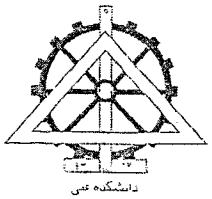
بسم الله الرحمن الرحيم

٩٣٩٤



دانشگاه تهران

دانشکدهٔ فنی

گروه مهندسی عمران

طراحی بهینهٔ تیرهای بتن پیش تنیده

نگارش : مهدی حیدری وند رضا قلی قشلاقی

استاد راهنما : دکتر ایرج محمودزاده کنی

استاد مشاور : دکتر شاهرخ مالک

پایان نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

در

رشتهٔ مهندسی عمران (گرایش سازه)

۱۳۸۷ /۳/ ۲۳

بهمن ۸۶

۹۲۹۶۹

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب مهدی حیدری ورنوسفادرانی تائید می‌کند که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده‌است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده‌است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مهدی حیدری ورنوسفادرانی رضا قلی قشلاقی

امضاء:

تقدیم به

مادر دلسوز و مهربانم

پدر بزرگوارم

و خانوادهٔ برادرم

که هر چه دارم از راهنمایی ها و دعاهای خیرآنان بوده است.

تقدیر و تشکر:

در اینجا لازم می دانم از زحمات بی دریغ و مفید اساتید محترم، آقایان دکتر ایرج محمودزاده کنی و دکتر شاهرخ مالک که در انجام این پروژه و به ثمر رسیدن هر چه سریعتر آن مـرا یـاری نمودنـد و راهنمایی های آنان راهگشای مشکلات پروژه بود؛ کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

چکیده:

امروزه استفاده از بتن پیش تنیده در سازه های بتنی توسعه چشمگیری پیدا کرده است؛ از آن جمله می توان به استفاده مکرر از مقاطع بتن پیش تنیده به شکل تیپ در تیر پل های بتنی اشاره کرد؛ همچنین از جهت دیگر، در دنیای امروزی صرفه جویی به ویژه در زمینه های مختلف انرژی از اهمّیّت فوق العاده ای برخوردار گردیده است. از این رو بهینه سازی طراحی سازه ها نیز، اهمّیّت ویژه‌ای پیدا می کند؛ چنانچه بهینه سازی تیر پل های بتنی پیش تنیده به عنوان یکی از اجزای اصلی پل های بتنی می تواند حائز اهمّیّت گردد. بهینه سازی که بدین نحو مورد بررسی قرار می گیرد با هدف کاهش مشخصات طراحی اعم از هزینه، ارتفاع، وزن و سایر الزامات یک طراحی، به منظور بهره گیری از حداکثر ظرفیت مصالح و بالا بردن راندمان طراحی می تواند مورد بحث واقع گردد. علاوه بر این از لازمه های اجتناب ناپذیر یک بهینه‌سازی مورد قبول، بهره‌مندی از یک مدل سازی مناسب درکنار الگوریتم بهینه سازی مطلوب می باشد؛ آن چنانکه بتوان با استفاده از آن و در نظر گرفتن مؤلفه های جدایی ناپذیر یک طراحی (از قبیل: نیروی پیش تنیدگی، مشخصات مقطع، افت ها، شکل و نحوهٔ قرارگیری تاندون های پیش تنیدگی برای یک تیر بتن پیش تنیده) فرآیند بهینه سازی را به منظور تعیین متغیرهای طراحی انجام داد.

با توجه به توضیحات اشاره شدهٔ بالا در این تحقیق با بکارگیری روابط محاسباتی مربوط به تحلیل و طراحی تیرهای بتن پیش تنیده بر اساس آئین‌نامه های BS[1] ($BS8110$ آئین نامهٔ سازه های بتنی و $BS5400$ آئین نامهٔ بارگذاری و طراحی پل) سعی شده است؛ تا با ارایهٔ یک برنامهٔ کامپیوتری هوشمند بر اساس نرم افزار $MATLAB$ کلیهٔ محاسبات توضیح داده شده در بالا به شکل خودکار انجام گردد. لازم به یادآوری است که در آئین‌نامهٔ بتن ایران (آبا) نیز روابط و الزامات طراحی برای سازه های بتن پیش تنیده آورده شده است ولی به دلیل استفاده از مصالح وارداتی برای اجرای این نوع سازه های بتنی مانند تاندون های پیش تنیدگی که بر اساس استاندارد اروپایی تهیه می گردند، و همچنین کاربرد مکرر آئین نامهٔ BS و کامل بودن تئوری های بکارگرفته شده برای آن و به علاوه دقت بالای برخی روابط طراحی به ویژه روابط مربوط به برش از آئین نامهٔ BS برای طراحی ها استفاده شده است.

