بِسْمِ اللّهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيمْ

به‌نام خداوند جان و خرد کزین برتر اندیشه برنگذرد

۲۲۲۵

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تاسیسه مهارت

۱۳۷۹/۱۸/ ۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی ـ بخش عمران

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش :

مهندسی سازه

-8408

موضوع :

بهینه سازی تیرهای سراسری پیش تنیده

نگارش :

محسن حیدری

اساتید راهنما :

دکتر عیسی سلاجقه

دکتر علی اکبر مقصودی

آبان ماه سال ۱۳۷۷

۳۱۲۲۵

به نام خدا

این پایان‌نامه
به عنوان یکی از شرایط احراز درجهٔ کارشناسی ارشد
به
بخش مهندسی عمران دانشکدهٔ فنی دانشگاه شهید باهنرکرمان
تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دورهٔ مزبور شناخته نمی‌شود.

نام و نام خانوادگی **امضاء**

دانشجو: محسن حیدری

اساتید راهنما: دکتر عیسی سلاجقه- دکترعلی اکبر مقصودی

داور ۱: دکتر علی کاوه

داور ۲: دکتر حامد صفاری

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مؤلف است.

تقدیم به :

پدر و مادر فداکار

همسر مهربان

و خانواده عزیزم

قدردانی

اینک به یاری پروردگار کار تدوین این پایان‌نامه به پایان رسید. پرواضح است که این مهم بدون مساعدت و راهنماییهای ارزشمند اساتید ارجمند **آقایان دکتر عیسی سلاجقه و دکتر علی‌اکبر مقصودی** ممکن نمی‌شد. ادب حکم می‌کند که مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به استاتید عزیزم که با راهنماییهای راهگشای خود موجبات به ثمر رسیدن این پایان‌نامه را فراهم آورده و صمیمانه بنده حقیر را یاری فرمودند و یک عمر رهین منت خویش ساختند، اعلام نمایم.

با تشکر و سپاس فراوان از خانواده بسیار عزیزم بخصوص پدر و مادر عزیزتر از جانم که با دعای خودشان موجبات امیدواری و دلگرمی فرزندشان را در طول دوران تحصیل فراهم ساختند. این حقیر طول عمر زیاد و سلامتی ایشان را از درگاه حضرت حق خواهانم.

همچنین از آقایان "دکتر علی کاوه" و "دکتر حامد صفاری"، اعضای هیئت داوری، به خاطر پندهای ارزنده و راهنماییهای بسیار مؤثرشان جهت پربار شدن این مجموعه و نیز از "مرکز بین‌المللی علوم و علوم محیطی و تکنولوژی پیشرفته کرمان" که در این زمینه بنده را یاری نموده‌اند، سپاسگزارم.

در پایان سپاس صمیمانه خویش را به تمامی دوستان و آشنایانی که به نحوی یاریگر نگارنده بودند، ابراز می‌دارم.

بهینه سازی تیرهای سراسری پیش تنیده

چکیده :

در دهانه های بزرگ وبارهای زیاد، محدودیتهایی از قبیل وزن و ابعاد مقطع در یک تیر بتنی، از بین دو گزینه بتن مسلح معمولی و پیش تنیده، ما را به سوی انتخاب پیش تنیدگی سوق می دهد. زیرا در یک تیر پیش تنیده، وجود نیروهای پیش تنیدگی تنشهایی در خلاف جهت تنشهای بهره برداری ایجاد می کند که در نهایت سبب کاهش تنشهای داخلی و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری مقطع خواهدشد[۱].

امروزه کاربرد اعضای پیش تنیده به نحو چشمگیری رواج پیدا کرده است به گونه ای که در ساخت طیف وسیعی از اعضای سازه ای، از تیرچه های سبک سقف گرفته تا تیرهای اصلی پلها و سدهای با دهانه های بسیار بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند.

پیچیدگی آنالیز تیرهای سراسری پیش تنیده نسبت به تیر پیش تنیده ساده به دلیل وجود لنگرهای ثانویه ناشی از واکنشهای تکیه گاههای میانی، علاوه بر لنگرهای اولیه ناشی از نیروی پیش تنیدگی، و نیز مشکلات اجرایی تیرهای سراسری باعث شده تا بیشتر از تیرهای پیش تنیده ساده استفاده شود. از طرف دیگر هزینه بالای اجرای سیستمهای پیش تنیدگی ضرورت دست یابی به یک طرح با کمترین هزینه را ایجاب می کند.

