ابتدا با توجه به حدود فضای مسئله برای حداقل سازی میزان وزن سازه و کنترل پایداری تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی محدوده ای از جزئیات المانها بر اساس ارتباط الگوریتم رابط پارامتریک شناسایی سیستم سازه ها بین نرم افزار مدل سازی و کد الگوریتم اجتماع ذرات ایجاد گردید تا بر اساس هر تکرار در ابتدا محدوده انتخابی ضخامت به حداقل برسد و همچنین میزان آرماتور مصرفی در واحد طول برای محاسبه نوع میلگرد مصرفی بهینه یابی گردند. پس از دستیابی به المانهای بهینه از دو غلاف پیرامونی در المانهای پوسته شماره ۲ و ۴ شکل (۲-الف) استفاده گردید تأثیر این مورد بر رفتار سازه در مرحله مدل سازی و بهینه سازی پس از آن مورد ارزیابی قرار گیرد. در نتیجه این رابطه دوطرفه بین آنالیز و کد الگوریتم در جهت انجام بهینه سازی در سه بخش کاهش وزن سازه، دستیابی به حداقل ضخامت جداره مخزن تحت بار گذاری انجام شده و کمینه نمودن میزان میلگرد مصرفی در واحد طول صورت پذیرفته است.

۱-۵- تابع هدف الگوریتم اجتماع ذرات

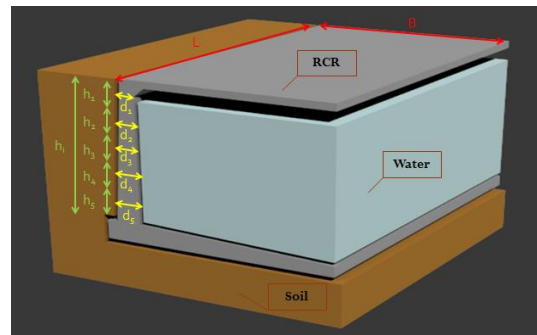
تابع هدف که توسط محققین این پژوهش مطرح شده است و مورد استفاده قرار گرفته است. این تابع هدف در جهت حداقل نمودن وزن سازه مخزن به صورت رابطه (۶) بوده که $f_{d_i}^W$ تابع حداقل سازی وزن مخزن بر اساس تغییر ضخامت المان i ام، F_y مقاومت مشخصه فولاد، f'_c مقاومت مشخصه فشاری بتن، M_{u_i} لنگر خمشی مقاومت نهایی المان i ام، ϕ و λ ضریب جزیبی ایمنی، γ وزن مخصوص مصالح، b_w پهنای جان، d_i ضخامت المان i ام، V_{u_i} مقاومت برشی نهایی المان i ام، h_i ضخامت کل المان i ام، α و β ضرایب طراحی، l طول مخزن و b عرض مخزن می‌باشند. با توجه به حداقل سازی پارامترهای دخیل در بهینه سازی مخزن با توجه به آنالیز انجام شده دامنه‌ای از میزان لنگر خمشی و نیروی برش نهایی کسب و با توجه به قیود مطرح شده در هر یک از المان‌ها تابع مربوطه با توجه به ضوابط طراحی حداقل شده است تا میزان بهینه ضخامت پوسته مخزن به همراه میلگرد مصرفی بر اساس ضوابط طراحی محاسبه می‌شوند [۳] و [۴].

$$f_{d_i}^W = \sum_{i=1}^5 \left(\frac{1 - \sqrt{1 - \frac{2 \frac{F_y}{.85 f'_c} \frac{M_{u_i}}{\phi b_w d_i^2}}{F_y}}}{\frac{F_y}{.85 f'_c}} \right) \alpha b d_i \gamma_1 (l + b) + \sum_{i=1}^5 \left(\frac{\beta \gamma_2 h_i V_{u_i} (l + b)}{.17 \lambda d_i \sqrt{f'_c}} \right) \quad (6)$$

با توجه به حضور متغیرهای متفاوت طبق رابطه (۶) در جهت امکان حل مسئله طبق فرضیات مطرح شده مقادیر M_{u_i} ، V_{u_i} و d_i المان i ام مطابق شکل (۳-۵) به عنوان دامنه و قیود مسئله در جهت حداقل سازی وزن سازه در نظر گرفته شده است. با توجه به حل مسئله توسط الگوریتم اجتماع ذرات بخشی از پارامترهای مورد استفاده در نرم افزار مطلب عبارتند از: تعداد متغیرها برابر ۲، دامنه بهینه همگرایی تعداد تکرارها ۸۰، میزان ضریب جاذب همگرایی بین اعضا برابر ۱/۵، دامنه اولیه انتخاب اعضاء (۰/۱، ۲۵)، میزان ضریب همگرایی در جامعه ۲ فرض شده‌اند [۱۹]، [۱۵] و [۱۶]. تیپ کلی مخازن به صورت بهینه‌سازی جداره ساده و به کمک غلاف تقویتی پیرامونی به شرح شکل‌های شماره (۳) و (۴) می‌باشند.