---

[1] *British standard*

همچنین با استفاده از یک برنامهٔ بهینه سازی مناسب بر مبنای الگوریتم ژنتیک و اتصال این برنامه به برنامهٔ محاسباتی اصلی که در بالا توضیح داده شد، با در نظر گرفتن مشکلات و محدودیّت های اجرایی و تذکرات و توصیه های آیین نامه‌ای بهینه سازی طراحی برای به دست آوردن حداقل مصالح مورد نیاز تیر به شکل بهینه برای کسب حداکثر بهروری از تیر و بالا بردن راندمان کار صورت گرفته است.

سرانجام با ارایهٔ مثال های کاربردی و با توجه به نتایج حاصل از مراحل گوناگون طراحی و نمودارهای به دست آمده، توصیه ها و نمودارهایی برای طراحی بهینهٔ مقاطع گوناگون اعم از I شکل، T شکل، ذوزنقه ای و جعبه ای شکل با تاندون پس کشیده یا پیش کشیده به شکل سهموی یا مستقیم ارائه گردیده است.

از جمله نتایج مهم این بررسی ها می توان به شکل خلاصه به موارد زیر اشاره کرد.

- دهانه های ساده به دلیل حاکمیت افت نیروی پیش تنیدگی در دهانه های سراسری از حالت بهینهٔ بهتری نسبت به آنها برخوردارند.
- مقاطع با تاندون سهموی شکل که با حالت پس کشیدگی پیش تنیده می شوند نتایج بهتری را در بر دارند.
- اجرای دال بعد از تیر ریزی و عمل مرکب آن با تیر مفیدتر می باشد.
- حد دهانه‌ای برای بکارگیری مقاطع جعبه‌ای و T شکل بر حسب هزینه، وزن و ارتفاع به دست آمده است.
- وزن و ارتفاع و هزینهٔ مقاطع T در دهانه های کمتر از $15m$ بهتر می باشد.
- مقطع I شکل با آزادی عمل ابعاد تبدیل به مقطع ذوزنقه ای می شود.
- هزینهٔ مقطع ذوزنقه‌ای بهتر از مقطع I شکل می باشد.
- ارتفاع مقطع ذوزنقه‌ای و I شکل فرق چندانی با هم ندارند.
- وزن و ارتفاع مقاطع I و ذوزنقه‌ای بهتر از مقاطع T و جعبه‌ای می باشد.

قابل ذکر است که این نتایج بر مبنای رده‌های متفاوت مقاومتی برای بتن و فولاد و هزینهٔ مصالح مورد استفاده با نسبت های مورد قبول ارائه گردیده است.

فهرست:

عنوان:	صفحه
• فصل اول: اصول، مشخصات و کاربرد سازه های بتن پیش تنیده	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- تعاریف	۵
۱-۳- کارهای بتن پیش تنیده انجام شده در ایران	۷
۱-۴- مزایا و معایب سازه های بتن پیش تنیده	۸
• فصل دوم: اصول و روش های بهینه سازی و کارهای انجام شده	۹
۲-۱- تعاریف	۱۰
۲-۲- روش های بهینه سازی	۱۲
۲-۳- الگوریتم ژنتیک	۱۵
۲-۴- بهینه سازی طراحی سازه های بتن پیش تنیده	۲۰
• فصل سوم: تحلیل و به دست آوردن نیروهای داخلی و طراحی تیر	۲۳
۳-۱- محاسبهٔ افت های به وجود آمده در تاندون پیش تنیدگی	۲۴
۳-۱-۱ افت اصطکاکی ناشی از انحناء	۲۶
۳-۱-۲ افت اصطکاکی ناشی از اعوجاج	۳۱
۳-۱-۳ افت در اثر تغییر شکل الاستیک	۳۳
۳-۱-۴ افت در اثر تو رفتگی	۳۸
۳-۱-۵ افت حاصل از خزش بتن	۴۱
۳-۱-۶ افت حاصل از انقباض بتن	۴۳
۳-۱-۷ افت حاصل از سستی تاندون	۴۳
۳-۱-۸ مقایسهٔ افت های حاصل از روابط دقیق و تقریبی	۴۴
۳-۲- مبانی و اصول تحلیل و تعیین نیروهای داخلی	۴۶
۳-۲-۱ محاسبهٔ مشخصات مقطع	۴۷
۳-۲-۲ نحوهٔ به دست آوردن نیروهای داخلی	۵۲
۳-۲-۳ مقایسه نیروهای داخلی و خطوط تأثیر حاصله با *SAP*	۵۳

