

طرح بهینه مقطع اسکله‌های وزنی بلوکی با استفاده از

روش برنامه‌ریزی درجه دو متوالی

مهدی شفیع‌فر، استادیار، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
علیرضا میرجلیلی، کارشناس ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: hafiee@modars.ac.ir

چکیده

در این مقاله، ابتدا روش طراحی و اجرای اسکله‌های ساحلی بلوکی تشریح می‌شود و پس از ارزیابی معیارها و راهکارهای ممکن جهت نیل به طرح بهینه این اسکله‌ها، تابع هدف، قیود و متغیرهای طراحی مناسب برای تشکیل یک مسئله بهینه سازی انتخاب و در ادامه به حل آن پرداخته می‌شود. قیود این مسئله بهینه سازی، تأمین ضرایب ایمنی پایدار مقطع در شکلهای مختلف گسیختگی است که رابطه آن با متغیرهای طراحی نامشخص است. در این تحقیق، یک روش مناسب برای فرمول بندی رفتار این سازه (قیود مسئله) بر حسب شکل سازه (متغیرهای طراحی) انتخاب شده است. در ادامه با تشکیل یک مسئله بهینه‌سازی ریاضی، به بهینه سازی طرح این اسکله با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی درجه دو متوالی پرداخته شده است. نتایج نشانگر آن هستند که شکل مقطع اسکله‌های وزنی بلوکی نقش بسزایی در پایداری آنها و کاهش هزینه‌ها دارد که در پایان، نتایج این تحقیق و راهکارهایی برای طراحی بهینه این اسکله ارائه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: اسکله وزنی بلوکی، بهینه سازی، تابع تقریب، برنامه ریزی درجه دو متوالی

۱. مقدمه

درجا، بلوکهای بتنی پیش‌ساخته (به شکل سلولی، مستطیلی، L شکل و I شکل) اجرا می‌شوند. در این مقاله، راهکارهایی را برای بهینه‌سازی طرح "اسکله‌های وزنی بلوکی" ^۱ ارائه می‌شوند. در این تحقیق، بلوکها مستطیل شکل، غیرمسلح و توپر در نظر گرفته شده اند. تاکنون برای بهینه سازی طراحی موج شکن‌های توده سنگی [2,3]، اسکله‌های کیسونی [4,5] و اسکله‌های شمع و عرشه [6] تحقیقاتی صورت گرفته اند، اما برای بهینه‌سازی طراحی اسکله‌های بلوکی مطالعه‌ای انجام نشده است که با توجه به نیاز کارفرمایان و مشاوران، اهمیت و ضرورت انجام تحقیق حاضر، مشخص می‌شود. در سالهای گذشته، استفاده از

اسکله‌ها سازه‌هایی هستند که برای ارتباط خشکی و دریا، پهلوگیری و مهاربندی کشتی‌ها و همچنین برای تخلیه و بارگیری کالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم های سازه‌ای اسکله‌های متفاوت به صورت های مختلف شمع و عرشه، وزنی، سپری و شناور طبقه بندی می‌شوند. اگر بستر دریا دارای شرایط ژئوتکنیکی خوبی (مانند سنگ، ماسه متراکم یا رس سخت) باشد، می‌توان از سازه‌های وزنی استفاده کرد. اگر ضخامت لایه نامناسب سطحی کم باشد می‌توان این لایه را برداشت و با جایگزین کردن مصالح دانه‌ای مناسب، شرایط ژئوتکنیکی بستر را بهبود بخشید [۱]. اسکله‌های وزنی به شکلهای مختلف کیسونی، بتن

این نوع اسکله نسبت به اسکله‌های متداول دیگر (شمع و عرشه، کیسونی و شیت پایلی) دارای مزایای ویژه‌ای از جمله فنآوری ساده و سرعت نسبتاً زیاد اجرا، دوام مناسب در برابر عوامل خوردنده در محیط‌های دریایی، هزینه تعمیر و نگهداری کمتر و در عین حال طول عمر مفید بیشتر، ارزیابی کم و هزینه مطلوب (با در نظر گرفتن هزینه بتن نسبت به فولاد) است.

چیدمان این بلوکها معمولاً با آرایش درهم جفت‌شونده به صورت آجرچینی برای بسترهای با وضعیت ژئوتکنیکی بسیار خوب (سنگ یا رسوبات سیمانته) و یا آرایش ستونی با بلوکهای به صورت قائم مجزا برای بسترهای ضعیف‌تر است. برای مناطقی که احتمال وقوع نشست‌های درازمدت وجود دارد، آرایش ستونی توصیه می‌شود، زیرا بلوکها به صورت ستون‌های قائم و مجزا از یکدیگر، امکان وقوع مقادیر قابل توجهی نشست نسبی بین ستونها را فراهم می‌آورند [1].

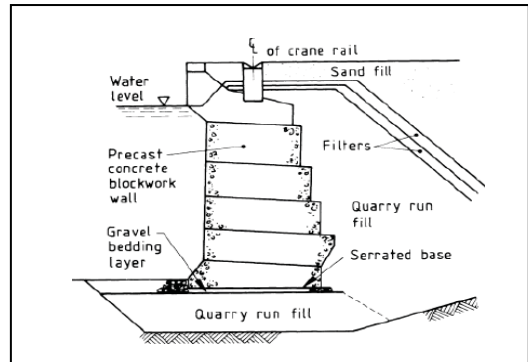
۲. روش طراحی اسکله های وزنی بلوکی

مقطع این اسکله باید علاوه بر حالت بهره‌برداری، حین وقوع زلزله و همچنین در طول ساخت (در کلیه مراحل خاکریزی پشت اسکله) نیز کنترل شود.

تغییر شکل های بیش از حد این سازه در اثر زلزله می‌تواند به طور عمده از پایداری و قابلیت بهره‌برداری آن بکاهد، بنابراین طراحی لرزه‌ای این سازه با روش طراحی بر اساس عملکرد، در دو سطح زلزله توصیه شده است. طراحی اولیه این اسکله به روش حالت حدی و با بررسی پایداری اسکله در سطح اول زلزله، به صورت کنترل لغزش، واژگونی و خروج از مرکزیت در کلیه درزهای افقی بین بلوکها و در سطح شالوده و همچنین ظرفیت باربری بستر و گسیختگی کلی سازه صورت می‌گیرد. سپس با مدل عددی یا فیزیکی، معیارهای قابل بهره‌برداری از اسکله در سطح دوم زلزله که شامل نشست، دوران و تغییر مکان افقی اسکله است، نیز کنترل می‌شود [۷ و ۸].

در فرآیند طراحی، متغیرهای مختلفی نقش دارند و معمولاً به علت پیچیدگی های خاص و زمان بر بودن محاسبات، چند گزینه محتمل کنترل و ارزیابی و طرح قابل قبول انتخاب می‌شوند. اما طرح حاصل از این فرآیند ممکن است بهینه و مناسب نباشد، وانگهی زمان زیادی برای طراحی فوق صرف می‌شود. این مشکل، لزوم و اهمیت تعیین معیارهایی برای ارزیابی

اسکله های بلوکی ساده مرسوم بوده است. این نوع اسکله ها در شرایطی که محدودیت تجهیزات سنگین و ویژه وجود داشته باشد یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش هزینه های بسیار زیاد اسکله ها هستند. با این حال بررسی سوابق نشان می دهد که تحقیق در زمینه طراحی و بهینه سازی اسکله های بلوکی بسیار محدود است. در سال ۱۳۸۰ برای ساخت ۲۱۰۰ مترطول اسکله های ساحلی بندر پتروشیمی پارس، گزینه بلوکی مطرح شد که با توجه به شرایط ژئوتکنیکی مناسب منطقه و تجهیزات پیمانکاران داخلی، این گزینه به عنوان اقتصادی ترین طرح انتخاب شد. پس از شروع ساخت این اسکله، انجام تحقیقات در این زمینه مورد توجه قرار گرفت که می توان به کار حسنلوراد و صالح زاده (۱۳۸۴) در بررسی دینامیکی اسکله های بلوکی [۷] و تحقیق علی عسگری و شاکری (۱۳۸۵) در بررسی شکل بلوکها در کاهش فشار خاک وارده بر اسکله [۸] اشاره کرد. در چند سال آینده اجرای اسکله های بلوکی برای ساخت چند بندر مهم دیگر در کشور مورد توجه قرار خواهد گرفت که مهم ترین دلایل آن عبارتند از: کسب دانش فنی و تجهیزات مناسب در تجربه اخیر، خودکفایی در ساخت و همچنین هزینه اجرای نسبتاً کم این گزینه نسبت به گزینه های احتمالی دیگر. اسکله بلوکی از دیرباز به عنوان یک روش متداول جهت ساخت پهلوگیرها و دیوارهای ساحلی مطرح بوده است. برای اجرای آن، بلوکها بر روی هم و بر روی بستر آماده سازی شده قرار می گیرند. معمولاً قسمت فوقانی این سازه به صورت تیر بتنی درجا اجرا می شود تا هرگونه رواداری حین اجرا و همچنین نشست های نسبی اولیه را پوشش دهد و بارهای وارد بر عرشه را به طور یکنواخت بین بلوکهای زیرین توزیع کند. برای آشنایی با نمای کلی اسکله های بلوکی، در شکل ۱ مقطع عرضی یک اسکله بلوکی نشان داده شده است.