شکل ۴: مقطعی از جداره مخزن با غلاف تقویتی منشوری



شکل ۳: مقطعی از جداره مخزن در بهینه سازی جداره

با توجه به شکل (۳) بررسی از مقطع سه بعدی مخزن می‌باشد که به کمک الگوریتم اجتماع ذرات بهینه‌سازی شده است. همچنین شکل (۴) همان برش می‌باشد که با کمک غلاف‌های تقویتی منشوری مورد طراحی قرار گرفته است. شکل (۴) ساده‌سازی شده این غلاف‌های تقویتی می‌باشد زیرا این مقاطع در طول مخزن دارای شیب طولی و عرضی متفاوت می‌باشند. طبق جدول (۱) پارامترهای مربوطه به الگوریتم اجتماع ذرات که در نرم‌افزار MATLAB نگارش شده معرفی شده‌اند. لازم به ذکر است این متغیرهای معرفی شده طبق جدول

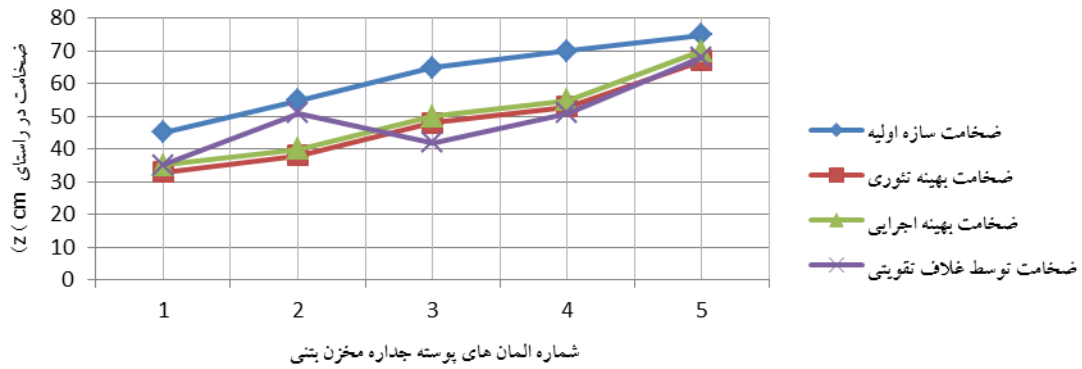
(۱) با توجه به تابع هدف و نوع قيود آن توسط پژوهشگران مسئله انتخاب شده است و در هر مسئله جهت دستیابی به نتایج بهینه آن قابل تغییر می‌باشد.

جدول ۱: تخصیص پارامترهای الگوریتم اجتماع ذرات در کد نرم‌افزار MATLAB نگار شده

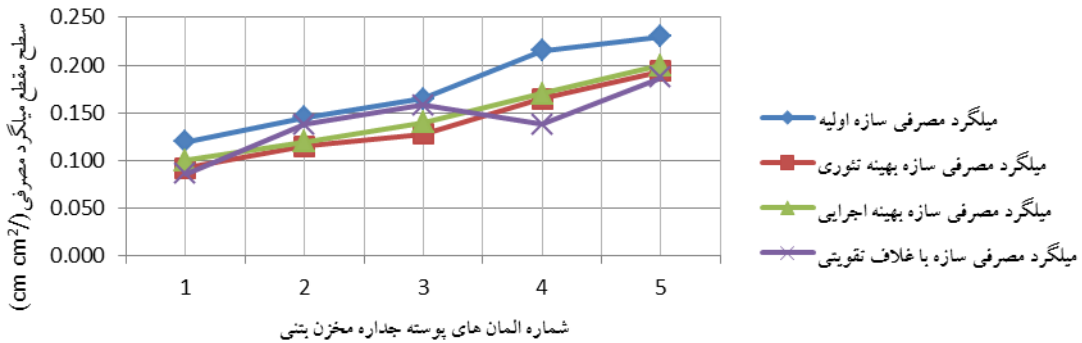
| شماره | نام متغیر | مقدار |
|-------|------------------------------|-------|
| ۱ | Dimension of problem | 10 |
| ۲ | Size of population | 50 |
| ۳ | Cognitive parameter | 2 |
| ۴ | Social parameter | 2 |
| ۵ | Maximum number of iterations | 200 |
| ۶ | Maximum of inertia weight | 0.95 |
| ۷ | Minimum of inertia weight | 0.4 |
| ۸ | Neighborhood radius | 5 |