این پایان نامه به طرح بهینه تیرهای سراسری پیش تنیده با دو مقطع متفاوت، می پردازد. برای این منظور هزینه ساخت تیر سراسری که شامل هزینه های بتن ریزی، قالب بندی، خاموتها و فولاد پیش تنیدگی است، به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است که باید کمینه گردد.

قیود اصلی حاکم بر مسئله بهینه سازی مذکور در این پایان نامه شامل حدود مربوط به کنترل تنشهای ارتجاعی در حالتهای انتقال و بهره برداری، مقاومت نهایی، طراحی برشی و تغییرشکل تیر، مطابق با آیین نامه ACI، است[۲] قیود کرانه ای، حدود بالا و پایین متغیرهای طراحی را در بر

می‌گیرد. همچنین ابعاد مقطع عرضی تیر، سطح مقطع فولادهای پیش‌تنیدگی و مسیر آنها، سطح مقطع خاموتها و نیروی پیش‌تنیدگی اولیه به عنوان متغیرهای طراحی درنظرگرفته شده‌اند. کلیه عوامل موثر در افت نیروی پیش‌تنیدگی اعم از اتلافات آنی و اتلافات زمانی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این پایان‌نامه علاوه بر مقایسه هزینه ساخت مقاطع پیش‌تنیده جزئی و پیش‌تنیده کامل، حساسیت طرحهای بهینه نسبت به پارامترهای طراحی بررسی و به صورت گرافهایی ارائه شده‌است.

با استفاده از یک برنامه کامپیوتری که به زبان فرترن برای تحلیل و طراحی تیرهای سراسری پیش‌تنیده تهیه شده‌است و به کمک برنامه بهینه‌سازی *DOT*، مثالهای متعددی مورد تحلیل قرار گرفته. در نهایت نتایج به دست آمده مورد نقد و بررسی قرارگرفته‌است[۳].

این پایان‌نامه در پنج فصل تهیه شده است. فصل اول به اصول نظری پیش‌تنیدگی می‌پردازد و نحوه محاسبه تنشها در مقاطع مختلف تحت بارگذاریهای متفاوت، محاسبه افت نیروی پیش‌تنیدگی تحت عوامل گوناگون، تعیین ظرفیت برشی و خمشی نهائی مقاطع پیش‌تنیده و محاسبه تغییرشکل تیر تحت بارگذاریهای متفاوت در دو حالت انتقال نیروی پیش‌تنیدگی و بهره‌برداری را بیان می‌کند. روابط و حدود لازم برای طراحی مقاطع پیش‌تنیده مطابق آئین‌نامه *ACI* می‌باشد. در فصل دوم، تئوری مربوط به الگوریتمهای استفاده‌شده در برنامه بهینه‌سازی *DOT* بطور خلاصه ارائه می‌شود. فصل سوم به مدلسازی تیرهای سراسری پیش‌تنیده برای تعیین معادلات توابع هدف و قیود می‌پردازد. در فصل چهارم برنامه کامپیوتری تهیه شده برای تحلیل و طراحی تیرهای سراسری پیش‌تنیده و نحوه استفاده از آن بیان شده‌است. و بالاخره در فصل پنجم مثالهای متعددی ارائه شده ونتایج ناشی از آنها مورد نقد وبررسی قرارگرفته‌است.

فهرست مطالب

عنوان ═══ صفحه

چکیده ..... (و)