۳-۲-۴ خیز بوجود آمده در دوره های زمانی گوناگون ۵۸

۳-۳- مبانی و اصول طراحی با استفاده از الزامات آئین نامه ای ۵۹

۳-۳-۱ طراحی دال عرشه ۶۱

۳-۳-۲ نمودارها و ضرایب طراحی مورد استفاده ۶۵

۳-۳-۳ معادلات و نامعادلات مورد استفاده برای طراحی ۶۶

- فصل چهارم: روش بهینه سازی تحلیل و طراحی تیرها ۶۹

۴-۱- متغیرهای در نظر گرفته شده ۷۰

۴-۲- نحوهٔ ادغام جمعیت ۷۲

۴-۳- جهش داده های جمعیت ۷۳

۴-۴- تابع خطا برای کنترل قیود طراحی ۷۵

۴-۵- همگرایی فرآیند بهینه سازی ۷۵

- فصل پنجم: نتیجه گیری و ارایهٔ نمودارهای طراحی ۷۶

۵-۱- نتایج و نمودارهای حاصل از مثال های طراحی ۷۷

۵-۲- بحث، نتیجه گیری، پیشنهادات و توصیه ها ۹۲

- فصل ششم: برنامه های نوشته شده ۱۰۲

۶-۱- برنامهٔ ورودی داده ها ۱۰۳

۶-۲- برنامهٔ بهینه سازی ۱۰۳

۶-۳- برنامهٔ تابع هدف مورد محاسبه ۱۰۳

- پیوست برنامه ها ۱۰۴
- مراجع ۱۲۶
- علایم اختصاری ۱۲۸
- حروف یونانی ۱۳۰

فصل اول:

اصول، مشخصات و کاربرد سازه های بتن پیش تنیده

۱-۱- مقدّمه:

با توجه به پیشرفت روز افزون کاربرد اعضاء سازه هـای بـتن پـیش تنیـده در جهـان و پیـشرفت تئوریهای مربوط به آن ها، توجه بیش از پیش به این گونه سازه ها اجتناب ناپذیر گردیده اسـت. آن چنان که در کشور ما نیز کاربرد سازه های ساخته شده از بتن پیش تنیده در پل ها و دال هـای کـف ساختمان ها و... چندی است که مورد استفاده قرار می گیرد.

همچنین با توجه به پیشرفت روز افزون تکنولوژی بکارگیری سازه های بتن پیش تنیده (مانند روابط محاسباتی به دست آمده در مقاطع گوناگون و موقعیّت های زمانی متفاوت محاسبهٔ تنش ها)، و همچنین توجه به امکانات به وجود آمده در زمینهٔ تحلیل و طراحی چنین سازه هایی توسط نرم افزارهای کامپیوتری، توجه بیش از حد به تلفیق این دو موضوع (تئوری های طراحی و بکارگیری نرم افزارهای کامپیوتری)، که امکان تجزیه و تحلیل بهتر چنین سازه هایی را فراهم می آورد؛ حائز اهمّیّت می باشد.

از این رو با توجه به توضیحات اشاره شده در بالا و توجه به این نکته که در جهـان کنـونی صـرفه جویی در زمینه های گوناگون انرژی از اهمّیّت ویژه‌ای برخودار گردیده است؛ انجام مطالعاتی در ایـن زمینه که هدف از آن کاهش هزینه و صرفه جویی در وقت می‌باشد، مفید به نظر مـی‌رسـد. یکـی از مصادیق این موضوع در مهندسی عمران (با توجه به پیشرفت های صورت گرفته) بـه شـکل طراحـی بهینهٔ سازه ها، با هدف بکارگیری حداقل مصالح و نیروهای انسانی، و همچنین کاهش زمـان اجرایـی و... برای دستیابی به حداکثر ظرفیت سازه بروز کرده است؛ آن چنان که طراحی بهینه سازه های بـتن پیش تنیده در حال حاضر با توجه به امکانات داخلی در تولید بعضی اجزاء چنین سازه هایی و پیشرفت رو به توسعه در این زمینه و همچنین وارداتی بودن برخی دیگر از اجزاء اصلی اینگونه سازه ها، اعم از گیره ها و جک های هیدرولیکی کشنده تاندون ها، از اهمّیّت دو چندانی برخوردار می گردد.