شکل ۱. مقطع عرضی یک اسکله وزنی بلوکی [۱]

۲-۱-۴ فشار آب باقیمانده

این فشار ناشی از اختلاف تراز سطح آب در دو طرف اسکله است که مقدار آن به جنس مصالح پشت‌ریز و میزان زهکشی آن بستگی دارد و با تأخیر زمانی نسبت به زمان جزر و مد به وجود می‌آید. معمولاً اختلاف سطح آب حدود نصف دامنه جزر و مدی انتخاب می‌شود.

۲-۱-۵ نیروی دینامیکی آب در هنگام وقوع زلزله

در هنگام وقوع زلزله، آب آزاد در جلوی اسکله یک نیروی اضافی به اسکله اعمال می‌کند که در حالت بحرانی، این نیرو به صورت فشار مکشی بر جداره اسکله وارد می‌شود. فشار هیدرودینامیک آب را می‌توان با رابطه وسترگارد (۱۹۴۰) در ارتفاع اسکله توزیع کرد [9]:

$$P_{dw} = \frac{7}{8} \int_0^H K_h \gamma_w \sqrt{H_w \cdot y} \cdot dy \quad (1)$$

در این رابطه، H_w عمق آب‌خور اسکله، y ارتفاع تراز مورد نظر از سطح آب، K_h ضریب افقی زلزله و γ_w وزن مخصوص آب است.

۲-۱-۶ نیروی پهلوگیری و مهار بندی کشتی

نیروی پهلوگیری کشتی، بسته به سرعت و زاویه نزدیک شدن کشتی، تناژ کشتی و براساس انرژی عملی از طرف قطعات ضربه‌گیر فنדר تعیین می‌شود. این نیرو با توجه به وزن تیر بتن در جای پیشانی و فشار مقاوم خاک پشت آن، بحرانی نیست و می‌توان از اثر آن در تحلیل پایداری کلی اسکله چشم‌پوشی کرد، اما تأثیر نیروی ضربه شناور برای طراحی جزئیات تیر پیشانی و فنדר مورد استفاده قرار می‌گیرد. نیروی مهاربندی کشتی به طور موضعی بر مهاربندها وارد می‌شود و از طریق تیر پیشانی موجود در تراز فوقانی عرشه، در طول اسکله پخش می‌شود. مقدار این نیرو ناچیز است و اثر آن فقط در طراحی جزئیات و پایداری تیر پیشانی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱-۷ نیروهای جانبی تجهیزات

علاوه بر نیروهای اشاره شده، نیروی افقی ناشی از تجهیزات مستقر بر روی اسکله مانند جرثقیل‌های متحرک و تجهیزات بارگیری و باراندازی نیز در پایداری اسکله تأثیرگذارند و در صورت وجود باید مدنظر قرار گیرند.

بهترین طرح از میان طرحهای قابل قبول و همچنین ارایه روشی جهت نیل به یک طرح بهینه را مشخص می‌سازد.

۲-۱ بارهای وارده بر اسکله بلوکی

۲-۱-۱ وزن مرده خود اسکله و خاک همراه آن

بسته به شکل مقطع، قسمتی از خاک پشت بلوکها نیز به همراه وزن مرده خود بلوکها در پایداری سازه موثر است. در روشی ساده، در کنترل لغزش و واژگونی هر بلوک، وزن خاک در محدوده خط فرضی عبوری از انتهای عقبی بلوک موردنظر با بلوکهای فوقانی، به وزن مرده اسکله اضافه می‌شود، منتهی در کنترل واژگونی، اگر بلوک دوتکه باشد، بایستی از وزن بلوک عقبی و خاک همراه آن چشم‌پوشی شود [9].

۲-۱-۲ نیروی زلزله وارد بر بلوکها و خاک همراه آن

همان گونه که پیش تر اشاره شد، برای طراحی لرزه‌ای این اسکله، عملکرد سازه در دو سطح زلزله بررسی می‌شود. سطح یک مربوط به زلزله با شدت کمتر و احتمال وقوع بیشتر در مدت عمر مفید سازه است، ولی در سطح دو، زلزله با شدت بیشتر و احتمال وقوع کمتر در طول عمر مفید سازه منظور می‌شود.

عمر مفید اسکله‌های ساحلی معمولاً ۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود، بنابراین دوره بازگشت مبنا برای تعیین زلزله طرح در سطح یک و دو به ترتیب ۷۵ و ۴۷۵ سال در نظر می‌شود [10]. برآورد نیروی زلزله وارد بر اسکله‌های وزنی بنابر توصیه آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن به روش شبه استاتیکی با اعمال ضریب زلزله بر وزن غیرمستغرق بلوک و خاک همراه آن در نظر گرفته می‌شود [9].

۲-۱-۳ فشار جانبی خاک

برای تعیین فشار خاک وارده بر پشت اسکله، با استفاده از روابط مونیونوبه-اوکابه می‌توان فشار خاک را در دو حالت بهره‌برداری و زلزله محاسبه کرد.

این روابط اندرکنش بین خاک و آب را در نظر گرفته و فشار خاک اشباع در حین زلزله را تصحیح می‌کنند. با استفاده از این روابط می‌توان با مطالعه پارامتریک، اثرات شیب منفی پشت یک دیوار شیبدار و همچنین زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت‌ریز را بررسی کرد [9,10].

۲-۲ کنترل پایداری مقطع

روند طراحی مقطع عرضی یک اسکله بلوکی به شرح ذیل است: در ابتدا یک مقطع اولیه در نظر گرفته می‌شود و معیارهای پایداری آن در طول بهره‌برداری و زلزله سطح یک، شامل ضرایب اطمینان‌های لازم در برابر لغزش، واژگونی و مقدار خروج از مرکزیت در کلیه درزهای افقی بین بلوکها و سطح شالوده، ظرفیت باربری بستر و پایداری کلی آن بررسی و به صورت سعی و خطا این مقطع اولیه اصلاح می‌شود تا مقطع قابل قبولی به دست آید. سپس مقادیر نشست، دوران و تغییر مکان مقطع نهایی شده در زلزله سطح دو ارزیابی می‌شود و در صورت لزوم، مقطع اصلاح می‌شود. برای اطمینان از پایداری مقطع در هنگام ساخت، مراحل مختلف نصب بلوکها و خاکریزی پشت آنها تعیین و کنترل می‌شود. بنابراین روند طراحی را می‌توان در سه مرحله بیان کرد:

۱- تعیین یک مقطع ایمن با روش کنترل حالت حدی؛

۲- کنترل مقطع در زلزله سطح دو با روشهای عددی؛

۳- طراحی جزییات و تعیین مراحل خاکریزی.

در این تحقیق، بهینه‌سازی طرح این اسکله در مرحله نخست طراحی مدنظر است. برای کنترل حالت حدی شکلهای محتمل خرابی، معمولاً روش پیشنهادی آیین نامه کارهای دریایی ژاپن بکار گرفته می‌شود. در این روش، نیروهای مؤثر در هر مود خرابی و ضریب اطمینان مجاز آن به شرح زیرند:

۱- نیروهای مؤثر در کنترل لغزش، مؤلفه‌های افقی و قائم فشار خاک، وزن بلوک های بتنی و خاک واقع در محدوده آن، نیروی زلزله وارد بر بلوکها و خاک همراه آن و همچنین نیروی هیدرودینامیکی آب در هنگام وقوع زلزله.

۲- برای کنترل واژگونی، نیروی مقاوم شامل وزن بلوکها با وزن خاک داخل محدوده آنها، بدون سربار و با در نظر گرفتن اثر غوطه‌وری است. نیروی محرک، برآیند نیروهای افقی مؤثر بر دیوار با در نظر گرفتن سربار و فشار آب باقیمانده است.

۳- نیروهای وارد بر مصالح زیر بلوک تحتانی، دارای خروج از مرکزیت و مؤلفه افقی هستند که تأثیر بسزایی در کاهش ظرفیت باربری بستر دارند. ظرفیت باربری بستر را می‌توان با روش کنترل دایره‌های لغزش یا یکی از روشهای متداول تعیین ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی بررسی کرد.

۴- پایداری کلی اسکله را می‌توان با کنترل سطوح گسیختگی دایروی به روش بیشاپ اصلاح شده با استفاده از نرم افزارهای رایج STABLE و GEO-SLOPE کنترل کرد.