فصل اول: اصول نظری پیش‌تنیدگی

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۱-۱ مفهوم پیش‌تنیدگی ۲
۱-۲ تاریخچه ۷
۱-۳ مزایا و معایب پیش‌تنیدگی ۸
۱-۳-۱ مزایای بتن پیش‌تنیده ۸
۱-۳-۲ معایب بتن پیش‌تنیده ۸
۱-٤ روشهای پیش‌تنیدگی ۹
۱-٤-۱ مقایسه سیستمهای پیش‌تنیدگی ۹
۱-٥ انواع پیش‌تنیدگی ۱۰
۱-٦ اتلافات و کاهش نیروی پیش‌تنیدگی ۱۰
۱-٦-۱ اتلافات آنی ۱۱
۱-٦-۲ اتلافات زمانی ۱۲
۱-٦-۳ محاسبه افتهای پیش‌تنیدگی ۱۳
۱-٦-۳-۱ محاسبه افتهای آنی ۱۳
۱-٦-۳-۱-۱ افت ناشی از لغزش گیره‌ها ۱۳
۱-٦-۳-۱-۲ افت ناشی از اصطکاک فولاد با جدارهٔ غلاف ۱٤
۱-٦-۳-۱-۳ افت ناشی ازکوتاه شدن ارتجاعی بتن ۱٦
۱-٦-۳-۲ محاسبه افتهای زمانی ۱۷
۱-٦-۳-۲-۱ افت ناشی از خزش بتن ۱۷
۱-٦-۳-۲-۲ افت ناشی از انقباض بتن ۲۰
۱-٦-۳-۲-۳ افت ناشی از سست‌شدگی فولاد ۲۱
۱-۷ تیرهای سراسری پیش‌تنیده ۲۲
۱-۷-۱ کلیات ۲۲
۱-۷-۲ مفهوم بار معادل ۲۵

۱-۷-۳ تبدیل خطی و مسیر هماهنگ ۲۷
۱-۷-۳-۱ تبدیل خطی ۲۷
۱-۷-۳-۲ مسیر هماهنگ یا فولاد هماهنگ ۲۷
۱-۸ توزیع تنشهای ارتجاعی ۲۸
۱-۸-۱ مرحله انتقال ۲۸
۱-۸-۲ مرحله بهره‌برداری ۲۹
۱-۹ تنشهای مجاز بر مبنای *ACI* ۳۰
۱-۹-۱ بخش *18.4* آیین‌نامه *ACI*: تنشهای مجاز بتن، اعضاء خمشی ۳۰
۱-۹-۲ بخش *18.5* آیین‌نامه *ACI*: تنشهای مجاز فولاد پیش‌تنیدگی ۳۰
۱-۱۰ مقاومت نهایی خمش تیرهای پیش‌تنیده ۳۱
۱-۱۰-۱ کلیات ۳۱
۱-۱۰-۲ منحنی‌های تنش-کرنش ۳۲
۱-۱۰-۳ محاسبه مقاومت نهایی خمشی مقاطع مستطیلی و بالدار ۳۳
۱-۱۰-۳-۱ تعیین f_{ps} به روش دقیق سازگاری کرنشها در مقاطع مستطیلی ۳۴
۱-۱۰-۳-۲ تعیین f_{ps} به روش آیین‌نامه *ACI* در مقاطع مستطیلی ۳۶
۱-۱۰-۳-۳ تعیین f_{ps} به روش دقیق سازگاری کرنشها در مقاطع بالدار ۳۸
۱-۱۰-۳-٤ تعیین f_{ps} به روش آیین‌نامه *ACI* در مقاطع بالدار ۳۹
۱-۱۱ طراحی اولیهٔ تیرهای پیش‌تنیده بر مبنای تنشهای مجاز ٤۰
۱-۱۱-۱ تیرها با خروج از مرکزیت متغیر ٤۰
۱-۱۱-۲ تیرها با خروج از مرکزیت ثابت ٤۱
۱-۱۲ کنترل خیز در تیرهای پیش‌تنیده ٤۲
۱-۱۲-۱ کلیات ٤۲
۱-۱۲-۲ تغییرشکل در مرحله انتقال ٤۳
۱-۱۲-۳ تغییرشکل در مرحله بهره‌برداری ٤٤
۱-۱۳ طراحی تیرهای پیش‌تنیده در مقابل برش ٤٦

فصل دوم: تئوری بهینه سازه‌ها

۲-۱ مقدمه ۵۰
۲-۲ مفاهیم اساسی بهینه‌سازی ۵۰
۲-۳ یک مثال فیزیکی ۵۲
۲-٤ الگوریتم جهتهای امکان‌پذیر اصلاح‌شده ٦۰