در طراحی بهینه که بدین نحو مورد بررسی قرار می گیرد؛ باید با در نظر گرفتن پارامترهـایی بـرای هزینه های اجرائی طرح، مانند هزینه های مربوط به اجرای پیش تنیدگی تاندون ها، سطح مقطع مـورد نیاز تاندون ها، قالب بندی سازه، عملیات بتن ریزی طرح و ... (که به عنوان تابع هدف در بهینه سازی

در نظر گرفته می شوند، اقدام به بهینه سازی و کاهش هزینه ها نمود. علاوه بر آن باید توجه شود کـه در حین طراحی، قیدهای اشاره شده در آئین نامه های طراحی نیز در نظر گرفته شوند.

با توجه به توضیحات اشاره شدهٔ بالا در این تحقیق با بکارگیری روابط محاسباتی مربوط به تحلیل و طراحی تیرهای بتن پیش تنیده اعم از: محاسبهٔ مشخصات مقطع، افت های تاندون پیش تنیدگی با استفاده از روابط دقیق، لنگرهای ثانویه در اثر خروج از مرکزیّت تاندون در تیرهای سراسری، لنگر نهایی قابل تحمل توسط مقطع، خیز بوجود آمده در تیر در لحظهٔ انتقال و بلند مدت، استفاده از روابط حدی برای محاسبهٔ مشخصات مورد نیاز مقطع، تعیین مقدار اولیّهٔ نیروی پیش تنیدگی در تاندون، محاسبهٔ سطح مقطع میلگردهای مورد نیاز برای مقابله با برش و پیچش بوجود آمده در تیر و... بر اساس آئین نامهٔ *BS*[1] (*BS*8110 آئین نامهٔ سازه های بتنی و *BS*5400 آئین نامهٔ بارگذاری و طراحی پل) سعی شده است؛ تا با ارایهٔ یک برنامهٔ کامپیوتری هوشمند بر اساس نرم افزار *MATLAB* کلیهٔ محاسبات توضیح داده شده در بالا به شکل خودکار انجام گردد.

همچنین با استفاده از یک برنامهٔ بهینه سازی مناسب بر مبنای الگوریتم ژنتیک و به زبان برنامه نویسی *MATLAB* و اتصال آن به برنامهٔ محاسباتی اصلی (که قبلاً توضیح داده شد)، با در نظر گرفتن مشکلات و محدودیّت های اجرایی و تذکرات و توصیه های آیین نامه ای (از قبیل فاصلهٔ مجاز میلگردها، پوشش مجاز بتن روی میلگردها، فاصلهٔ بین خاموت ها، تنش های مجاز بتن و فولاد، محدودیّت های تغییر شکل مانند خیز، ظرفیت های حداکثر مقاومتی و ...) بهینه سازی طراحی برای به دست آوردن حداقل مصالح مورد نیاز تیر به شکل بهینه (اعم از مشخصات مقطع شامل ارتفاع، عرض، ضخامت جان مقطع، شکل و نحوهٔ قرارگیری تاندون، مقدار نیروی پیش تنیدگی اوّلیّه، مقدار مقاومت مشخصهٔ بتن و مقاومت نهایی تاندون پیش تنیدگی، مقدار سطح مقطع تاندون مورد نیاز برای طرح با توجه به رده های متفاوت تاندون های موجود در بازار و...) برای کسب حداکثر بهروری از تیر و بالا بردن راندمان کار صورت گرفته است.