۲-۵- مقاطع بهینه انتخاب شده

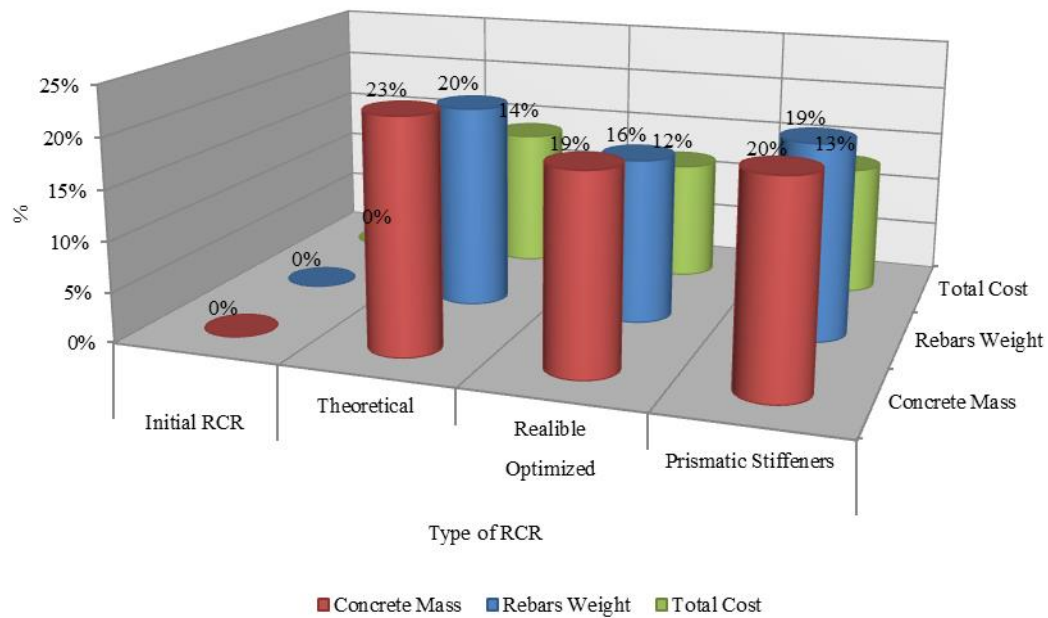
با حل تابع هدف بر اساس قيود مطرح شده می‌توان ضخامت بهینه پوسته مخزن بتنی با استفاده از روش‌های الگوریتم اجتماع ذرات طبق شکل (۵) بر اساس مقایسه ضخامت جداره پوسته بتنی برای چهار حالت که عبارتند از: حالت طراحی متداول، حالت طراحی بهینه سازی شده بر اساس اعداد تنوری، حالت طراحی بهینه سازی بر اساس اعداد اجرایی و حالت طراحی بهینه سازی شده توسط غلاف تقویتی پیرامونی مشاهده نمود. در شکل (۶) میزان میلگرد مصرفی مورد بررسی قرار گرفته است. این بخش در جهت دستیابی به بهترین محدوده بوده که شامل چهار مرحله می‌باشد که عبارتند از: حالت طراحی متداول با حداکثر میزان میلگرد مصرفی، بهینه سازی میزان میلگرد مصرفی بر اساس نتایج تنوری، بهینه سازی میلگرد مصرفی بر اساس اعدادی با امکان اجرایی و بهینه سازی این مشخصه توسط غلاف تقویتی مورد استفاده به نمایش در آمده است. در محاسبه سازه به روش اجرایی، دقت نظر بر اساس حل تنوری بوده ولی اعداد مربوطه با توجه به امکان اجرایی بودن و حداقل نمودن دور ریز مصالح انتخاب شده است. در شکل (۷) میزان نسبت مصالح مصرفی بر اساس درصد هزینه کل فولاد، بتن و کلیه‌های آرم‌ها بر اساس ردیف‌های فهرست بها طبق سه تیپ بهینه سازی مخزن به نمایش در آمده است.