۲-۵ یافتن جهت جستجو ٦١
۲-۵-۱ بدون قید فعال یا نقض‌شده ٦٤
۲-۵-۲ قیدهای فعال اما بدون قیدهای نقض‌شده ٦٦
۲-۵-۳ یک یا چند قید نقض‌شده ٦٧
۲-٦ جستجوی یک بعدی ٧٠
۲-٦-۱ پیداکردن کرانه‌های α^* ٧٢
۲-٦-۲ درونیابی برای α^* ٧٤
۲-۷ همگرایی به بهینه ٧٨
۲-۷-۱ **تکرارهای** حداکثر ٧٨
۲-۷-۲ حل امکان‌پذیر وجود ندارد ٧٨
۲-۷-۳ ارضاء شرایط کان-تاکر ٧٩
۲-۸ برنامه‌ریزی خطی متوالی ٨٠
۲-۸-۱ ارائه الگوریتم کلی ٨١

فصل سوم: مدلسازی تیرهای سراسری پیش‌تنیده

۳-۱ مقدمه ٨٤
۳-۲ تعیین تابع هدف و بردار متغیرهای طراحی تیر سراسری پیش‌تنیده ٨٤
۳-۲-۱ تنظیم تابع هدف کلی ٨٤
۳-۲-۲ تعیین بردار متغیرهای طراحی ٨٥
۳-۲-۲-۱ متغیرهای طراحی مربوط به خصوصیات هندسی مقطع تیر پیش‌تنیده .. ٨٥
۳-۲-۲-۲ متغیرهای طراحی جهت تعیین معادله مسیر فولادهای پیش‌تنیدگی ٨٦
۳-۲-۲-۳ متغیر طراحی مربوط به نیرو و سطح مقطع فولادهای پیش‌تنیدگی ٨٧
۳-۲-۲-٤ متغیر طراحی مربوط به خاموتها ٨٧
۳-۲-۳ تابع هدف عملیات بتن‌ریزی ٨٧
۳-۲-٤ تابع هدف عملیات قالب‌بندی ٨٨
۳-۲-۵ تابع هدف عملیات پیش‌تنیدگی ٨٨
۳-۲-۵-۱ تعیین طول فولادهای پیش‌تنیدگی ٨٨
۳-۲-۵-۱-۱ تعیین معادله مسیر فولادهای پیش‌تنیدگی ٨٨
۳-۲-۵-۱-۲ محاسبه طول فولادهای پیش‌تنیدگی ٨٩
۳-۲-۵-۲ تعیین سطح مقطع فولادهای پیش‌تنیدگی ٩٢
۳-۲-۵-۳ تعیین تابع هدف عملیات پیش‌تنیدگی ٩٣

۳-۲-٦ تابع هدف مربوط به طراحی برشی ۹۳
۳-۳ تعیین قیود حاکم بر طرح ۹٤
۳-۳-۱ انواع قید ۹٤
۳-۳-۱-۱ قیود رفتاری ۹٤
۳-۳-۱-۲ قیود هندسی یا کرانه‌ای ۹٤
۳-۳-۲ تعیین معادلات قیدی کنترل تنشهای ارتجاعی ۹۵
۳-۳-۳ تعیین معادلات قیدی مربوط به مقاومت نهائی ۹٦
۳-۳-٤ تعیین معادلات قیدی مربوط به طراحی برشی ۹۷
۳-۳-۵ تعیین معادلات قیدی مربوط به تغییر شکل تیر ۹۸
۳-۳-۵-۱ محاسبه تغییر شکل در حالت انتقال ۹۹
۳-۳-۵-۲ محاسبه تغییر شکل تیر در حالت بهره‌برداری ۹۹
۳-۳-٦ تعیین معادلات قیدی مربوط به قیود کرانه‌ای (هندسی) ۱۰۰
۳-۳-۷ جمع‌بندی کلیه قیود حاکم بر طرح ۱۰۱
۳-٤ مدلسازی تیر سراسری پیش‌تنیده جهت طراحی برشی ۱۰۲
۳-٤-۱ تعیین ظرفیت برشی اسمی بتن (V_c) ۱۰۳
۳-٤-۱-۱ تعیین (V_{ci}) ۱۰۳
۳-٤-۱-۲ تعیین (V_{cw}) ۱۰٤
۳-٤-۲ محاسبه فاصله بین خاموتها S_{ij} ۱۰٤