برای طراحی اسکله‌های بلوکی، در آیین نامه‌های (OCDI(2002)، EAU(1996) و BS6349(1988) توصیه‌ها و ضرایب اطمینان لازم پیشنهاد شده‌اند. در کشور ژاپن پس از زلزله Kobe(1994) بر اساس مشاهده وضعیت خرابی اسکله‌های ساحلی بندر کوبه تحقیقات و مطالعات گسترده‌ای برای طراحی اسکله‌ها در برابر زلزله صورت گرفت که نتایج آن در آیین نامه کارهای دریایی ژاپن آورده شده است. از آنجا که اکثر بنادر ایران در مناطق زلزله خیز جنوب کشور واقع شده‌اند، استفاده از آیین نامه کارهای دریایی ژاپن برای طراحی اسکله‌های ساحلی مناسب است.

بنابراین در جدول (۱)، ضرایب ایمنی توصیه شده برای پایداری اسکله‌های بلوکی بر اساس این آیین نامه ارائه شده است. علاوه بر این معیارها، در آیین نامه EAU [12]. پیشنهاد شده است که برای پیشگیری از کشش در فصل مشترک بین بلوکها، خروج از مرکزیت بارها در تراز افقی بین بلوکها به یک سوم طول بلوک محدود شود در حالی که به این نکته در آیین نامه OCDI(2002) اشاره ای نشده است. در ادامه، در قسمت (۵-۸)، به بررسی اثرات کنترل این معیار پرداخته می‌شود.

جدول ۱. کمینه ضریب اطمینان لازم برای پایداری مقطع اسکله [۷]

زلزله	بهره- برداری	شکل گسیختگی
۱/۰	۱/۲	لغزش برای کلیه بلوکها
۱/۸	۱/۲	واژگونی هر بلوک
۱/۰	۱/۲	ظرفیت باربری بستر به روش کنترل دایره لغزش
۲/۰	۳/۰	ظرفیت باربری بستر به روش Vesic
۱/۰	۱/۳	گسیختگی کلی

در این تحقیق، طراحی این اسکله با تهیه برنامه‌ای مکانیزه شد، به گونه‌ای که برنامه تهیه شده با دریافت مشخصات منطقه و مقطع پیشنهادی، شکل مقطع را ترسیم کرده و ضرایب ایمنی مقطع را (به جز کنترل دایره‌های لغزش که جداگانه با نرم افزارهای اشاره شده کنترل می‌شود) محاسبه و نسبت این ضرایب را به ضرایب ایمنی مجاز جدول (۱) ارائه می‌کند.

حداکثر این شیب منفی به زاویه اصطکاک داخلی صالح پشت‌ریز محدود می‌شود تا در پشت اسکله فضای خالی ایجاد نشود. مقطعی که پشت بلوکها به صورت شیبدار در نظر گرفته می‌شود، اصطلاحاً مقطع "گوژپشتی" نامیده می‌شود. با توجه به کارایی مقطع گوژپشتی در کاهش فشار خاک و کاهش خطر واژگونی بلوکها، این مقطع به عنوان مقطع مناسب، به ویژه برای مناطق زلزله‌خیز توصیه می‌شود [12]. بنابراین در تحقیق حاضر، ارزیابی و بهینه سازی یک مقطع گوژپشتی مد نظر بوده است



شکل ۲. تصویری از بلوکهای شیبدار در کارگاه ساخت قطعات پیش ساخته

برای بهینه سازی مقطع اسکله از لحاظ تعداد تیپ بلوکها، در مقطع پایین اسکله که از شیب منفی استفاده شده است، تا حد امکان به شکل تقریبی متوازی الاضلاع انتخاب می‌شود تا نوع تیپ بلوکها کاهش یابد. به عبارت دیگر مقدار پیش‌آمدگی چند بلوک تحتانی به اندازه مقدار حاصلضرب شیب انتهایی بلوک در ارتفاع آن در نظر گرفته می‌شود تا این چند بلوک هم‌تیپ شوند. در این تحقیق، تعداد بلوکهای شیبدار و مقدار شیب آنها مورد بررسی قرار گرفت و ملاحظه شد که این دو پارامتر نقش بسزایی در پایداری اسکله دارند. با شیبدار کردن درز بین بلوکها و سطح شالوده، تعبیه کلید برشی به صورت دنداندار یا زبر کردن سطح تماس دو بلوک، می‌توان ضریب اطمینان لغزش افقی را به طور چشمگیری بهبود بخشید. افزایش عمق فرورفت بلوک تحتانی درون بستر، فاکتور سربار در رابطه کلی ترزاقی را افزایش داده و وضعیت باربری بستر را بهبود می‌بخشد. از مقاومت خاک موجود در جلوی این بلوک نیز به شرطی که در طول زمان جابه جا نشود، می‌توان به عنوان نیروی مقاوم در برابر لغزش

۳. بهینه سازی طرح اسکله های بلوکی

ارایه طرح بهینه در دو بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش اول، راهکارهای بهینه سازی طرح اسکله تشریح می‌شود و شکل مناسب برای اسکله های بلوکی، به ویژه برای مناطق زلزله خیز پیشنهاد می‌شود. در بخش بعدی بهینه سازی ریاضی شکل انتخابی مورد توجه قرار می‌گیرد که به این منظور تابع هدف، قیود و متغیرهای طراحی مناسب انتخاب شده و با روشهای ریاضی به حل آن پرداخته می‌شود.

۳-۱ راهکارهای بهینه سازی طرح اسکله‌های بلوکی

برای خاکریزی پشت اسکله، باید از خاکهای دانه ای یا سنگریزه‌ای استفاده شود تا علاوه بر کاهش فشار خاک وارد بر اسکله، فشار آب باقیمانده نیز به علت زهکشی مناسب کاهش یابد. افزایش زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت‌ریز، هزینه تهیه مصالح فوق را افزایش می‌دهد، ولی در مقابل، با کاهش فشار جانبی خاک، پایداری مقطع را بهبود می‌بخشد.

به طور مثال، در یک مطالعه پارامتریک ملاحظه شد که با افزایش زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت‌ریز از ۳۵ درجه به ۴۰ درجه، فشار خاک وارد بر اسکله حدود ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. می‌توان پشت اسکله را به صورت شیبدار طراحی و اجرا کرد. شکل ۲ تصویری از بلوکهای شیبدار در کارگاه ساخت قطعات پیش ساخته پروژه بندر پتروشیمی پارس (واقع در منطقه عسلویه بوشهر) را نشان می‌دهد. استفاده از شیب منفی در پشت اسکله، فشار جانبی خاک را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

در واقع با استفاده از شیب معکوس، به جای تکیه خاک بر بلوکها، بلوکها بر خاک تکیه می‌کنند. به طور مثال در یک مطالعه موردی، نتایج تحلیل حساسیت مقدار شیب معکوس پشت اسکله نشان داد که با در نظر گرفتن شیب‌های ۰/۴: ۱ و ۰/۷: ۱ فشار جانبی خاک به ترتیب و به طور متوسط ۴۴ و ۵۶ درصد نسبت به حالتی که بلوکها بدون شیب هستند، کاهش می‌یابد. افزایش این شیب، فشار جانبی خاک را کاهش می‌دهد، ولی در مقابل، افزایش طول بلوکهای شیبدار فوقانی را به همراه دارد.

برای حل مشکل طول بلوکها، می‌توان در سطح جلویی اسکله تورفتگی ایجاد کرد که در مجموع این کار منجر به کاهش حجم بتن مصرفی و افزایش لنگر مقاوم ناشی از وزن بلوکها می‌شود که در نهایت با بهبود ضرایب اطمینان واژگونی، خروج از مرکزیت و باربری بستر (به ویژه در هنگام وقوع زلزله) همراه است.

۳-۲-۱ تابع هدف و متغیرهای طراحی

برای بهینه‌سازی کامل یک اسکله بلوکی، لازم است هزینه‌های محتمل در اثر خرابی‌های احتمالی در طول عمر مفید سازه (شامل خسارت وارده بر سازه به علاوه خسارت توقف در عملیات بارگیری و تخلیه کالا) به همراه هزینه ساخت اولیه اسکله مورد بررسی قرار گیرد. در ادامه، به بررسی هزینه ساخت اولیه این اسکله پرداخته می‌شود.

مراحل ساخت این اسکله عبارتند از: ساخت بلوکها در کارگاه، ساخت قطعات پیش ساخته، حمل بلوکها از محل ساخت تا کنار ساحل، بارگیری و حمل دریایی بلوکها تا محل ساخت اسکله و استقرار دریایی بلوکها. در طراحی بهینه مقطع اسکله، فاکتورهای مهم اجرایی ذیل را باید در نظر داشت:

۱- هر چه مساحت مقطع عرضی اسکله کمتر باشد، حجم بتن مصرفی و همچنین هزینه‌های مرتبط با حمل و نصب بلوکها کاهش می‌یابد.

۲- با کاهش وزن بزرگ ترین بلوک، تناژ جرثقیل و بارج مورد استفاده کاهش می‌یابد.