---

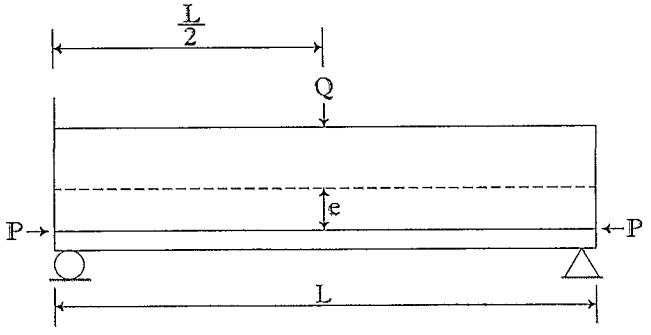
[1] *British Standard*

سرانجام با ارایهٔ مثال های واقعی وکاربردی با دهانه های گوناگون، نحوهٔ اجرا و شکل های گوناگون تاندون برای تیرهای ساده و سراسری و با مقایسهٔ نتایج حاصل از مراحل گوناگون طراحی و نمودارهای به دست آمده اولویت بکارگیری آن ها در دهانه های متفاوت مورد توجه قرار گرفته است؛ و در نهایت توصیه ها و پیشنهاداتی برای طراحی بهینهٔ مقاطع گوناگون اعم از I شکل، T شکل، ذوزنقه‌ای و یا جعبه‌ای شکل با تاندون پس کشیده یا پیش کشیده به شکل سهموی یا مستقیم ارائه گردیده است.

۱-۲- تعاریف:

- عضو بتنی پیش تنیده:

عضو بتنی پیش تنیده عبارت است از یک عضو بتنی که بوسیلهٔ تاندون های فولادی طولی قبل از اعمال بارهای خارجی تحت اثر یک نیروی فشاری اوّلیّه قرار گرفته است. این نیروی فشاری اوّلیّه که در تار کششی تحت اثر بارهای بهره برداری اعمال می گردد. با نیروهای کششی مذکور متعادل گردیده و موجبات افزایش ظرفیّت باربری، بهبود مشخصات مصالح و طراحی (از قبیل افزایش مقاومت برشی به دلیل اعمال نیروی محوری فشاری، افزایش دوام مصالح، کاهش خیز سازه، کاهش عرض ترک و...) می گردد. هر دو مصالح به کار رفته در این نوع سازه ها به دلیل تأمین مشخصات اشاره شده در بالا دارای خصوصیات مقاومتی بالاتری از مصالح به کار رفته در سازه های بتن مسلح معمولی می باشند. یک نمای کلی از این نوع سازه ها در شکل۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- نمای کلی سازه های بتن پیش تنیده

روابط مربوط به مقدار تنش تار بالا و پائین مقطع در وسط دهانه، بدون در نظر گرفتن افت در نیروی پیش تنیدگی به ترتیب با توجه به روابط (1−1) و (2−1) ارائه گردیده است.

$$f_{cut} = \frac{P}{A} - \frac{P.e}{S_t} + \frac{Q.L}{4.S_t} \qquad (1-1)$$

$$f_{cub} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{S_b} - \frac{Q.L}{4.S_b} \qquad (2-1)$$

در روابط بالا P نیروی پیش تنیدگی، A سطح مقطع، e خروج از مرکزیّت تاندون، Q نیروی خارجی اعمال شده بر سازه، L طول تیر، S_t و S_b به ترتیب اساس مقطع در تار بالا و پائین مقطع، و f_{cut} و f_{cub} به ترتیب تنش موجود در تار بالا و پائین مقطع می‌باشند.

- انواع پیش تنیدگی تاندون ها:

۱- عضو بتنی پیش کشیده:

عضو بتنی پیش کشیده عبارت است از یک عضو بتنی که تاندون های فولادی آن قبل از ریختن بتن تحت اثر یک کشش اوّلیّه قرار گرفته‌اند.

۲- عضو بتنی پس کشیده:

عضو بتنی پس کشیده عبارت است از یک عضو بتنی که تاندون های فولادی آن با عبور از غلاف های تعبیه شده در داخل عضو بتنی، بعد از ریختن بتن و کسب مقاومت اوّلیّه بتن، تحت اثر یک کشش ابتدایی قرار گرفته اند. و اگر تاندون پس از کشیده شدن دوغاب ریزی شود، عضو با تاندون چسبیده و در غیر این صورت عضو با تاندون نچسبیده اطلاق می گردد.

- تاندون پیش تنیدگی:

تاندون های پیش‌تنیدگی دارای انواع گوناگونی از قبیل: وایرها[۱]، کابل ها[۲] و میلگردهای با مقاومت بالا[۳] می باشند. و با توجه به مقاومت بالای موجود در آنها، با کشش اوّلیّه توسط جک های هیدرولیکی موجب ایجاد تنش های اولیه در سازه های بتنی پیش تنیده می گردند، که این تنش های اوّلیّه با تنش های بهره برداری به وجود آمده در بتن مقابله می کنند.

تاندون ها بسته به نوع پیش کشیدگی یا پس کشیدگی می‌توانند به شکل مستقیم و یا منحنی شکل (غالباً سهموی) در داخل عضو بتنی واقع گردند. شکل تاندون ها معمولاً با توجه به مشکلات اجرایی در حالت پیش کشیدگی به شکل مستقیم و در طرح های پس کشیدگی تاندون منحنی شکل در نظر گرفته می‌شود. محل قرارگیری این تاندون ها در ناحیهٔ تارهای کششی عضو تحت اثر بارهای بهره برداری می‌باشد.

---

[۱] *Wire*
[۲] *Strand*
[۳] *Bar*

۱-۳- کارهای بتن پیش‌تنیده انجام شده در ایران:

با توجه به پیشرفت های صورت پذیرفته در زمینهٔ تحلیل، طراحی و اجرای سازه های بتن پیش تنیده در ایران، بکارگیری چنین سازه هایی روند رو به رشدی در سال های اخیر از نظر محاسباتی و اجرایی پیش رو گرفته است. از آن جمله می توان به اجرای چنین سازه هایی در پل ها، دال کف ساختمان ها، پی ها و دال های ریخته شده بر روی زمین، مهار خاک، مخازن بتنی و اسکله ها اشاره نمود.

از این قبیل کارهای اجرایی مختصراً می‌توان به برج های مسکونی کوه نور اصفهان، پارکینگ مجتمع تجاری کاشان، پل کابلی کارون اهواز با دهانهٔ ۱۰۰ متر ، پل شیرین شهر بر روی رودخانهٔ کارون، پل آزمایش تهران - سرخه حصار، مخازن نفت مارون در امیدیهٔ اهواز، اسکلهٔ شهید رجایی بندر عباس و ... اشاره نمود.

با توجه به پیشرفت های اجرایی چنین سازه هایی و نیاز بیش از پیش به لوازم و تجهیزات اجرایی آنها تولید این لوازم در داخل کشور از اهمیّت دو چندانی برخوردار گردیده است، چنان که برخی از تولیدکنندگان داخلی اقدام به تولید برخی از این ابزارآلات مانند تاندون های پیش‌تنیدگی و غلاف ها وگیره های به کار رفته در این نوع سازه ها نموده اند. امید آن است که با سرمایه گذاری داخلی در زمینهٔ تولید سایر ابزارآلات مورد استفاده در این نوع سازه ها مانند جک های هیدرولیکی کشندهٔ تاندون ها و بهبود کیفیّت تولیدات داخلی و کاهش هزینه های تولیدی استفاده از ابزارآلات داخلی روند رو به رشدی داشته باشد.

۱-۴- مزایا و معایب سازه های بتن پیش‌تنیده:

- مزایای سازه های بتن پیش‌تنیده در مقایسه با سازه های بتن مسلح:

۱. وزن تیر به دلیل استفاده حداکثر از ظرفیت مصالح بکار رفته به ویژه بتن کاهش می‌یابد.

۲. ترک های به وجود آمده تحت اثر بارهای بهره‌برداری به ویژه در کلاس یک طراحی کاهش قابل توجهی دارد.

۳. عرض ترک‌های به وجود آمده در بتن کاهش می‌یابد؛ و در نتیجهٔ کاهش نفوذ مواد مهاجم، خصوصیّات مصالح حفظ گردیده و دوام مصالح افزایش می‌یابد.

۴. مقاومت برشی تحت اثر اعمال نیروی پیش‌تنیدگی و با توجه به عملکرد نیروهای محوری افزایش می‌یابد.

۵. خیز به وجود آمده در تیر تحت اثر بارهای بهره‌برداری به دلیل وجود خیز منفی ناشی از اعمال نیروی پیش تنیدگی کاهش می‌یابد.

۶. ضخامت و ارتفاع مورد نیاز برای اجرای طرح ها کاهش می یابد و باعث بهبود مشخصات معماری آنها می‌گردد.

۷. قابلیّت اجرای دهانه های بلند افزایش می‌یابد.