فصل چهارم: شرح برنامه کامپیوتری تهیه شده

٤-۱- تشریح زیربرنامه‌ها و برنامه‌های تهیه‌شده ۱۰۷
٤-۱-۱- معرفی زیربرنامه *START* ۱۰۷
٤-۱-۲- معرفی زیربرنامه *SPROR* ۱۰۷
٤-۱-۳- معرفی زیربرنامه *YSPAN* ۱۰۸
٤-۱-٤- معرفی زیربرنامه *EQLOADS* ۱۰۹
٤-۱-۵- معرفی زیربرنامه *ANALYSE* ۱۰۹
٤-۱-٦- معرفی زیربرنامه *ESTARS* ۱۱۳
٤-۱-۷- معرفی زیربرنامه *LOSSE* ۱۱۳
٤-۱-۸- معرفی زیربرنامه *DEFLECTS* ۱۱٦
٤-۱-۹- معرفی زیربرنامه *MUU* ۱۱٦
٤-۱-۱۰- معرفی زیربرنامه *STRESSEL* ۱۱۷

۴-۱-۱۱- معرفی زیربرنامه SHEAR ۱۲۱
۴-۱-۱۲- معرفی زیربرنامه LTENDON ۱۲۲
۴-۱-۱۳- معرفی زیربرنامه OBJECTIVE ۱۲۲
۴-۱-۱۴- معرفی زیربرنامه CONS ۱۲۳
۴-۱-۱۵- معرفی زیربرنامه SCREEN ۱۲۳
۴-۱-۱۶- معرفی زیربرنامه PSOUT ۱۲۳
۴-۱-۱۷- معرفی زیربرنامه OPTINT ۱۲۴
۴-۱-۱۹- معرفی زیربرنامه OUTPUT ۱۲۶
۴-۲- تشریح برنامه کامپیوتری OPCB ۱۲۶
۴-۲-۱- معرفی برنامه اجرای OPCB.EXE ۱۲۷
۴-۲-۲- معرفی برنامه اجرائی ANALYSE.EXE ۱۲۹
۴-۲-۳- معرفی برنامه اجرائی DESIGN.EXE ۱۳۳
۴-۲-۴- معرفی برنامه اجرائی OPTLOOP.EXE ۱۳۵
۴-۳- نحوه تشکیل فایل داده‌های مورد نیاز برنامه OPCB ۱۳۷
۴-۳-۱- فایل اطلاعاتی PSBEAM ۱۳۷
۴-۳-۲- فایل اطلاعاتی OPTBEAM ۱۴۱

فصل پنجم : حل مثال و نتیجه‌گیری

۵-۱- مقدمه ۱۴۴
۵-۲- مثالهای مربوط به سیستم پس‌کشیدگی ۱۴۴
۵-۲-۱- مثال اول ۱۴۴
۵-۲-۲- مثال دوم ۱۴۸
۵-۲-۳- مثال سوم ۱۵۴
۵-۲-۴- مثال چهارم ۱۵۵
۵-۲-۵- مثال پنجم ۱۵۸
۵-۲-۶- مثال ششم ۱۶۲
۵-۳- مثالهای مربوط به سیستم پیش‌کشیدگی ۱۶۵
۵-۴- حساسیت طرحهای بهینه ۱۷۱
۵-۵- نتیجه‌گیری ۱۷۴
ضمیمه ۱۷۵
فهرست مراجع ۱۹۶

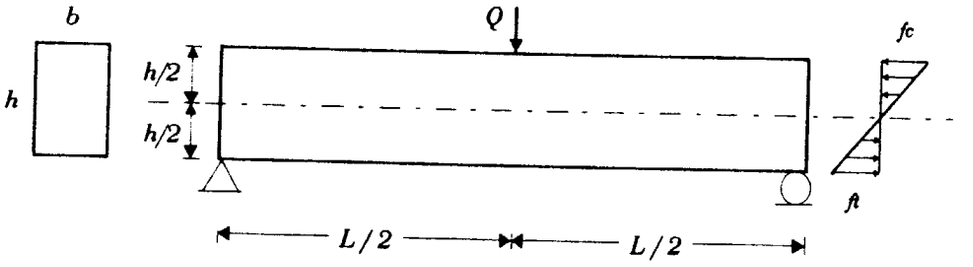
فصل اول

اصول نظری
پیش تنیدگی

۱ـ۱ـ مقدمه

۱ـ۱ـ۱ـ مفهوم پیش تنیدگی[1]