۳- با کاهش تعداد و تنوع تیپ بلوکها، تعداد دفعات رفت و برگشت بارج و زمان نصب بلوکها کاهش می‌یابد.

هزینه کل اجرای این اسکله را می‌توان به صورت رابطه $F(x)=V(x)+C.U(x)$ بیان کرد که در این رابطه، $V(x)$ حجم بتن مصرفی واحد طول اسکله، $U(x)$ تعداد بلوکها در مقطع و C ضریبی است که هزینه حمل و نصب هر بلوک را نسبت به هزینه بتن‌ریزی نشان می‌دهد و x بردار متغیرهای طراحی است. هزینه حمل و نصب هر بلوک تا حد زیادی تابع وزن بلوک است. با کاهش $V(x)$ ، حجم بتن مصرفی، می‌توان کاهش ابعاد و وزن بلوک و در نتیجه کاهش هزینه حمل و نصب را انتظار داشت.

در تحقیق حاضر برای کاهش هزینه‌های اجرا، مساحت مقطع عرضی اسکله (حجم بتن مصرفی در واحد طول اسکله: $V(x)$) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است تا بررسی مسأله با دقت و سهولت مناسب انجام گیرد.

در این تحقیق، جهت ساده‌سازی و کاهش متغیرهای طراحی، فرضیاتی در هندسه مقطع در نظر گرفته شده و چهار متغیر مطابق شکل ۳ به عنوان متغیرهای طراحی انتخاب شده اند و مابقی متغیرها به طور مناسبی به این متغیرها وابسته شده‌اند.

بهره گرفت. استقرار بلوک تحتانی بر روی بستر علاوه بر کاهش ظرفیت باربری بستر، باعث آبهستگی در پای اسکله نیز می‌شود که در طول زمان، حفره‌هایی را در پای دیوار ایجاد می‌کند و منجر به کج شدن و واژگونی دیوار می‌شود.

بنابراین فرورفت بلوک تحتانی در بستر با ایجاد ترانشه‌ای در بستر توصیه می‌شود. برای کاهش خروج از مرکزیت و توزیع یکنواخت فشار در کف شالوده، می‌توان بلوک تحتانی را در حالت بهره- برداری به سمت خشکی و در حالت زلزله به سمت دریا تا حد لازم گسترش داد. برای تأمین پایداری مقطع در برابر گسیختگی کلی، می‌توان طول بلوک تحتانی را به سمت ساحل گسترش داد. همچنین با گسترش عمق نفوذ بلوک تحتانی (با افزایش ضخامت قسمت عقب این بلوک یا با تعبیه زبانه‌هایی در زیر بلوک تحتانی) و یا با استفاده از لایه ژئوتکتایل در پشت اسکله می‌توان گوه- های گسیختگی را از اسکله دور کرد و پایداری کلی اسکله را بهبود بخشید.

اگرچه ساده‌ترین راه حل، افزایش طول بلوک تحتانی به سمت خشکی است، اما باید توجه کرد که با افزایش وزن این بلوک، حمل و نصب آن مشکل می‌شود، بنابراین استفاده از ابتکار و بکار بستن ایده‌های جدید در شکل این بلوک ضروری است. این بلوک می‌تواند دو تکه باشد، اما بایستی درز بین دو تکه آن، زیر بلوک رویی قرار گیرد و یا بین دو تکه از قفل و بست مناسب استفاده شود تا دایره لغزش از آن درز عبور نکند.

در این حالت تکه سمت ساحل بلوک تحتانی فقط نقش دور کردن گوه‌های لغزش را بر عهده دارد و از توان باربری و مقاومت در برابر لغزش آن در محاسبات استفاده نمی‌شود. بهبود وضعیت پایداری کلی این اسکله با راهکارهای ذکر شده بررسی شد که به علت گستردگی مطالب، در این مقاله به آن پرداخته نمی‌شود.

۳-۲-۲ بهینه سازی ریاضی شکل گوزپشتی اسکله های

بلوکی

برای بهینه سازی ریاضی لازم است ابتدا متغیرهای طراحی مناسب انتخاب و سپس تابع هدف و قیود طراحی بر حسب متغیرهای طراحی بیان شود و در نهایت با روشهای ریاضی مناسب به حل این مسأله پرداخته شود. در ادامه روند حل مسأله بهینه سازی ریاضی شکل گوزپشتی اسکله های بلوکی به ترتیب روال یاد شده تشریح می‌شود.

این چهار متغیر عبارتند از:
طول پایین مقطع (X_1)، تعداد بلوکهای شیبدار (X_2)، طول بلوک فوقانی (X_3) و شیب بلوکهای پایین مقطع (X_4). بنابراین تابع هدف برابر است با:

$$V(X) = (2X_1 - X_2 \cdot X_4) \cdot X_2 / 2 + (X_3 - X_1 - X_2 \cdot X_4)(H - X_2) - b \cdot X_4 \cdot (n - 2 - b) \cdot h^2$$

در این رابطه، H ارتفاع کل اسکله، h ارتفاع بلوکها، n تعداد ردیف بلوکها در مقطع و b تعداد بلوکهای هم تیب در پایین مقطع است

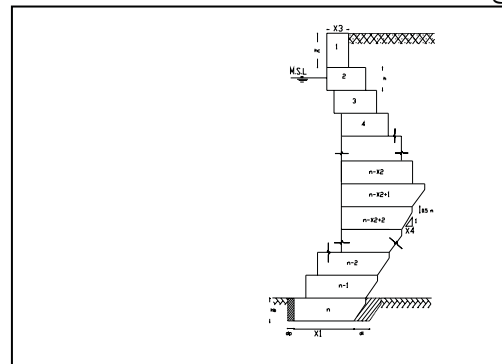
$$g(x) = g(x^o) + \nabla g^T(x) \cdot \nabla x + 0.5 \nabla x^T \cdot H_g \cdot \nabla x$$

$$\nabla g^T(x) = \left\langle \frac{\partial g}{\partial x_1} \quad \frac{\partial g}{\partial x_2} \quad \frac{\partial g}{\partial x_3} \right\rangle$$

$$\frac{\partial g}{\partial x_1} = \frac{g(x_1^o + \Delta x_1) - g(x_1^o - \Delta x_1)}{2\Delta x_1}$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial^2 x_1} = \left(\frac{g(x_1^o + \Delta x_1) - g(x_1^o)}{\Delta x_1} - \frac{g(x_1^o) - g(x_1^o - \Delta x_1)}{\Delta x_1} \right) / (2\Delta x_1)$$

$$H_g = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 g}{\partial^2 x_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial^2 g}{\partial^2 x_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial^2 g}{\partial^2 x_3} \end{bmatrix}$$



شکل ۳. متغیرهای طراحی و شکل کلی مقطع گوزبستی مورد مطالعه

برای تقریب فوق، علاوه بر نقطه شروع به دو نقطه کمکی دیگر نیاز است. به هر متغیر طراحی با ثابت نگه داشتن متغیرهای دیگر، یکبار افزایش و یکبار کاهش نسبتاً کمی داده شده، هر بار سازه تحلیل می‌شود تا مشتق جزئی شاخص‌های ایمنی سازه برحسب تغییر هر متغیر طراحی به طور دقیق به دست آید. همان طور که در روابط فوق دیده می‌شود، مشتقات جزئی مرتبه اول از روش تفاضل محدود مرکزی به دست می‌آید و برای مشتقات مرتبه دوم، دایره‌های روی قطر اصلی ماتریس هسیان در نظر گرفته شد. برای تقریب قیود، برنامه‌ای تهیه شده تا با دریافت نقطه شروع و دو نقطه کمکی، کاربر قادر باشد قیودهای مختلف پایداری سازه را برحسب متغیرهای طراحی مطابق رابطه (۲) فرمول‌بندی کند.

مثلاً در یک مطالعه موردی، قید محدودیت خروج از مرکزیت بارهای وارده بر بلوک هفتم در حالت بهره‌برداری که باید در محدوده یک سوم عرض میانی فصل مشترک دو بلوک قرار گیرد، به صورت تابع ذیل فرمول‌بندی و بیان شد:

۳-۲-۲ قیود مسأله

قیود مسأله، معیارهای ارزیابی پایداری سازه است که شامل نسبت ضرایب اطمینان لغزش، واژگونی و میزان خروج از مرکزیت هر بلوک نسبت به مقادیر مجاز آن در حالت بهره‌برداری و در هنگام وقوع زلزله است. این قیود رابطه‌ای پیچیده و نامشخص با متغیرهای طراحی دارند. برای تشکیل یک مسأله بهینه‌سازی، باید رابطه بین قیود مسأله و متغیرهای طراحی مشخص باشد.

برای حل این مشکل، از روش تقریب‌سازی قیود استفاده شد. با تغییر متغیرهای طراحی و استفاده از مشتقات جزئی ضرایب ایمنی مقطع نسبت به تغییر هر متغیر، رابطه بین آنها و متغیرهای طراحی تقریب زده و فرمول‌بندی شد.