۸. ارتفاع طبقات به دلیل کاهش ضخامت دال مورد نیاز کاهش می‌یابد.

۹. طول عمر سازه به دلیل بهبود مشخصات طرح افزایش می‌یابد.

- معایب سازه های بتن پیش‌تنیده در مقایسه با سازه های بتن مسلح:

۱. هزینه های مربوط به مصالح به کار رفته و نحوهٔ اجرا (اعم از جک ها، تاندون ها، قالب بندی و...) افزایش می یابد.

۲. باعث لزوم افزایش دقت و کنترل های به کار رفته برای سنجش میزان مشخصات مصالح (شامل مقاومت مشخصهٔ بتن، مقدار کشش اولیّه تاندون و...) می‌گردد.

۳. دامنهٔ محاسبات انجام شده برای کنترل صحّت رعایت ضوابط طراحی را وسعت می‌بخشد.

فصل دوم:

اصول و روش های بهینه سازی و کارهای انجام شده

۲-۱- تعاریف:

- فضای جستجو[۱]:

فضای جستجو عبارت است از مجموعه‌ای که توسط متغیرهای طراحی مشخص می گردد؛ و فضایی می‌باشد که نقاط خاصی از آن را برای انجام محاسبات با هدف رسیدن به جواب بهینهٔ طراحی انتخاب می کنیم، این فضا شامل تمامی حالت های ممکن برای یک فرآیند طراحی می گردد. وقتی که یک مسأله را حل می کنیم هدف ما پیدا کردن بهترین جواب از میان جواب های مختلف است؛ و هر جواب می‌تواند با مقداری که بیانگر مناسب[۲] بودن آن است، نشان داده شود.

- تابع هدف[۳]:

تابع هدف عبارت است از انجام مجموعه‌ای محاسبات برای رسیدن به اهداف متفاوت از جمله دستیابی به حداقل هزینه، وزن، خیز، سطح مقطع و یا دست یافتن به حداکثر حجم، ظرفیت مصالح، کارایی، دوام و... می باشد؛ که نخستین نیاز یک فرآیند بهینه سازی است و مطابق با آن هدف اصلی از بهینه سازی (حداکثر یا حداقل نمودن تابع هدف) تعیین می گردد. در بیشتر موارد تابع هدف مرتبط با هزینهٔ اجرایی طرح در نظر گرفته می‌شود که تابع هزینه[۴] اطلاق می گردد. باید اشاره نمود که در برخی موارد می‌توان از این توابع به طور همزمان و وابسته به هم استفاده نمود؛ آن چنان که به طور مثال می توان توابع هدف هزینه، ارتفاع و وزن سازه را با هم در نظر گرفت.

---

[۱] *Search space*
[۲] *Fitness*
[۳] *Objective Function*
[۴] *Cost Function*

- مینیمم یا ماکسیمم موضعی:

مینیمم یا ماکسیمم موضعی عبارت است از حداقل یا حداکثر یک تابع در بازهٔ پیوسته و محدود از یک فضای جستجو که توسط داده های طراحی تعیین می گردد.

- مینیمم یا ماکسیمم مطلق:

مینیمم یا ماکسیمم مطلق عبارت است از حداقل یا حداکثر یک تابع در بازهٔ پیوسته و مورد قبول از یک فضای جستجو که می‌تواند شامل چندین مینیمم یا ماکسیمم موضعی گردد.

- بهینه سازی:

بکارگیری حداقل امکانات برای دستیابی به حداکثر بهروری یک طرح را طراحی بهینه می نامند. و همچنین جستجو برای جواب بهینه عبارت از پیدا کردن اکسترمم در فضای جستجو می‌باشد؛ که این فرآیند جستجو را بهینه سازی می نامند.

طبق تعریف ارائه شده توسط *Frangopol* [1]، با توجه به اینکه منابع مالی در دسترس برای ساخت، بهره برداری، نگهداری، بازرسی، تعمیر، تجدید و دیگر الزامات مورد نیاز در عمر مورد انتظار برای یک سیستم سازه‌ای معمولاً محدود می‌باشد. یک توجه جدی برای بهره برداری از این منابع به شیوه‌ای که بیشترین سودمندی را برای جامعه داشته باشد الزامی به نظر می رسد؛ که هدف اصلی از بهینه سازی رسیدن به بهترین جواب ممکن برای بیشترین سودمندی طرح می‌باشد.