پیش‌تنیدگی عبارت است از ایجاد یک تنش ثابت در یک عضو بتنی به نحو دلخواه و به اندازهٔ لازم، به طوریکه در اثر این تنش، مقداری از تنش‌های ناشی از بارهای مرده و زنده در این عضو خنثی شده و درنتیجه مقاومت باربری آن افزایش پیدا می‌کند. هدف اصلی از پیش‌تنیده کردن یک عضو بتنی، محدودکردن تنشهای کششی و ترکهای ناشی از لنگر خمشی تحت تأثیر بارهای وارده در آن عضو می‌باشد. برای مثال اگر یک تیر فقط تحت تأثیر لنگر خمشی ناشی از بار مرده و زنده باشد، همیشه در پائین تیر کشش وجود خواهد داشت، حال اگر نیروی فشاری P را در مرکز ثقل سطح مقطع تیر از دو طرف وارد کنیم، می‌توان تنش کششی را در پائین تیر کاهش داده، و یا اینکه به کلی آن را از بین برد و تبدیل به تنش فشاری کرد. چون مقاومت بتن در کشش حدود یک دهم مقاومت فشاری آن است، بنابراین با ازبین‌بردن تنش کششی در یک تیر بتنی می‌توان مقاومت آن را مقدار زیادی افزایش داد. به عنوان مثال در شکلهای زیر مفهوم پیش‌تنیدگی ساده و گویا توضیح داده می‌شود [۱]:



شکل ۱ـ۱- تیر بتنی غیر مسلح تحت بار متمرکز در وسط دهانه.

در شکل (۱ـ۱) یک تیر بتنی غیرمسلح است که تحت نیروی متمرکز Q در وسط دهانه قرار گرفته، نشان داده شده‌است. تنش کششی ناشی از این بارگذاری در وسط دهانه، برابر مقدار زیر

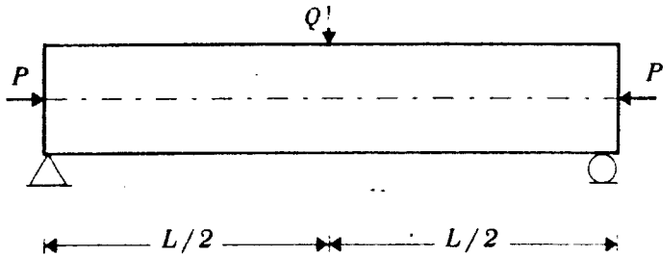
---

1. Prestressing

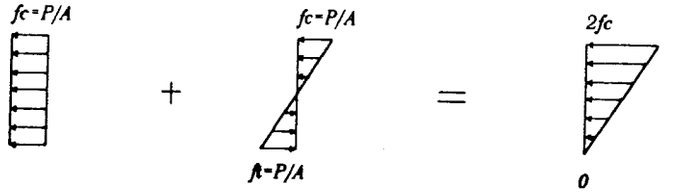
است که باعث بروز ترک در تیر مذکور می‌شود (از وزن تیر صرفنظر شده‌است).

$$f_1 = \frac{M.C}{I} = \frac{(QL/4)\ (h/2)}{b\,h^3/12} = \frac{3QL}{2b.h^2} = \frac{1.5Q.L}{A.h} \quad \text{۱-۱}$$

شکل (۱-۲) همان تیر شکل (۱-۱) است که علاوه‌بر نیروی متمرکز Q در وسط دهانه، تحت اثر دو نیروی متمرکز P از دو طرف تیر در راستای مرکز هندسی مقطع بتنی (بدون خروج از مرکزیت) قرارگرفته است و مشاهده می‌شود که چنانچه نیروی P را برابر $1.5Q.L/h$ اختیارکنیم کلیهٔ تنشهای کششی در پائین تیر حذف خواهند شد.



(الف)



د)منتج تنشها ج)توزیع تنش ناشی از بار Q ب)توزیع تنش ناشی از نیروی P

شکل ۱-۲- تیر بتنی شکل (۱-۱) با اعمال نیروی پیش تنیدگی بدون خروج از مرکزیت.

شکل (۱-۳) تأثیر خروج از مرکزیت نیروی پیش تنیدگی در تیرهای پیش تنیده را نشان می‌دهد. همانگونه که در اشکال (۱-۲-د) و (۱-۳-د) مشاهده می‌شود ترکیب تنشها در هر دو حالت