شکل ۵: ضخامت مقاطع جداره پوسته بتنی مخزن



شکل ۶: میزان میلگرد مصرفی در جداره پوسته مخزن بتنی



شکل ۷: میزان درصد کاهش مصالح مصرفی مقابل نوع ساختار بهینه سازی شده مخزن

۳-۵- وزن بهینه و درصد کاهش مصالح مصرفی

عملکرد الگوریتم اجتماع ذرات در بهینه سازی مخزن بتنی ۱۰/۰۰۰ متر مکعبی از لحاظ وزن بهینه سازه، درصد کاهش وزن سازه، درصد کاهش میلگرد مصرفی و حداقل صرفه جویی اقتصادی بر مبنای ریز آیت‌های فهرست بهاء نظام فنی و اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی کشور بر اساس مقایسه سه پارامتر که عبارتند از مخزن بتنی با طراحی متداول، بهینه سازی پوسته مخزن بتنی در دو حالت تئوری و اجرایی و همچنین بهینه سازی پوسته مخزن توسط غلاف تقویتی پیرامونی در جدول (۲) آورده شده است. جهت اجرایی نمودن دست آوردهای این پژوهش مخزن‌هایی در استان قم طبق شکل (۸) مورد طراحی مجدد و بهینه‌سازی قرار گرفته است تا بهینه سازی چند هدفه این پژوهش در بخش مصالح مصرفی و هزینه ساخت به نقطه بهینه و مطلوب این تحقیق نزدیک گردد.



شکل ۸: نمونه مخزن طراحی شده و در حال اجرا در استان قم، ایران (34°31'02.64"N, 50°48'27.80"E)

جدول ۲: مقایسه حجم بتن، وزن کل میلگرد مصرفی و هزینه اجرایی

| ردیف | نوع مخزن بتنی | حجم بتن مصرفی | | میلگرد مصرفی (تن) | | هزینه اجرایی | |
|------|--------------------|---------------|-----------|-------------------|--------|--------------|--------------|
| | | متر مکعب | درصد کاهش | طولی | کل | درصد کاهش | میلیارد ریال |
| ۱ | سازه اولیه | ۶۳۹/۸۴ | %۰ | ۱۰۷/۶۵ | ۲۰۴/۵۴ | %۰ | ۱۳/۰۰ |
| ۲ | سازه بهینه تئوری | ۴۹۳/۳۰ | %۲۳ | ۸۵/۸۰ | ۱۶۳/۰۲ | %۲۰ | ۱۱/۱۴ |
| ۳ | سازه با اجرایی | ۵۱۶/۰۰ | %۱۹ | ۸۹/۹۹ | ۱۷۰/۹۸ | %۱۶ | ۱۱/۴۸ |
| ۴ | ضخامت پوسته تقویتی | ۵۰۹/۸۱ | %۲۰ | ۸۶/۸۹ | ۱۶۴/۸۸ | %۱۹ | ۱۱/۳۱ |

۶- نتیجه گیری

مخازن بتنی مستطیلی نگهدارنده سیالات بر اساس میزان دبی ورودی دارای حجم‌های متفاوتی می‌باشند این در حالی است که شکل کلی سازه ثابت بوده و تحت تاثیر مکانیک خاک منطقه، زمین ساختگاه و بارهای استاتیکی و دینامیکی وارده دارای ویژگی‌های مختص به خود می‌باشند. طبق بررسی صورت گرفته بر اساس مدل سازه‌ای انجام شده و ارتباط با کد الگوریتم اجتماع ذرات در بستر الگوریتم رابط

پارامتریک شناسایی سیستم سازه‌ها می‌توان مخازن بتنی را در هم در بخش ضخامت جداره پیرامونی و هم از طریق استفاده از غلاف تقویتی پیرامونی بهینه سازی نمود. در این تحقیق با بهینه سازی یک مخزن بتنی $10/000$ مترمکعبی توسط غلاف تقویتی پیرامونی و یا فقط بهینه سازی اعضاء سازه با فرضیات مطرح شده و دارای ویژگی‌های متداول در شبکه توزیع سیالات نظیر مازوت و آب در کشور باعث کاهش 20% وزن میلگرد مصرفی، 23% میزان وزن بتنی مصرفی و حداقل صرفه جویی 14% اجرایی بر اساس آیت‌های فهرست بهاء در سازه شده است. نویسندگان این پژوهش بر این اعتقاد می‌باشند که با حل پارامتریک کلیه فرضیات مطرح شده برای کلیه مخازن بتنی دارای احجام متفاوت و در دامنه شرایط طراحی، می‌توان به کمک الگوریتم ذرات کلیه المان‌های پوسته، سقف و فونداسیون مخزن بتنی را بهینه سازی نمود که در مقالات آتی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۷- مراجع