برای مسأله مورد نظر، روابط مختلف تقریب زدن بررسی و ملاحظه شد که بسیاری از توابع تقریب مانند تقریب با جملات اول سری تیلور، خطی وارون و وارون محافظه کار [13] انطباق مناسبی با رفتار واقعی سازه برقرار نمی‌کنند، به گونه‌ای که در مسأله بهینه‌سازی تشکیل شده، برخی از قیدهایی که با این روابط

(۴)

برای حل این مسأله و نیل به سوی نقطه بهینه باید از یک نقطه شروع طوری حرکت شود که هیچ قیدی نقض نشود و همچنین تابع هدف نیز کاهش یابد. برای یافتن جهت و مقدار حرکت در هر مرحله، می‌توان از زیرمسأله QP ذیل استفاده کرد. یک زیر مسأله QP دارای تابع هدف درجه دو و قیود خطی است.

(۶)

$$QS = f(X^{(k)} + \nabla f^T(X^{(k)})S + \frac{1}{2}S^T(X^{(k)}, \lambda^{(k)})Sg_i$$

$$(X^{(k)} + \nabla g_i S \leq 0, j(B=1,2,\dots,m))$$

در رابطه ۶، X^k نشانگر وضعیت بردار طراحی در چرخه k ام بهینه‌سازی است و مقدار معلوم دارد.

جهت حرکت S مجهول مسأله است. همچنین در رابطه ۶، f گرادیان تابع هدف در طراحی فعلی، B یک تقریب مرتبه دو از هسیان تابع لاگرانژی و λ ضرایب لاگرانژ است. پس از یافتن بردار S که جهت جستجو را تعیین می‌کند، نقطه جدید در فضای طراحی از رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \alpha.S \quad (۷)$$

با جایگزینی $X^{(k+1)}$ در روابط تابع هدف و قیود، روابطی برحسب α به دست می‌آیند. حال α باید طوری تعیین شود که هیچ قیدی نقض نشود و تابع هدف نیز کاهش یابد.

برای پیدا کردن α ، بایستی یک تابع جریمه‌ای مثل تابع زیر که توسط هان و پاول [۱۳] پیشنهاد شده است، تعریف شود.

این تابع، تابع کاهشی نامیده شده و به ازای α کمینه می‌شود و به این ترتیب، مقدار α به دست می‌آید.

(۸)

$$\phi_H = f(x^{(k)}) + \sum_{i=1}^p r_i^k |hi| + \sum_{i=1}^m \mu_i^{(k)} \max\{0, g_i\}$$

پس از یافتن نقطه جدید، گامهای فوق (یافتن جهت حرکت S و مقدار حرکت α) آن قدر تکرار می‌شوند تا مسأله به همگرایی لازم برسد و به یک نقطه بهینه مناسب ختم شود. معمولاً محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابند که اولاً نسبت مقدار تغییر تابع هدف نسبت به مقدار قبلی آن کمتر از ۰/۰۱ باشد، ثانیاً هیچ قید نقض شده‌ای وجود نداشته باشد [۱۳].

بسته نرم افزاری DOT دارای این قابلیت است که با دریافت تابع هدف $f(x)$ و قیود $g_j(X)$ مراحل ذکر شده را به صورت متوالی تکرار کند و با ساختن زیرمسأله‌های QP، جواب بهینه مناسبی را به دست آورد.

$$\begin{aligned} G(x) = & (0.96604 - 0.09383X_1 - 9.9) * (9.9 / X_1) * \\ & (2 - 9.9 / X_1 + 0.55 * (9.9 / X_1)^2 * (X_1 - 9.9)^2 * 0.00839 - \\ & 0.00738 * \\ & (X_3 - 5.4) * (5.4 / X_3) * (2 - 5.4 / X_3) + 0.5 * (5.4 / X_3)^2 * \\ & (X_3 - 5.4)^2 * \\ & (-0.00133) - 0.005748 * (X_4 + 0.45) * (-0.45 / X_4) * \\ & (2 + 0.45 / X_4) + 0.5 * (-0.45 / X_4)^2 * (X_4 + 0.45)^2 * \\ & (-0.13264) - 1.2 \end{aligned}$$

حداقل قیود لازم برای بهینه سازی این سازه عبارتند از:

قیدهای کنترل لغزش برای هر بلوک در هنگام وقوع زلزله، قیدهای محدود کردن خروج از مرکزیت بارهای وارد بر هر بلوک در حالت بهره برداری و زلزله، آشکار است که مقدار نیروی لغزش بلوکها در حالت زلزله بیشتر از مقدار آن حالت بهره‌برداری است، همچنین معیار محدودیت خروج از مرکزیت، شرایط واژگونی بلوکها را با ضریب اطمینان بیشتری کنترل می‌کند، بنابراین در نظر گرفتن قیود لغزش در حالت بهره‌برداری و کنترل واژگونی لازم نیست.

همان طور که پیش تر اشاره شد، در مرحله دوم طراحی، با تنظیم طول و مقدار پیش‌آمدگی بلوک تحتانی، ایمنی اسکله در برابر دیگر مدهای خرابی مانند باربری بستر و پایداری کلی نیز ارضاء و طرح بهینه نهایی می‌شود.

۳-۲-۳ روش بهینه سازی

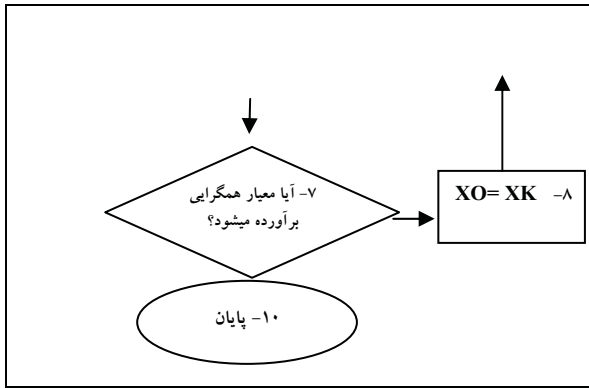
صورت کلی مسائل بهینه سازی به صورت زیر است که در این رابطه، $f(x)$ تابع هدف، $g(x)$ قیود مسأله و X بردار متغیرهای طراحی است.

$$\text{Minimize : } f(X) \quad (۵)$$

$$\text{Subject to : } g_j(X) \leq 0, \quad (j = 1, 2, \dots, m)$$

در بند ۳-۲-۱ متغیرهای طراحی در شکل ۳ و تابع هدف با رابطه (۲) بیان شد و در بند قبل، نحوه تشکیل و بیان قیود مسأله ذکر شد و به طور نمونه، رابطه تقریب یکی از قیود برحسب متغیرهای طراحی با رابطه (۳) نشان داده شد. در این بخش، روش حل ریاضی این مسأله بهینه سازی تشریح می‌شود.

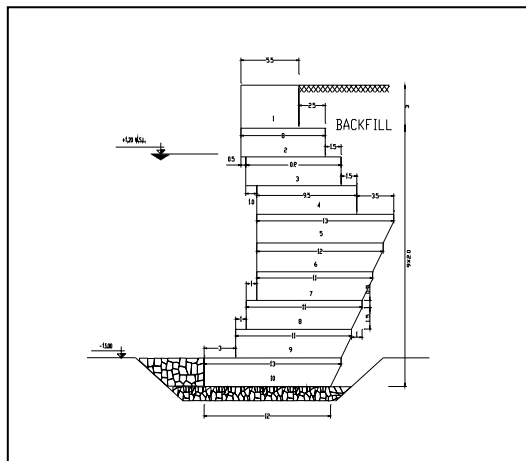
مسأله مورد نظر در این تحقیق، دارای تابع هدف غیرخطی مرتبه ۳ و قیود غیرخطی مرتبه ۴ است.



شکل ۴. الگوریتم روش بهینه سازی تقریبی

۴. مطالعه موردی

در این مقاله، در شرایط یکسان دو گزینه پله‌ای و گوزپشتی برای اسکله ساحلی یک منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. برخی از پارامترهای مهم طراحی این اسکله عبارتند از: ضریب افقی زلزله: ۰/۲۱؛ سربار یکنواخت: ۴ تن بر مترمربع؛ زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت‌ریز: ۴۰ درجه؛ زاویه اصطکاک داخلی مصالح بسترسازی: ۴۵ درجه؛ تراز عرشه: ۶ C.D + عمق نفوذ بلوک تحتانی در بستر: ۲ متر. همان گونه که پیش تر اشاره شد، در روش طراحی معمولی و رایج این اسکله، طراح بنابر تجارب قبلی خود یک طرح اولیه را در نظر می‌گیرد و با کنترل آن به صورت دستی و انجام اصلاحات مکرر به یک طرح نهایی قابل قبول دست می‌یابد. شکل ۵ طرح نهایی به دست آمده با روشهای معمولی را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

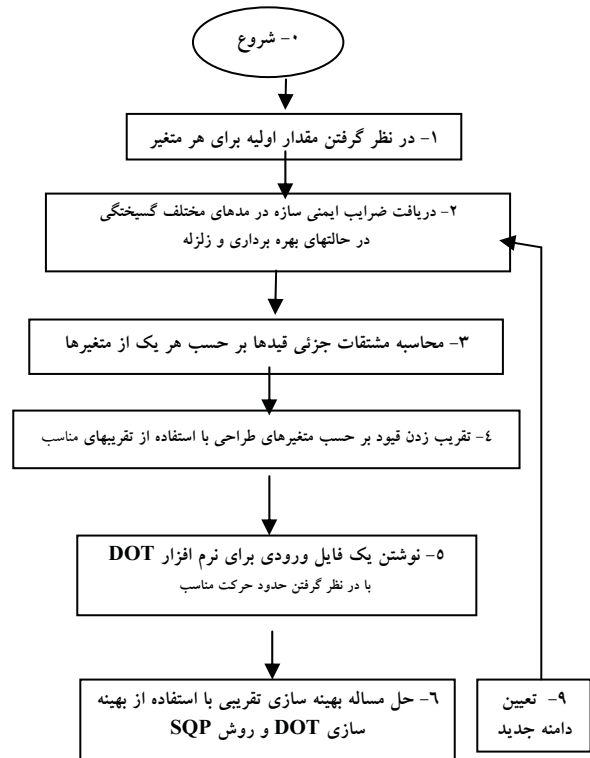


شکل ۵. طرح حاصل از طراحی به روشهای متداول برای منطقه مورد مطالعه

این روش که به صورت متوالی تکرار می‌شود، روش SQP (برنامه‌ریزی درجه دو متوالی) نامیده می‌شود. برای حل مسأله بهینه‌سازی مورد نظر نرم افزار DOT و روش SQP استفاده شده‌اند. برای آشنایی بیشتر با این نرم‌افزار و جزئیات این روش مراجع [۱۵]، [۱۶] و [۱۷] را می‌توان مطالعه کرد.

اطلاعات مورد نیاز نرم افزار DOT عبارتند از:

- ۱- نقطه طراحی اولیه؛ ۲- تابع هدف؛ ۳- قیود فرمول‌بندی شده؛ ۴- حدود حرکت. شکل ۴ الگوریتم روش بهینه‌سازی استفاده شده را نشان می‌دهد. به طور خلاصه، در مراحل ۲، ۳ و ۴ قیود مسأله بهینه سازی توسط برنامه تهیه شده تشکیل می‌شود و کاربر با دریافت خروجی برنامه تهیه شده، در مرحله ۵ فایل ورودی برنامه DOT را تنظیم می‌کند. در مرحله ۶، نقطه بهینه‌ای توسط برنامه DOT به دست می‌آید.
- حال با نقطه بهینه به دست آمده، مجدداً در مراحل ۲، ۳ و ۴ قیود در برنامه تهیه شده تقریب زده می‌شوند و اطلاعات برنامه DOT در مرحله ۵ بهنگام می‌شود تا نقطه بهینه بعدی به دست آید.
- این روند تا جایی ادامه می‌یابد که معیار همگرایی مسأله ارضاء شود. با کوچک کردن تدریجی و سنجیده دامنه تقریب و حدود حرکت، می‌توان تا حد قابل قبولی به نقطه بهینه مطلوب نزدیک شد. با این روش، مقدار بهینه متغیرهای طراحی برای مقطعی با کمترین مساحت، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با به دست آمدن مقدار بهینه متغیرهای طراحی، هئندسه مقطع ایمن با کمترین حجم بتن مصرفی مشخص می‌شود.



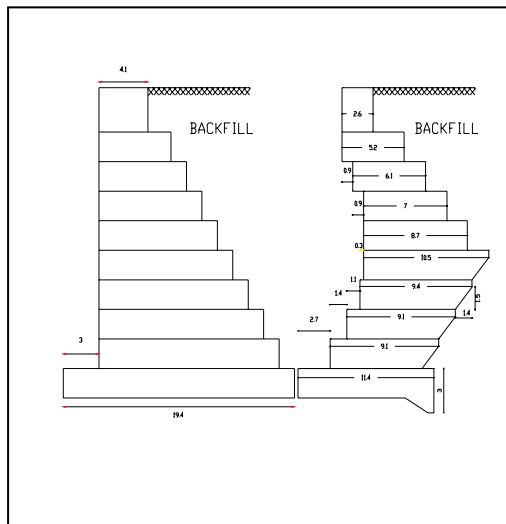
برای تأمین پایداری کلی مقطع فوق می توان زبانه ای به ارتفاع و طول یک متر مطابق شکل ۷، به قسمت عقبی بلوک تحتانی اضافه کرد و یا ۴ متر دیگر به طول این بلوک افزود که با اضافه کردن فقط طول بلوک، در این مثال وزن بلوک تحتانی ۳۵ درصد بیشتر می شود و تناژ جرثقیل و بارج مورد نیاز نصب آن افزایش می یابد، بنابراین هزینه اجرای آن به مراتب افزایش می یابد. در صورت عدم بتن ریزی قسمتی از بلوک تحتانی در زیر آب، تعبیه زائده ای مانند شکل ۷ برای کاهش هزینه های اجرایی توصیه می شود. در شکل ۷، دو مقطع بهینه گورپشتی و پله ای به دست آمده نشان داده شده است و در جدول (۲) گزینه های فوق از نظر هزینه اجرا (شامل حجم بتن مصرفی و تناژ بزرگترین بلوک) مقایسه شده اند. لازم به ذکر است که در بررسی مقطع پله ای، فرض شده است که طول بلوکها از روی بلوک تحتانی به صورت خطی تغییر یابد.

جدول ۲. خلاصه نتایج مقایسه گزینه های بهینه شده

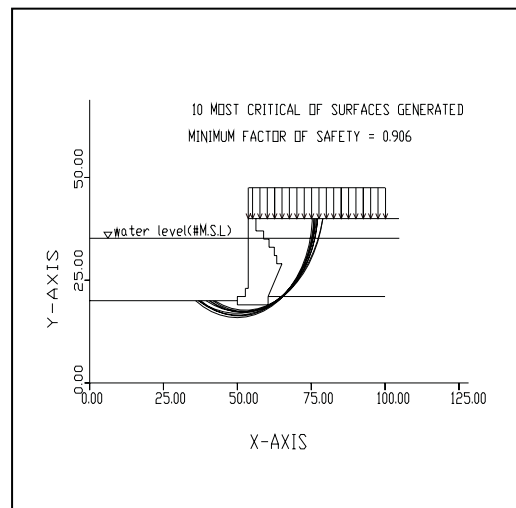
نوع مقطع	حجم بتن مصرفی (m ³ /m)	وزن بزرگترین بلوک (تن)
مقطع بهینه پله ای	۲۵۳/۴	۱۷۸/۴
مقطع بهینه گورپشتی	۱۶۱/۲	۹۷/۹
مقطع اول	۲۰۳	۱۱۵

برای طرح بهینه و اصولی مقطع یک اسکله بلوکی، پیشنهاد نگارندگان بر این است که طراحی در سه مرحله صورت پذیرد، در مرحله اول، با استفاده از روش بهینه سازی تشریح شده مقدار بهینه متغیرهای طراحی اشاره شده مشخص شود. با این متغیرها، یک مقطع ایمن از لحاظ پایداری در برابر لغزش و واژگونی هرکدام از بلوکها در شرایط بهره برداری و همچنین در هنگام وقوع زلزله به دست می آید که دارای کمترین حجم بتن مصرفی از میان طرحهای مختلف قابل قبول است. در مرحله دوم، باربری بستر با استفاده از روابط تعیین ظرفیت باربری شالوده های سطحی و همچنین روش کنترل دایره های لغزش از لبه پایینی بلوک تحتانی، کنترل شود و با تغییر طول و مقدار پیش آمدگی بلوک تحتانی، وضعیت باربری بستر مطلوب شود.

در مرحله سوم، با کنترل دایره های لغزش در مصالح پشت ریز، لغزش کلی اسکله کنترل و با اضافه کردن طول یا ارتفاع سمت ساحل بلوک تحتانی و یا هر دو، ایمنی طرح تضمین شود. برای تشریح مرحله سوم، در شکل ۶ مقطع به دست آمده پس از پایان مرحله دوم نشان داده شده و سطوح گسیختگی عمیق در این مقطع که بلوک تحتانی با حداقل طول مورد نیاز برای تأمین وضعیت ایمن باربری بستر است، مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله سوم، برای تأمین پایداری کلی مقطع، زبانه ای بطول و ارتفاع مورد نیاز به عقب بلوک تحتانی اضافه می شود تا با دور کردن سطوح گسیختگی، پایداری کلی مقطع تأمین شود.



شکل ۷. مقطع گورپشتی (شکل سمت راست) و مقطع بهینه پله ای (شکل سمت چپ)



شکل ۶. سطوح گسیختگی کلی برای مقطع در پایان مرحله دوم بهینه سازی

۵. حساسیت طرح به پارامترهای طراحی

برای طراحی مطلوب اسکله‌های بلوکی، شناسایی اهمیت و نقش پارامترهای مرتبط در طراحی لازم است. به این منظور، خلاصه نتایج تحلیل برخی از پارامترهایی که تأثیر بسزایی در طرح بهینه دارند، به شرح زیر ارائه می‌شود. لازم به یادآوری است که در طرح‌های زیر مقایسه‌گزینه‌ها با شرایط یکسان، صرفنظر از افزایش احتمالی طول بلوک تحتانی، مد نظر قرار گرفته است.

۵-۱ زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت ریز

در طرح مورد مطالعه با کاهش زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت‌ریز از ۴۰ درجه به ۳۵ درجه، مقطع بهینه مطابق مقطع سمت راست شکل ۸ به دست می‌آید. در این حالت، با افزایش فشار خاک، تعداد بلوکهای شیبدار افزایش یافته و حجم بتن مصرفی نیز ۲۵/۱ درصد افزوده می‌شود. بنابراین بکارگیری مصالح مرغوب و با دانه‌بندی مناسب برای پرکردن پشت اسکله‌های وزنی توصیه می‌شود.

۵-۲ ارتفاع بلوکها

در طرح‌های قبلی، برای قالب‌بندی ساده‌تر، ارتفاع تمام بلوکها ۲ متر در نظر گرفته شد. با تغییر تناژ جرتقیل موردنیاز که در طراحی در قالب وزن مجاز بلوکها تعریف می‌شود، مشاهده شد که حجم بتن مصرفی تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند، اما تعداد بلوکها در مقطع تغییر می‌یابد که می‌تواند هزینه‌های اجرا را کاهش دهد. استفاده از بلوکهای سنگین‌تر برای پروژه‌های بزرگ در صورت وجود تجهیزات مورد نیاز اقتصادی‌تر است. با تعیین وزن مجاز ۱۲۰ تن برای بلوکها و تعمیم برنامه تهیه شده برای ارتفاع متفاوت بلوکها، مساحت مقطع افزایش کمی داشت، اما تعداد بلوکها در مقطع از ۱۰ ردیف به ۷ ردیف کاهش یافت که می‌تواند تعداد دفعات رفت و برگشت بار را کاهش دهد.

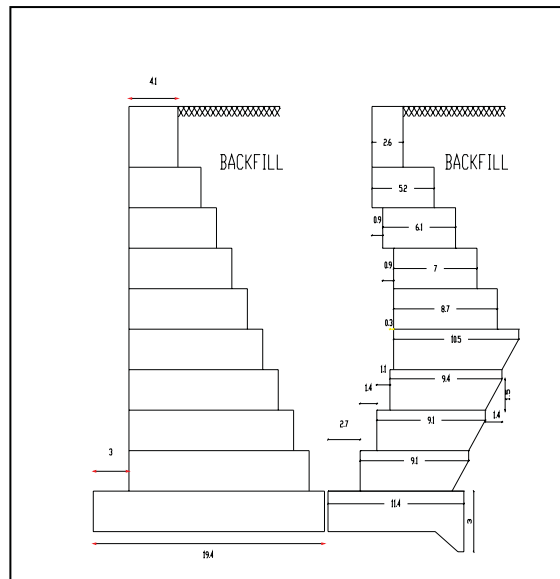
مقطع سمت چپ شکل ۸ این طرح بهینه را نشان می‌دهد. با ارزیابی دقیق هزینه حمل و نصب بلوکها به هزینه بتن‌ریزی آنها، می‌توان کاهش هزینه‌های اجرا را با انتخاب بهینه وزن حداکثر بلوکها دنبال کرد. بنابراین تعیین تناژ بهینه جرتقیل مورد نیاز برای نصب بلوکها به وسیله ارزیابی هزینه‌های حمل و نصب بلوکها برای جرتقیل های مختلف و در نظر گرفتن ارتفاع بلوکها با توجه به تناژ جرتقیل مورد استفاده توصیه می‌شود.

۵-۳ ضریب افقی زلزله

در بررسی‌های صورت گرفته در این منطقه ملاحظه شد که با کاهش ۰/۰۱ ضریب افقی زلزله، حجم بتن مصرفی به طور میانگین ۴/۵ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین ضریب زلزله طرح برای این سازه از اهمیت خاصی برخوردار است و مقدار این ضریب نقش بسزایی بر حجم بتن مصرفی و هزینه‌های اجرا دارد.

۵-۴ کلید برشی

طرح‌های بررسی شده، با در نظر گرفتن اثر یک کلید برشی متعارف طراحی شده‌اند. اگر اثر این کلید برشی در طراحی مورد نظر قرار نگیرد، لغزش در سطح مشترک افقی بلوکهای پایینی مقطع مشکل‌ساز می‌شود. در مطالعه موردی انجام شده نشان داده می‌شود که اعمال نکردن اثر کلید برشی فوق، منجر به افزایش ۱۸/۲ درصدی حجم بتن مصرفی می‌شود. بنابراین اجرای مناسب کلید برشی و در نظر گرفتن اثر آن در طراحی، به ویژه برای مناطق با خطر زلزله چشمگیر است که نیروی افقی زلزله زیاد است، توصیه می‌شود.

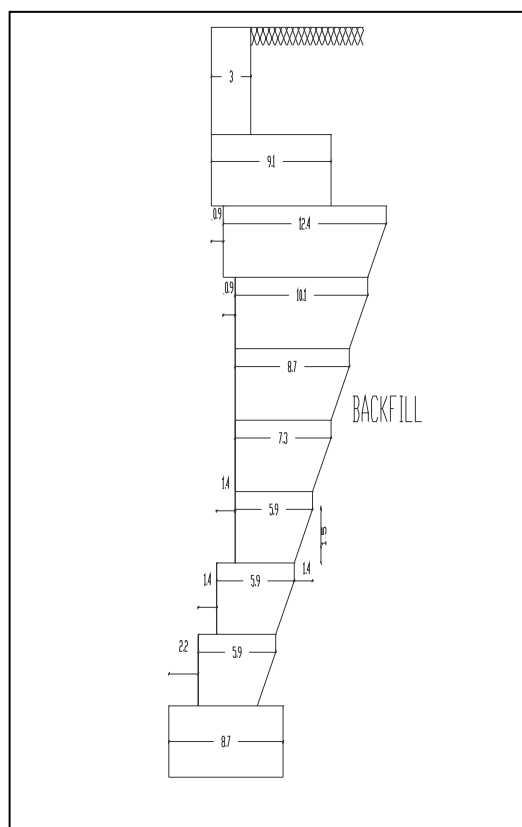


شکل ۸. مقطع بهینه درحالت‌های: مصالح پشت‌ریز با زاویه اصطکاک داخلی کمتر (شکل سمت راست)، ارتفاع متغیر بلوکها (شکل سمت چپ)

۵-۵ معیار محدودیت خروج از مرکزیت بارها

تنش موضعی در بلوک چینی نباید از مقدار مجاز آن تجاوز کند. محدود کردن بارهای وارد بر هر بلوک به یکسوم عرض میانی فصل مشترک بلوکها، توزیع نیروها در ارتفاع مقطع را مناسب ساخته و تنش فشاری وارد بر لبه عقبی بلوکهای شیبدار را کاهش می‌دهد. با حذف این معیار از قیود مسأله بهینه‌سازی، مشاهده شد که مساحت مقطع $3/4$ درصد کاهش و تعداد بلوکهای شیبدار مطابق شکل ۹ افزایش می‌یابد، اما بلوکهای پایین مقطع دارای خروج از مرکزیت زیاد است و تنش فشاری وارد بر لبه آنها افزایش یافته است.

در این حالت، تعادل مقطع به ویژه در حین اجرا و در صورت تراکم نبودن مصالح پشت‌ریز مشکل‌ساز است. شکل غیرمنطقی ۹ که با تبعیت کامل از آیین‌نامه کارهای دریایی ژاپن به دست آمده است، نشان می‌دهد که در نظر گرفتن معیار خروج از مرکزیت در طراحی ضروری است.



شکل ۹. مقطع بهینه در حالت اعمال نکردن محدودیت خروج از مرکزیت

۶. نتیجه گیری

در طراحی اسکله‌های وزنی بلوکی، شکل مقطع نقش بسزایی در پایداری آنها و کاهش هزینه‌ها دارد. نتایج بررسی‌های صورت گرفته در این مطالعه نشانگر آن است که با استفاده از شیب منفی در پشت بلوکها، استفاده از مصالح پشت‌ریز مناسب، پیش‌آمدگی تعدادی از بلوکها و نیز توجه به مسایل اجرایی می‌توان هزینه‌های طرح را به گونه چشمگیری کاهش داد.

مهم ترین نتایج این مطالعه عبارتند از:

۱- عقب رفتگی برخی از بلوکها (استفاده از شیب معکوس در پشت اسکله)، فشار خاک وارد بر اسکله را به طور عمده کاهش در مناطق زلزله‌خیز، استفاده از مقطع پله‌ای برای اسکله یا دیوار ساحلی نسبت به مقطع گوشه‌پشتی غیراقتصادی و تا حدی غیراجرایی است. به طور مثال، در مطالعه صورت گرفته برای یک منطقه با خطر زلزله خیزی زیاد، ملاحظه شد که مساحت مقطع می‌دهد و در نتیجه، نیروی افقی لغزش بلوکها و لنگر واژگونی بلوکها کاهش یافته که در مجموع طرح را اقتصادی‌تر می‌کند. بهینه پله‌ای ۵۷ درصد بیش از مساحت مقطع بهینه گوشه‌پشتی به دست می‌آید.

۲- روش بهینه‌سازی ارائه شده کارایی مناسبی برای بهینه‌سازی مقطع اسکله‌های بلوکی دارد، به طوری که در مطالعه موردی صورت گرفته، این روش توانست حجم بتن مصرفی مقطع بهینه شده را $20/6$ درصد کاهش دهد.

۳- مقدار شیب بهینه پشت اسکله به شدت به اندازه زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت‌ریز بستگی دارد. اگر چه به نظر می‌رسد که افزایش این شیب می‌تواند طول بلوکهای میانی و مساحت مقطع را به طور نامناسب افزایش دهد، اما با کاهش فشارخاک، طول بلوکهای پایین مقطع و همچنین طول بلوکهای میانی را نیز کاهش یافته و در نهایت، در حجم بتن مصرفی و هزینه‌های اجرایی صرفه‌جویی می‌شود.

۴- تعداد بهینه بلوکهای شیبدار تا حد زیادی به زاویه اصطکاک داخلی مصالح پشت‌ریز بستگی دارد. با تغییر تعداد این بلوکها، تغییرات زیادی در پایداری مقطع و هزینه‌های اجرایی ایجاد می‌شود. اما برای یک منطقه خاص، توصیه می‌شود که بسته به بارهای طراحی، تعداد دقیق بلوکهای شیبدار با روش ارائه شده به دست آید.

بسته به پیچیدگی مسأله بایستی تقریب‌های مختلف بررسی و روابط تقریب‌سازی مناسب انتخاب و استفاده شوند تا با رفتار واقعی سازه انطباق قابل قبولی داشته باشند.

۵- برای تشکیل مسأله بهینه‌سازی در مواردی که قیود، رابطه‌ای نامشخص و پیچیده با متغیرهای طراحی دارند، روش تقریب‌سازی، روش مناسبی به شمار می‌آید.

۷. مراجع

9. O.C.D.I (2002) "Technical standard and commentaries for port and facilities in Japan Wall", The Overseas Coastal Development Institute of Japan; Part 8:4 & 2:12, 14 & 4:16 & 5:2,6 .

10. P.I.A.R.C (2001) "Seismic design guidelines for port structures", Netherlands, Balkema, p. 476.

۱۱. داس، برجام "اصول مهندسی خاک"، ترجمه محمدحسین صالح زاده، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، فصل نهم و دهم. بی.تا

12. E.A.U (1996) "Recommendation of Committee for Waterfront Structures, Harbors and Water Ways", 7th. ed., Berlin, Ernst and John.

۱۳. هفتکده، آر.تی. و گوردال، زد. (۱۳۸۲) "مبانی بهینه سازی سازه ها"، ترجمه محمد حسین ابوالبشری، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی، فصل ۵ و ۶.

14. Salajegheh, E. (1997) "Optimum shape design of 3-D continuum structures using second order approximation", Proceedings of the 4th. International Conference on Civil Engineering, Sharif University of Technology", Tehran, Iran.

۱۵. آرورا و جسبیر (۱۳۷۸) "مقدمه ای بر طراحی بهین"، ترجمه محمدحسین ابوالبشری، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی.

16. Van der Plaats, G.N (2001) "User manual for D.O.T (Design Optimization Tools Manual)", VMA Engineering, Inc, Goleta, California.

۱۷. اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۱) "برنامه ریزی غیرخطی مقید در تحقیق در عملیات" تهران، انتشارات دانشگاه تهران، فصل سوم.

پانویس‌ها

1. Blockwork gravity type quay walls

1. B.S: 6349 (1988) "British Standard Code of Practice for Marine Structures, Part 2: Design of Quay Walls , Jetties and Dolphins". London, BSI.

2. Hann, W. (2001) "Deterministic computer-aided optimum design of rock rubble mound breakwater cross section", AEJ-Alexandria Engineering Journal, Vol.40, NL.

3. Voortman, H.G., Boer S., Kortlever, W. and Vrijling, J.K. (1988) "Optimal breakwater design for the Rotterdam Harbor extension", Hydraulic and Offshore Engineering Section, Delft University of Technology, Netherlands.

4. Voortman, H.G., Kuijper, H.K and Vrijling J.K. (1999) "Economic optimal design of vertical breakwaters", Hydraulic and Offshore Engineering Section, Delft University of Technology, Netherlands.

5. Voortman, H.G, Kuijper H.K. and Vrijling J.K (1999) "Influence of subsoil properties on the optimal design of caisson breakwaters", Hydraulic and Offshore Engineering Section, Delft University of Technology, Netherlands.

۶. ناصری زاده، روح ا... (۱۳۸۰) "تعیین ابعاد اقتصادی اسکله‌های شمع و عرشه برای بارگذاری‌های مختلف"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۷. حسنلوراد، محمود و صالح زاده، حسین (۱۳۸۴) "بررسی رفتار دینامیکی اسکله های بلوکی وزنی-مطالعه موردی"، دومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۴.

۸. علی عسگری، ابوالفضل و شاکری، محمدرضا (۱۳۸۵) "طراحی اسکله های وزنی بلوکی با تاکید بر طراحی در شرایط زلزله"، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۵.

Optimum Cross Section Design of Blockwork Gravity Quaywalls Using SQP Method

*M. Shafieefar, Assistant Professor, Department of Engineering, Tarbiat Modares University,
Tehran, Iran*

*A. Mirjalili, Department of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
E-mail: shafieefar@modares.ac.ir*

ABSTRACT

Gravity structures are used for waterfront quay walls where the seabed soil condition is appropriate. Some gravity walls are built behind a cofferdam on land but most walls are constructed in water by a method used only in maritime works, in which large pre-cast units are lifted or floated into position and installed on a prepared bed under the water. It is usual to use rubble or a free-draining granular fill immediately behind a quay wall so that the effects of tidal lag are minimized and earth pressure is reduced.

Gravity quay walls can be classified into different types such as caissons, L-shaped blocks, rectangular concrete blocks, cellular concrete blocks and cast in-place concrete. Optimum design of block work gravity type quay walls with pre-cast concrete blocks are the object of the present investigation. The advantages of these quay walls are: simple construction technology, preferred costs and good durability.

The external and environmental loads acting on these type structures are surcharge, deadweight of the wall, earth pressure, residual water pressure, buoyancy, seismic forces, dynamic water pressure during an earthquake and tractive forces of vessels. The principle modes of failure of this gravity structure are: sliding, overturning, deep slip and foundation failure, therefore in the stability calculations the following items should be examined in general: Settlement, Circular slip, Bearing capacity of the foundation, sliding and overturning at all horizontal surfaces between blocks. To study the behavior of a quay wall and to check the stability against probable different failure modes, a computer program has been developed. This program can easily consider the effects of different parameters such as section geometry of quay wall, material property and loading condition in design.

In common designs, designers often select an accepted sketch with their experiences and cannot review different sketches and present the best one. Sometimes the final drawing may be uneconomical and also the transport and placing of blocks may be very difficult and probably impossible. Therefore, adopting an optimization procedure for design of these structures is needed. In this paper, a procedure for optimization of cross section of a block work gravity type quay wall has been introduced and a numerical program for this procedure has been developed. After reviewing design and construction considerations for such quay walls, available methods for optimum design of these structures are discussed and objective function, constraints, design variables are considered. The main constraints of the optimization problem in the present study is the safety factor in various modes of failures. As relation of safety factor with design variables is unknown, therefore, a proper method should be used for approximating the objective function and constrains according to design variables first. Then, an efficient method should be selected for formulation of mathematical optimization of the objective function under existing constrains. For this purpose, the optimization of the cross section is accomplished using Sequential Quadratic Programming (SQP) method in the present work.

Results indicate that the cross section of a block work quay wall has an important role on stability of the structure and one can reduce costs of such structures by optimizing the cross section. Finally, some recommendations for optimum design of this type of quay wall are presented.

Keywords: Optimization, block work, SQP, quay walls.