- [1] A.R Lloyd, W.S Doyle (1978), "Computer-aided design of circular liquid retaining structures in accordance with BS5337", Advances in Engineering Software, Vol. 3, No. 1, Jan 1981, pp. 35-41.
- [2] Shahab Dean Mohaghegh (2011), "Reservoir simulation and modeling based on artificial intelligence and data mining (AI&DM)", Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 3, No. 6, pp. 697-705.
- [3] J.Z. Chen, M.R. Kianoush (2009), "Generalized SDOF system for seismic analysis of concrete rectangular liquid storage tanks", Engineering Structures, Vol. 31, No. 10, pp. 2426-2435.
- [4] Armin Ziari, M. Reza Kianoush (2009), "Investigation of flexural cracking and leakage in RC liquid containing structures", Engineering Structures, Vol. 31, No. 5, pp. 1056-1067.
- [5] Sanayei, M., Santini Bell, E., and Rao, N. (2007), "Model Updating of UCF Benchmark Model Using PARIS," International Modal Analysis Conference, IMAC XXV, Orlando, Florida, February 19-22.
- [6] Sanayei, M., Wadia-Fascetti, S., Arya, B.G, and Santini, E.G (2001), "Significance of Modeling Error in Structural Parameter Estimation", Special issue of the International Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering devoted to Health Monitoring of Structures, Vol. 16, pp. 12-27, pp. 12-27.
- [7] Yeh-Lianghsu (1994), "A review of structural shape optimization, Computers in Industry", Vol. 25, No. 1, pp. 3-13.
- [8] R.E. Perez, K. Behdinan (2007), "Particle swarm approach for structural design optimization, Computers & Structures", Vol. 85, Nos. 19-20, pp. 1579-1588.
- [9] K.W. Chau, S.T. Lee (1991), "Computer-aided design package RCTank for the analysis and design of reinforced concrete tanks", Computers & Structures, Vol. 41, No. 4, pp. 789-799.
- [10] V. Thevendran, David P. Thambiratnam (1987), "Optimal shapes of cylindrical concrete water tanks", Computers & Structures, Vol. 26, No. 5, 1987, pp. 805-810.
- [11] E. Hinton, N.V.R. Rao (1993), "Structural shape optimization of shells and folded plates using two-noded finite strips", Computers & Structures, Vol. 46, No. 6, 17, pp. 1055-1071.
- [12] Donald W. White, John F. Abel (1989), "Testing of shell finite element accuracy and robustness, Finite Elements in Analysis and Design", Vol. 6, No.2, pp. 129-151.
- [13] Richard H. MacNeal, Robert L. Harder (1985), "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 1, No. 1, April 1985, pp. 3-20.
- [14] Xiaolin Peng (1998), "Application of generalized function theory on the complete solutions of plates and shells, Applied Mathematical Modelling", Vol. 12, No. 3, pp. 321-327.
- [15] Shyam Sundar, Alok Singh (2012), "A swarm intelligence approach to the early/tardy scheduling problem, Swarm and Evolutionary Computation", Vol. 4, pp. 25-32.
- [16] N.V.R. Rao, E. Hinton (1994), "Analysis and optimization of prismatic plate and shell structures with curved plan form II Shape optimization", Computers & Structures, Vol. 52, No. 2, pp. 341-351.
- [17] Kang Seok Lee, Zong Woo Geem (2004), "A new structural optimization method based on the harmony search algorithm", Computers & Structures, Vol. 82, No. 9-10, April 2004, pp. 781-798.
- [18] A.A. Mousa, M.A. El-Shorbagy, W.F. Abd-El-Wahed (2012), "Local search based hybrid particle swarm optimization algorithm for multiobjective optimization, Swarm and Evolutionary Computation", Vol. 3, pp. 1-14.
- [19] R.H. MacNeal, R.L. Harder, A proposed standard set of problems to test finite element accuracy, Finite Elem. Anal. Des. 1 (1985) 3-20.
- [20] Timoshenko, S., S. Woinowsky-Krieger, and S. Woinowsky-. Krieger. Theory of Plates and Shells. Second. New York, N.Y.: McGraw-Hill, 1959. Print.

- [21] Saeed Kia, Mohammad Reza Ghasemi (2012), "Durability-Based Optimization of Reinforced Concrete Reservoirs Using Artificial Bee Colony Algorithm." Global Journal of Researches in Engineering, 12.3-E.
- [22] Saeed Kia, Mohammad Reza Ghasemi (2012), "Modeling and shape optimization of reinforced concrete reservoirs using Particle Swarm Algorithm." International Journal of Civil & Structural Engineering, Vol. 2 Issue 4, p1107.
- [23] Computers and Structures Inc., Sap2000 - Integrated Structural Analysis and Design Software Analysis User's Manual, Version 17, 2014.
- [24] Computers and Structures Inc., Sap2000 - Integrated Structural Analysis and Design Software, Volume VII: Shells, Version 17, 2014.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت