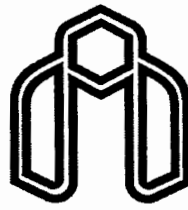


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه

مدلسازی و بهینه سازی سقفهای متداول در ایران با استفاده از روشهای عددی

استاد راهنما : دکتر رضا نادری

ارائه دهنده : عزت شجاع یامی

اردیبهشت ۸۵

با سپاس گزاری

از استاد محترم جناب آقای دکتر رضا نادری که در مدت انجام پروژه از هر گونه راهنمایی مفید و ارزشمند خود دریغ ننمودند و همچنین از همسر گرامی ام که در تمامی مراحل این پروژه همراه من بودند و از تمامی کسانی که تلاش می کنند تا محیط سالم کسب علم و دانش را فراهم آورند تا در سایه الطاف خداوند متعال دانش پژوهان این مرز و بوم درجات رفیع علم و دانش را فتح کرده و گامی در استیلای انسانیت انسان و استقلال کشور بردارند .

تقديم به :

پدر و مادر عزیز و همسر مهربانم

چکیده

از گذشته نیاز به سر پناه مهمترین دغدغه بشر بعد از نیاز به غذا بوده است و بشر اولیه برای ساخت سر پناهی برای خود پیش از هر چیز به سقف توجه داشته است. علت این امر در این است که سقف بعنوان اولین عضو ساختمان در برخورد با نیروهای خارجی قائم و جانبی می باشد که باید علاوه بر تحمل بارهای خارجی بتواند بارهای فوق را به دیگر اعضای ساختمان از قبیل تیر، ستون و سیستم مهاربند جانبی انتقال دهد. ولی متأسفانه عدم توجه کافی به سقف بدلیل عدم آگاهی از مکانیزم رفتاری و روشهای طراحی صحیح آنها باعث ایجاد اثرات ناخوشایند در آنها از قبیل خیزهای زیاد، لرزش و عدم انتقال صحیح بار به اعضای ساختمان، تحمیل وزن زیاد به ساختمان و نهایتاً خرابی آن می شود. همچنین بعلمت آنکه طراحی صحیح زمان بر و تخصصی است بسیاری از آن رویگردان هستند و بدنبال روشهای کوتاهی هستند که نیاز به اطلاعات تخصصی ندارد از جمله جداول و کتابهای تنظیم شده توسط شرکت‌های مجری سقف که در بعضی موارد دارای کمبودهایی می باشد که استفاده از آنها را دچار اشکال می کند. گذشته از تمام موارد ذکر شده چون طراحی سقف دارای متغیرهای انتخابی متعددی می باشد و تمام توجه طراح به این امر است که متغیرهای انتخاب شده جوابگوی طرح و کنترل‌های آیین نامه ای باشد از این رو در اغلب موارد این طراحی یک طراحی بهینه نمی باشد و از آنجا که در ساختمانهای متداول، سقفها حدود ۸۰٪ تا ۹۰٪ وزن سازه را تشکیل می دهد مسئله بهینه یابی در سقفها اهمیت پیدا می کند. همچنین بعلمت آنکه فرایند بهینه یابی سقف عملی پیچیده و زمان بر می باشد، در طراحی دستی نمی توان همزمان به طراحی و بهینه یابی آن پرداخت. از این رو در این پایان نامه ابتدا به بررسی و طراحی صحیح سقفهای متداول در ایران (سقف طاق ضربی، تیرچه بلوک، کامپوزیت و تیرچه فولادی با جان باز) پرداخته می شود سپس طراحی سقفها بصورت یک نرم افزار ارائه گردیده است. بطوری که با وارد کردن اطلاعات اولیه از قبیل طول دهانه، نوع مصالح، بارهای وارده و ... بتوان به راحتی سقف را طراحی نمود. در ادامه با استفاده از یکی از روشهای پیشرفته بهینه یابی به نام روش گرادیان تقلیل یافته در برنامه کامپیوتری Solver به بهینه یابی طراحی این سقفها پرداخته شده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳	مقدمه
	فصل اول : بررسی سقفهای متداول در ایران
۴	۱-۱- سقف طاق ضربی
۴	۱-۱-۱- تصویر کلی سقف طاق ضربی
۴	۱-۱-۲- جزئیات اجرای سقف طاق ضربی
۵	۱-۱-۳- آشنائی با رفتار دینامیکی سقف طاق ضربی
۵	۱-۱-۴- روشهای تقویت سقف طاق ضربی
۶	۱-۲- سقف تیرچه بلوک
۷	۱-۲-۱- تصویر کلی سقف تیرچه بلوک
۷	۱-۲-۲- تیرچه باربر عرضی
۸	۱-۲-۳- جزئیات اجرای سقف تیرچه بلوک
۹	۱-۲-۴- جزئیات اجرای اعضای فرعی سقف تیرچه بلوک
۱۰	۱-۲-۵- مزایا و معایب سقف تیرچه بلوک
۱۱	۱-۳- سقف کامپوزیت
۱۱	۱-۳-۱- تئوری رفتار تیرهای مرکب
۱۴	۱-۳-۲- تصویر کلی سقف کامپوزیت
۱۴	۱-۳-۳- روشهای اجرای سقف کامپوزیت
۱۵	۱-۳-۴- نکات آیین نامه ای سقف کامپوزیت
۱۶	۱-۳-۵- مزایا و معایب سقف کامپوزیت
۱۷	۱-۴- سقف تیرچه فولادی با جان باز
۱۷	۱-۴-۱- تصویر کلی سقف تیرچه فولادی با جان باز

- ۱۸ ۱-۴-۱-۱- تیرچه فولادی با جان باز
- ۱۹ ۱-۴-۲- انواع سقف تیرچه فولادی با جان باز
- ۱۹ ۱-۴-۲-۱- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک
- ۲۰ ۱-۴-۲-۲- سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت
- ۲۰ ۱-۴-۲-۳- سقف تیرچه فولادی با جان باز ضریبی
- ۲۱ ۱-۴-۳- جزئیات اجرای سقف تیرچه فولادی با جان باز
- ۲۱ ۱-۴-۴- جزئیات اجرای اعضای فرعی سقف تیرچه فولادی با جان باز
- ۲۳ ۱-۴-۵- مزایا و معایب سقف تیرچه فولادی با جان باز

فصل دوم : روشهای طراحی تئوریک سقفها

- ۲۴ ۱-۲- طراحی تئوریک سقف طاق ضریبی
- ۲۵ ۲-۲- طراحی تئوریک سقف تیرچه بلوک
- ۲۸ ۲-۳- طراحی تئوریک سقف کامپوزیت
- ۲۸ ۲-۳-۱- طراحی تیرهای مرکب به روش تنش مجاز
- ۳۱ ۲-۳-۲- طراحی تیر مرکب به روش مقاومت نهایی
- ۳۵ ۲-۳-۳- طراحی برشگیرهای تیر مرکب به روش مقاومت نهایی و تنش مجاز.
- ۳۷ ۲-۴- طراحی تئوریک سقف تیرچه فولادی با جان باز
- ۳۷ ۲-۴-۱- طراحی تیرچه های فولادی با جان باز در ترکیب با بتن به روش تنش مجاز
- ۴۰ ۲-۴-۲- طراحی تیرچه های فولادی با جان باز در ترکیب با بتن به روش حد نهایی

فصل سوم : طراحی سقفها بر روی پلان مدل

- ۴۳ ۱-۳- طراحی سقفها بر روی پلان مدل با استفاده از روشهای طراحی موجود
- ۴۳ ۱-۳-۱- طراحی سقف طاق ضریبی بر روی پلان مدل
- ۴۶ ۱-۳-۲- طراحی سقف تیرچه بلوک بر روی پلان مدل
- ۵۱ ۱-۳-۳- طراحی سقف کامپوزیت بر روی پلان مدل
- ۵۸ ۱-۳-۴- طراحی سقف تیرچه فولادی با جان باز بر روی پلان مدل

۶۷	۲-۳- طراحی سقفها با استفاده از نرم افزار
۶۸	۱-۲-۳- برنامه طراحی سقف طاق ضربی
۷۰	۲-۲-۳- برنامه طراحی سقف تیرچه بلوک
۷۲	۳-۲-۳- برنامه طراحی سقف کامپوزیت
۷۲	۱-۳-۲-۳- برنامه طراحی سقف کامپوزیت بدون شمع بندی
۷۲	۲-۳-۲-۳- برنامه طراحی سقف کامپوزیت با شمع بندی
۷۴	۴-۲-۳- برنامه طراحی سقف تیرچه فولادی با جان باز

فصل چهارم : روش بهینه یابی سقفها

۷۶	۱-۴- روشهای بهینه یابی
۷۸	۲-۴- برنامه ریزی خطی
۸۳	۳-۴- برنامه ریزی غیر خطی
۸۳	۱-۳-۴- روشهای جهات امکان پذیر
۸۵	۱-۱-۳-۴- روشهای جهات امکان پذیر زوتندیک
۸۶	۲-۱-۳-۴- روش تصویر گرادیان روزن
۹۰	۲-۳-۴- روش تابع جریمه
۹۱	۴-۴- برنامه ریزی درجه دوم
۹۴	۵-۴- روش بهینه یابی سقفها

فصل پنجم : بهینه یابی سقفها

۹۷	۱-۵- بهینه یابی سقف طاق ضربی
۹۷	۱-۱-۵- بهینه یابی وزن سقف طاق ضربی
۱۰۱	۱-۲-۵- بهینه یابی هزینه سقف طاق ضربی
۱۰۴	۲-۵- بهینه یابی سقف تیرچه بلوک
۱۰۴	۱-۲-۵- بهینه یابی وزن سقف تیرچه بلوک
۱۰۸	۲-۲-۵- بهینه یابی هزینه سقف تیرچه بلوک

۱۱۱	۳-۵- بهینه یابی سقف کامپوزیت
۱۱۱	۳-۱-۵- بهینه یابی سقف کامپوزیت بدون شمع بندی
۱۱۱	۳-۱-۱-۵- بهینه یابی وزن سقف کامپوزیت بدون شمع بندی
۱۱۶	۳-۱-۲- بهینه یابی هزینه سقف کامپوزیت بدون شمع بندی
۱۲۰	۳-۲-۵- بهینه یابی سقف کامپوزیت با شمع بندی
۱۲۰	۴-۵- بهینه یابی سقف تیرچه فولادی با جان باز
۱۲۰	۴-۱-۵- بهینه یابی وزن سقف تیرچه فولادی با جان باز
۱۲۶	۴-۲- بهینه یابی هزینه سقف تیرچه فولادی با جان باز
	فصل ششم : نتایج بهینه یابی سقفها
۱۳۱	۶-۱- نتایج طراحی بهینه وزن سقف طاق ضربی
۱۳۵	۶-۲- نتایج طراحی بهینه وزن سقف تیرچه بلوک
۱۴۰	۶-۳- نتایج طراحی بهینه وزن سقف کامپوزیت
۱۴۶	۶-۴- نتایج طراحی بهینه وزن سقف تیرچه فولادی با جان باز
۱۵۴	۶-۵- مقایسه نتایج طراحی بهینه وزنی سقفها
	فصل هفتم : مقایسه قاب مدل با سقفهای بهینه
۱۵۸	۷-۲- صلبیت سقفها
۱۵۹	۷-۲-۱- تاثیر حفره های بزرگ بر صلبیت سقف
۱۶۰	۷-۲-۲- تاثیر ساختمانهای بلند بر روی سازه وسیع کم ارتفاع
۱۶۱	۷-۲-۳- خطای فرض دیافراگم صلب
۱۶۲	۷-۳- تاثیر سقفهای بهینه در قاب مدل
۱۶۳	۷-۳-۱- قاب مدل با سقف بهینه طاق ضربی
۱۶۵	۷-۳-۲- قاب مدل با سقف بهینه تیرچه بلوک

۱۷۰	۷-۳-۳- قاب مدل با سقف بهینه کامپوزیت
۱۷۳	۷-۳-۴- قاب مدل با سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز
۱۷۸	۷-۴- مقایسه قابهای مدل با پوششهای بهینه
	فصل هشتم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۸۴	۸-۱- نتیجه گیری
۱۸۶	۸-۲- نتیجه گیری
	پیوست ها
۱۸۸	پیوست ۱- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی وزن سقف طاق ضربی
۱۸۹	پیوست ۲- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی هزینه سقف طاق ضربی
۱۹۰	پیوست ۳- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی هزینه سقف تیرچه بلوک
۱۹۱	پیوست ۴- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی هزینه سقف تیرچه بلوک
۱۹۲	پیوست ۵- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی هزینه سقف کامپوزیت
۱۹۳	پیوست ۶- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی هزینه سقف کامپوزیت
۱۹۴	پیوست ۷- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی هزینه سقف تیرچه فولادی با جان باز
۱۹۵	پیوست ۸- خروجی برنامه Solver برای بهینه یابی هزینه سقف تیرچه فولادی با جان باز
۱۹۶	مراجع و ماخذ

فهرست علائم اختصاری و نشانه ها

a :	عمق بلوک تنش مستطیلی بتن
A_f :	مساحت بال تیر فولادی
A_w :	مساحت جان تیر فولادی
A_{sb} :	سطح مقطع یال تحتانی تیرچه فولادی
A_{st} :	سطح مقطع یال فوقانی تیرچه فولادی
A_s :	سطح میلگرد کششی تیرچه خرپائی
A_b :	سطح مقطع تیر فولادی
A_t :	سطح میلگرد برشی تیرچه خرپائی
b_E :	عرض موثر دال بتنی
b_1, b_2, b_0 :	فاصله مرکز به مرکز تیرها
b_f :	عرض بال تیر فولادی
b_w :	عرض جان تیرچه
β :	زاویه میلگرد برشی تیرچه با افق
c :	ضریب خزش بتن
d :	ارتفاع تیر فولادی
d_1' :	فاصله مرکز بلوک مستطیل تنش از مرکز سطح یال تحتانی تیرچه فولادی
d_2' :	فاصله مرکز بلوک مستطیل تنش از مرکز سطح یال فوقانی تیرچه فولادی
DL :	بار مرده وارد بر سقف
E_s :	مدول الاستیسیته فولاد
E_c :	مدول الاستیسیته بتن
E_{ce} :	مدول الاستیسیته تبدیل یافته بتن
f_{ts} :	ماکزیمم تنش کششی تیر فولادی تحت اثر بارهای قائم
F_{ts} :	تنش کششی مجاز تیر فولادی

f_v : ماکزیمم تنش برشی تیر

F_v : تنش برشی مجاز تیر

f_{cs} : ماکزیمم تنش فشاری تیر فولادی قبل از گیرش بتن تحت اثر بارهای قائم

F_{cs} : تنش فشاری مجاز تیر فولادی قبل از گیرش بتن

f_{cc} : ماکزیمم تنش فشاری تیر مرکب تحت اثر بارهای قائم

f_{tc} : ماکزیمم تنش کششی تیر مرکب تحت اثر بارهای قائم

f'_c : مقاومت فشاری بتن

F_a : تنش فشاری مجاز اعضای قطری تیرچه فولادی

F_y : تنش جاری شدگی فولاد

g : شتاب ثقلی زمین

h_c : ضخامت دال بتنی

H_s : ارتفاع برشگیر گل میخ

I_c : ممان اینرسی تیر مرکب با مقطع معادل فولادی

I_{ce} : ممان اینرسی تبدیل یافته تیر مرکب

I_s : ممان اینرسی تیر فولادی

L : طول دهانه

L_r : فاصله بین کلاف های میانی

LL : بار زنده وارد بر سقف

L_c : طول برشگیرناودانی

M_{max} : لنگر خمشی ماکزیمم تیر تحت اثر بارهای قائم

$M_{max(D1)}$: لنگر خمشی ماکزیمم تیر تحت اثر بارهای قائم قبل از گیرش بتن

$M_{max(D2)}$: لنگر خمشی ماکزیمم تیر تحت اثر بارهای قائم بعد از گیرش بتن

$M_{max(L)}$: لنگر خمشی ماکزیمم تیر تحت اثر بارهای زنده

M_n : لنگر مقاوم اسمی مقطع مرکب

M_{sh} : لنگرایجادشده درمقطع مرکب ناشی ازافت بتن
 $\overline{m}$: جرم واحد طول تیر
 n : نسبت مدول الاستیسسته فولاد به بتن
 N : تعداد برشگیردر طول دهانه
 N_{sh} : نیروی فشاری بتن ناشی از افت آن
 q_{all} : نیروی برشی مجاز برشگیر
 r_y : شعاع ژیراسیون یال فوقانی تیرچه فولادی حول محور قائم
 S_{ts} : اساس مقطع کششی تیر فولادی
 S_{cs} : اساس مقطع فشاری تیر فولادی
 S_{cc} : اساس مقطع فشاری تیر مرکب
 S_{tc} : اساس مقطع کششی تیر مرکب
 $\overline{\delta_a}$: تنش کششی مجاز میلگرد
 δ_1 : خیز تیر قبل از گیرش بتن
 δ_2 : خیز تیرمرکب بعد از گیرش بتن
 δ_{sh} : خیز تیرمرکب ناشی از افت بتن
 t_w : ضخامت جان تیر فولادی
 t : فاصله بین گره های میلگرد برشی تیرچه خرپائی
 t_f : ضخامت بال تیر فولادی
 $V_{max(D1)}$: نیروی برشی تیر تحت اثر بارهای قائم قبل گیرش بتن
 V_{max} : نیروی برشی ماکزیمم تیر تحت اثر بارهای قائم
 V_r : نیروی فشاری مجاز اعضای قطری تیرچه فولادی
 V_h : نیروی برش افقی در محل اتصال دال بتنی و تیر فولادی
 V_c : نیروی مقاوم برشی بتن
 ω_1 : فرکانس مود اول ارتعاش تیر
 Z : بازوی لنگرخمشی مقطع T شکل تحت خمش ساده

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- حداکثر سطح مقطع میلگرد کششی تیر چه باربر عرضی به صورت درصدی از سطح مقطع جان تیرچه	۸
جدول ۲-۱- قطر میلگرد فوقانی تیرچه باربر عرضی	۹
جدول ۱-۲- مقادیر Z برای $\frac{h_c}{h}$ مختلف مقطع T شکل تحت خمش ساده	۲۶
جدول ۱-۶- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف طاق ضربی	۱۳۲
جدول ۲-۶- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی	۱۳۷
جدول ۳-۶- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی	۱۳۸
جدول ۴-۶- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن	۱۳۹
جدول ۵-۶- نتایج بهینه وزنی سقف کامپوزیت بدون شمع بندی	۱۴۲
جدول ۶-۶- نتایج بهینه وزنی سقف کامپوزیت با شمع بندی	۱۴۴
جدول ۷-۶- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی	۱۴۸
جدول ۸-۶- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی	۱۴۹
جدول ۹-۶- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن	۱۵۰
جدول ۱۰-۶- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت	۱۵۱
جدول ۱-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه طاق ضربی برای مدل مفروض	۱۶۵
جدول ۲-۷- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه طاق ضربی	۱۶۵
جدول ۳-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه بلوک با بلوک بتنی برای مدل مفروض	۱۶۷
جدول ۴-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه بلوک با بلوک سفال برای مدل مفروض	۱۶۸
جدول ۵-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن برای مدل مفروض	۱۶۸
جدول ۶-۷- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه تیرچه بلوک	۱۶۹

جدول ۷-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه کامپوزیت بدون شمع بندی برای مدل مفروض	۱۷۱
جدول ۸-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه کامپوزیت با شمع بندی برای مدل مفروض	۱۷۲
جدول ۹-۷- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه کامپوزیت	۱۷۳
جدول ۱۰-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی برای مدل مفروض	۱۷۵
جدول ۱۱-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی برای مدل مفروض	۱۷۵
جدول ۱۲-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن برای مدل مفروض	۱۷۶
جدول ۱۳-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت برای مدل مفروض	۱۷۶
جدول ۱۴-۷- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز	۱۷۷

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- اجزای اصلی سقف طاق ضربی	۴
شکل ۲-۱- کاهش سختی طاق آجری با تعبیه انفصالات در طاق آجری	۶
شکل ۳-۱- افزایش سختی تیرهای باربر طاق ضربی با استفاده از سیستم شبکه فولاد	۷
شکل ۴-۱- اجزای اصلی سقف تیرچه بلوک	۷
شکل ۵-۱- اجزای اصلی تیرچه باربر عرضی	۷
شکل ۶-۱- رفتار تیر ساخته شده از بتن و فولاد با عملکرد غیر مرکب	۱۳
شکل ۷-۱- رفتار تیر ساخته شده از بتن و فولاد با عملکرد مرکب	۱۳
شکل ۸-۱- اجزای اصلی سقف کامپوزیت	۱۴
شکل ۹-۱- عرض موثر دال بتنی در تیر مرکب	۱۵
شکل ۱۱-۱- اجزای اصلی تیرچه فولادی با جان باز	۱۷
شکل ۱۰-۱- اجزای اصلی سقف تیرچه فولادی با جان باز	۱۸
شکل ۱۲-۱- سقف کرمیت با بلوک	۱۹
شکل ۱۳-۱- سقف کامپوزیت کرمیت	۲۰
شکل ۱۴-۱- سقف ضربی تیرچه فولادی با جان باز	۲۰
شکل ۱۵-۱- عرض موثر دال بتنی در تیرچه فولادی در ترکیب با بتن	۲۱
شکل ۱۶-۱- پلان تیر ریزی و تیرچه گذاری بر اساس حذف کشها در سقف تیرچه فولادی با جان باز و تیرچه بلوک معمولی	۲۳
شکل ۱-۲- مهار بند ضربدري سقف طاق ضربی	۲۵
شکل ۲-۲- نمودار توزیع تنش در مقطع تی شکل تحت خمش ساده	۲۶
شکل ۳-۲- توزیع ترکهای برشی در تیر تحت خمش ساده	۲۷
شکل ۴-۲- توزیع تنش تیر مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a \geq h_c$, $C_s \leq A_t.F_y$	۳۲
شکل ۵-۲- توزیع تنش تیر مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a \geq h_c$, $C_s \leq A_t.F_y$	۳۳

- شکل ۲-۶- توزیع تنش تیر مرکب در حالت حد نهائی وقتی، $a \geq h_c$ ، $C_s \geq A_t.F_y$ ۳۴
- شکل ۲-۷- نحوه آرایش برشگیر در تیر مرکب ۳۵
- شکل ۲-۸- نیروی برشی در اتصالات برشی تیر مرکب ۳۵
- شکل ۲-۹- انواع برشگیرهای رایج در تیرهای مرکب ۳۶
- شکل ۲-۱۰- توزیع تنش تیرچه فولادی مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a \leq h_c$ ۴۱
- شکل ۲-۱۱- توزیع تنش تیرچه فولادی مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a > h_c$ ۴۲
- شکل ۴-۱- شیوه تکراری روش جهات امکان پذیر ۸۴
- شکل ۴-۲- حرکت بر فضای قیود غیر خطی برای رسیدن به جواب بهینه ۸۸
- شکل ۴-۳- نمایش روشهای تابع جریمه: الف: روش خارجی ب: روش داخلی ۹۱
- شکل ۶-۱- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف طاق ضربی ۱۳۳
- شکل ۶-۲- منحنی فاصله بهینه تیرهای سقف طاق ضربی برای دهانه های مختلف ۱۳۴
- شکل ۶-۳- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی ۱۳۷
- شکل ۶-۴- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی ۱۳۸
- شکل ۶-۵- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن ۱۳۹
- شکل ۶-۶- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک های مختلف ۱۴۰
- شکل ۶-۷- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف کامپوزیت بدون شمع بندی ۱۴۲
- شکل ۶-۸- منحنی فاصله بهینه تیرهای سقف کامپوزیت بدون شمع بندی ۱۴۳
- شکل ۶-۹- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف کامپوزیت با شمع بندی ۱۴۴
- شکل ۶-۱۰- منحنی فاصله بهینه تیرهای سقف کامپوزیت با شمع بندی ۱۴۵
- شکل ۶-۱۱- منحنی وزن بهینه سقف کامپوزیت ۱۴۶
- شکل ۶-۱۲- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی ۱۴۹
- شکل ۶-۱۳- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی ۱۵۰
- شکل ۶-۱۴- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن ۱۵۱
- شکل ۶-۱۵- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت ۱۵۲

- شکل ۶-۱۶- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک های مختلف ۱۵۳
- شکل ۶-۱۷- منحنی وزن بهینه - دهانه سقفها ۱۵۵
- شکل ۶-۱۸- منحنی فرکانس تیر - دهانه سقفهای بهینه ۱۵۶
- شکل ۶-۱۹- منحنی خیز تیر - دهانه سقفهای بهینه ۱۵۷
- شکل ۷-۱- حفره های وسیع در سقفها و نقاط تمرکز تنش ۱۵۹
- شکل ۷-۲- سقف مشترک بین دو سازه بالا و پائین از حساسیت خاصی برخوردار است ۱۶۰
- شکل ۷-۳- پیچش دیوارهای انتهائی ناشی از نیروی جانبی ۱۶۱
- شکل ۷-۴- قاب مدل ۴ طبقه ۱۶۲
- شکل ۷-۵- قاب مدل ۸ طبقه ۱۶۳
- شکل ۷-۶- منحنی وزن کل ساختمان قاب مدل ۴ طبقه مدل با پوششهای بهینه ۱۷۸
- شکل ۷-۶- منحنی وزن کل ساختمان قاب مدل ۸ طبقه مدل با پوششهای بهینه ۱۷۸
- شکل ۷-۸- منحنی وزن اسکلت قاب ۴ طبقه مدل با پوششهای بهینه ۱۷۹
- شکل ۷-۹- منحنی وزن اسکلت قاب ۸ طبقه مدل با پوششهای بهینه ۱۷۹
- شکل ۷-۱۰- درصد کاهش وزن اسکلت قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۰
- شکل ۷-۱۱- درصد کاهش وزن اسکلت قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۰
- شکل ۷-۱۲- درصد کاهش وزن تیرهای قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۱
- شکل ۷-۱۳- درصد کاهش وزن تیرهای قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۱
- شکل ۷-۱۴- درصد کاهش وزن ستونهای قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۲
- شکل ۷-۱۵- درصد کاهش وزن ستونهای قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۲
- شکل ۷-۱۶- درصد کاهش وزن بادبندهای قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۳
- شکل ۷-۱۷- درصد کاهش وزن بادبندهای قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف ۱۸۳

فصل اول

بررسی سقفهای متداول در ایران

مقدمه

سقف به عنوان یکی از مهمترین اعضای ساختمان می باشد که از آن برای ایجاد سرپناه و پوششی مطمئن استفاده می شود و از آنجا که بعنوان اولین عضو ساختمان در برخورد با بارهای قائم و جانبی خارجی است لذا توجه به آن بسیار مهم می باشد . در ابتدا بارهای ناشی از وزن مصالح به کار رفته در سقف ، بارتیغه بندی ، بار زنده و ... به صورت قائم و بارهای ناشی از باد و زلزله به صورت افقی به سقف اعمال می شود سپس سقف این بارها را بین دیگر اعضای ساختمان از قبیل تیرها ، ستونها ، دیوارها ، بادبندها یا دیگر اعضای مقاوم جانبی توزیع می کند و در نهایت این بارها به پی و از آن به زمین منتقل می شود . بنابراین سقف باید توانائی تحمل بارهای قائم و افقی وارده را داشته باشد و بتواند آنها را بین دیگر اعضای ساختمان توزیع کند . در گذشته بشر اولیه برای ساخت سرپناه از روشهای سنتی مانند سقفهای قوسی استفاده می کرد که بتدیج با پر رنگتر شدن نقش آهن ، توسعه معماری ساختمان به سمت پوشش دهانه های بزرگ ، ساخت بتن ، درگیر نمودن آهن و بتن با وسایل و تمهیدات مناسب و بمنظور سبک سازی ساختمان بترتیب سقفهای طاق ضربی ، تیرچه بلوک ، کامپوزیت و کرومیت ابداع شدند . به منظور آشنائی با جزئیات سقفهای فوق در فصل اول به بررسی و مطالعه هر یک از آنها می پردازیم سپس در فصل دوم روشهای طراحی صحیح و منطبق بر ضوابط آیین نامه ای آنها را بیان می کنیم . پس از آشنائی با روشهای تئوریک طراحی و نکات و ضوابط آیین نامه ای سقفها در فصل سوم برای روشن شدن بحث و درک بهتر از طراحی سقفها با طرح مثال به طراحی سقفهای فوق می پردازیم . سپس در ادامه برای سرعت بخشیدن به روند طراحی و جلوگیری از بروز خطا به ارائه برنامه کامپیوتری تنظیم شده برای طراحی سقفهای فوق می پردازیم . در برنامه طراحی سقفها ، ابتدا متغیرهای هر سقف از قبیل طول دهانه ، مشخصات مصالح به کار رفته در سقف ، بارهای وارد بر سقف ، ضخامت دال بتنی ، نوع تیر آهن ، فاصله بین تیرها و... با رعایت محدودیتهای آیین نامه ای انتخاب می شود سپس تمامی کنترلها و ضوابط آیین نامه ای مربوط به آن انجام می شود ، اگر ضوابط آیین نامه ای در محدوده قابل قبول باشد طراحی مورد قبول است ، در غیر اینصورت باید متغیرهای جدیدی انتخاب شود و روند قبلی

دوباره تکرار شود . این روند تا آنجا که تمامی کنترلرها و ضوابط آیین نامه ای برای متغیرهای انتخابی درست باشد تکرار می شود . لذا پاسخ نهائی در طراحی سقفها به علت وجود محاسبات و کنترلهای متعدد با سعی و خطا بعد از چند بار تکرار بدست می آید . از این رو تمام توجه طراح به این امر است که متغیرهای انتخاب شده جوابگوی طرح و کنترلهای آیین نامه ای باشد در نتیجه در اغلب موارد طراحی انجام شده دارای حداقل وزن یا هزینه نمی باشد . لذا برای اینکه طراحی سقفها دارای تمامی کنترلهای آیین نامه ای و حداقل وزن یا هزینه باشد با ارائه روش مناسبی برای بهینه یابی سقفها که در فصل چهارم توضیح داده می شود سقفها را از نظر وزن و هزینه بهینه می کنیم لذا در فصل پنجم به معرفی روند بهینه یابی سقفهای فوق می پردازیم و در فصل ششم سقفهای بهینه ذکر شده را از نظر وزن ، ارتعاش و خیز با یکدیگر مقایسه می کنیم و در فصل هفتم با در نظر گرفتن سقفهای بهینه فوق در یک اسکلت فولادی ۴ و ۸ طبقه به بررسی وزن اسکلت ساختمان می پردازیم . سپس در فصل هشتم نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد .

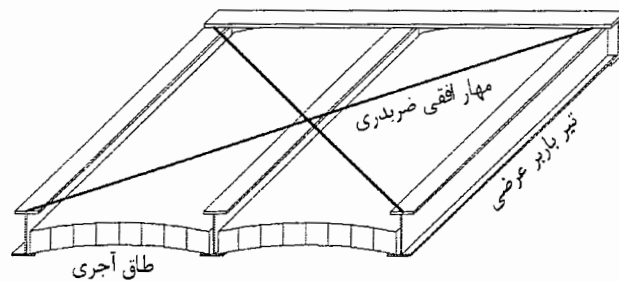
مقدمه

سقف به عنوان یکی از مهمترین اعضای ساختمان می باشد که از آن برای ایجاد سرپناه و پوششی مطمئن استفاده می شود . از آنجا که سقف بعنوان اولین عضو ساختمان در برخورد با بارهای قائم و جانبی خارجی است لذا توجه به آن بسیار مهم می باشد . در ابتدا بارهای ناشی از مصالح به کار رفته در سقف ، بارتیغه بندی ، بار زنده و ... به صورت قائم و بارهای ناشی از باد و زلزله به صورت افقی به سقف اعمال می شود سپس سقف این بارها را بین دیگر اعضای ساختمان از قبیل تیرها ، ستونها ، دیوارها ، بادبندها یا دیگر اعضای مقاوم جانبی توزیع می کند و در نهایت این بارها به پی و از آن به زمین منتقل می شود . بنابراین سقف باید توانائی تحمل بارهای قائم و افقی وارده را داشته باشد و در ضمن بتواند آنها را بین دیگر اعضای ساختمان توزیع کند . در گذشته بشر اولیه برای ساخت سرپناهی برای خود از روشهای مختلفی استفاده می کردند . در بین این روشها استفاده از سقفهای قوسی ساخته شده از مصالح بنایی از قبیل آجر و خاک رواج بیشتری داشت ولی از آنجا که در این سقف فضای خالی زیر و روی قوس زیاد بود بتدریج منسوخ گردید و با پر رنگتر شدن نقش آهن جای خود را به سقفهای طاق ضربی دادند . استفاده از سقف طاق ضربی در ایران تا دهه ۱۳۴۰ بعنوان اصلی ترین نوع سقف ادامه داشت . ولی از آن به بعد با توسعه معماری ساختمان به سمت پوشش دهانه های بزرگ و ساخت بتن ، استفاده از سقفهای مجوف متداول گردید . سقفهای مجوف در کشورهای اروپایی در سال ۱۹۰۰ با استفاده از بلوکهای بتنی و سفالی و تیرچه های بتنی به نام تیرچه بلوک شروع شد و بتدریج با درگیر نمودن آهن و بتن با وسایل و تمهیدات مناسب استفاده از سقفهای کامپوزیت در کشورهای اروپایی از سال ۱۹۵۲ رواج یافت که در آن تا حد امکان از مزایای فولاد نظیر مقاومت کششی بالا و بتن نظیر مقاومت فشاری آنها استفاده شده است و سپس در ایران در سال ۱۳۵۲ به منظور سبک سازی در صنعت ساختمان استفاده از سقفهای مجوف با بلوک بتنی و سفالی و تیرچه فولادی با جان باز متداول گردید . در حال حاضر استفاده از سقفهای طاق ضربی ، تیرچه بلوک ، کامپوزیت و تیرچه فولادی با جان باز در بسیاری از نقاط کشورمان به چشم می خورد . از این رو در این فصل به بررسی آنها به عنوان نماینده سقفهای متداول در ایران پرداخته می شود .

۱-۱- سقف طاق ضربی

استفاده از سیستم سقفهای قوسی بعلت پایداری زیاد و نحوه انتقال نیروهای داخلی در آن (عدم وارد کردن نیروی کششی به مصالح بنائی بعنوان مصالح غالب در ساختمان سازی که در کشش ضعیف می باشند) از قدیم در ایران مرسوم بوده است. بتدریج با منسوخ شدن سقفهای گنبدی و افزایش کاربردی آهن در ساختمان سازی سقفهای قوسی قدیمی جای خود را به سقفهای طاق ضربی امروزی دادند. عوامل متعددی از قبیل اجرای آسان، سرعت بالا، عدم نیاز به نیروی متخصص و فراوانی مصالح همه دست به دست هم داده‌اند تا این سقف رواج بیشتری پیدا کند.

۱-۱-۱- تصویر کلی سقف طاق ضربی



شکل ۱-۱- اجزای اصلی سقف طاق ضربی

سقف طاق ضربی متشکل از تعدادی تیر باربر عرضی می‌باشد که فواصل بین تیرها را با طاق آجری می‌پوشانند. در این سقف با استفاده از خصوصیت سازه‌های گنبدی از مقاومت فشاری مصالح بنائی برای تحمل و انتقال بار به تیرها استفاده می‌شود. در قسمت فوقانی طاق از یک لایه مواد پرکننده نظیر پوکه معدنی یا صنعتی استفاده می‌شود [۲۰]. برای حفظ انسجام و یکپارچه نمودن عمل سقف هر چشمه طاق ضربی توسط مهارهای ضربدری از نوع میلگرد یا تسمه فولادی به هم بسته می‌شوند [۲].

۱-۱-۲- جزئیات اجرای سقف طاق ضربی

الف - تیرهای باربر عرضی در فواصل حداکثر ۱ متر در محل خود ثابت می‌شوند [۲].

ب - ضخامت طاق ضربی معمولاً نیم آجر می‌باشد و اجرای سقف از طرفین سقف شروع می‌شود و در وسط خاتمه می‌یابد [۲۰].

پ- خیز طاق آجری در هر دهانه حداکثر ۴cm می‌باشد [۲۰].

ت- حداقل ضخامت مواد پرکننده روی طاق آجری ۵cm می‌باشد [۲۰].

ث- حداقل میلگرد یا تسمه ای که برای مهاربند ضربداری چشمه های طاق ضربی به کار می‌رود میلگرد ۱۴ یا تسمه معادل آن می‌باشد [۲].

۱-۱-۳- آشنائی با رفتار دینامیکی سقف طاق ضربی

اندر کنش دینامیکی تیرهای باربر و طاق آجری در اثر عملکرد متفاوت آنها در برابر ارتعاشات عمود بر صفحه و یا درون صفحه سقف می‌باشد. طاق آجری نسبتاً صلب و شکننده توان همراهی با تیر آهن انعطاف پذیر را نداشته و نهایتاً اندر کنش دینامیکی بین آنها باعث شکست و فرو پاشی عضو ضعیفتر یعنی طاق آجری خواهد شد [۱۰].

۱-۱-۴- روشهای تقویت سقف طاق ضربی

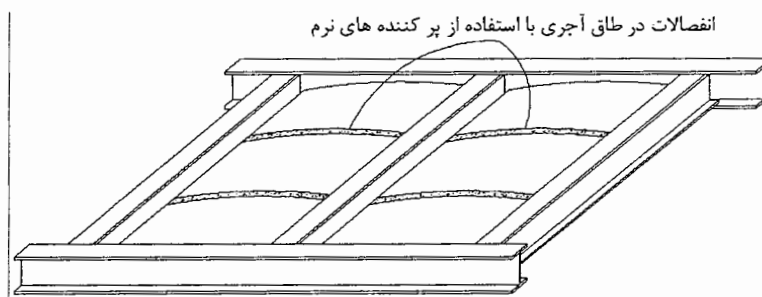
با آگاهی از رفتار لرزه ای سقف طاق ضربی روشهایی جهت تقویت این سقف پیشنهاد می‌شود [۱۰]:

۱- استفاده از دال بتن مسلح برروی سقف ، این روش جدا از هزینه بالا و مشکلات اجرایی ، باعث افزایش بیش از حد وزن سقف می‌شود که خود عامل ضعیف کننده برای رفتار لرزه ای به حساب می‌آید . بخصوص با توجه به ضعف اجرای اتصالات جوشی در اکثر ساختمانها ، این افزایش وزن بیش از آنکه به توان لرزه ای سقف کمک نماید به ضعف عمومی کل ساختمان می‌افزاید .

۲- جهت افزایش همخوانی دینامیکی دو عنصر تیر آهن و طاق آجری باید به گونه ای سختیهای تیر آهن و طاق آجری را به یکدیگر نزدیک نمود . برای این امر دو روش کم هزینه و قابل اجرا دیگر پیشنهاد گردیده است . این دو روش عبارتند از :

الف - کاهش سختی طاق آجری با تعبیه انفصالاتی در طاق آجری

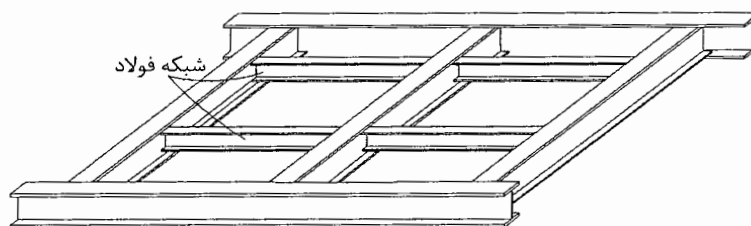
سختی طاق آجری با استفاده از مواد انعطاف پذیر کمتر شده و به سختی تیر فولادی نزدیکتر می شود .



شکل ۱-۲- کاهش سختی طاق آجری با تعبیه انفصالات در طاق آجری

ب - افزایش سختی تیرهای باربر با استفاده از سیستم شبکه فولاد

سختی تیر فولادی با استفاده از سیستم شبکه فولاد نظیر مهارهای افقی بیشتر شده و به سختی طاق آجری نزدیکتر می شود .



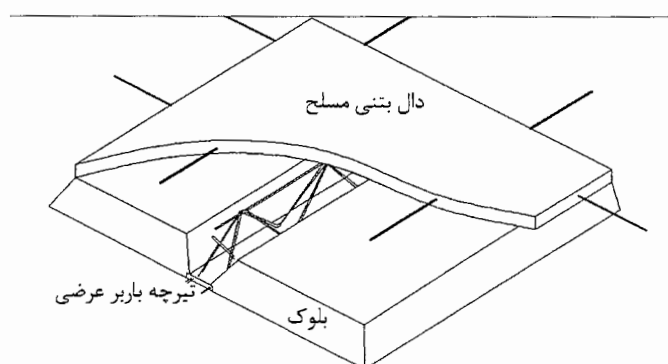
شکل ۱-۳- افزایش سختی تیرهای باربر طاق ضربی با استفاده از سیستم شبکه فولاد

۱-۲- سقف تیرچه بلوک

از هنگامی که استفاده از بتن در ساختمان سازی معمول شد ، تلاش برای بکار بردن قطعه های پیش ساخته آغاز گردید . این تلاش بیش از همه متوجه پیش ساختگی سقفها شد . فن سقف سازی با استفاده از تیرچه بلوک ، ترکیبی است از دو روش پیش ساختگی و بتن ریزی در محل می باشد . در این روش سقف سازی ، مزایای پیش ساختگی از قبیل سرعت ساخت ، کاهش هزینه های قالب بندی و میلگرد گذاری ، کیفیت خوب قطعه های ساخته شده در کارخانه ها ، با جنبه های مثبت بتن

ریزی در محل ، و به ویژه نیاز نداشتن به جرثقیل تلفیق شده است . در ایران در چند سال اخیر با توجه به رشد بی رویه مصالح ساختمانی استفاده از تیرچه بلوک بجای تیر آهن در سقف گسترش چشمگیری داشته است دلیل مهم این امر مزایای یکپارچگی سقف و مصرف کمتر فولاد در این نوع سقفها است که با وجود مصرف کمتر فولاد ، مقاومت این سقفها نه تنها از مقاومت سقف طاق ضربی کمتر نیست ، بلکه در مقابل نیروهای ناشی از زلزله پایداری آن بیشتر است .

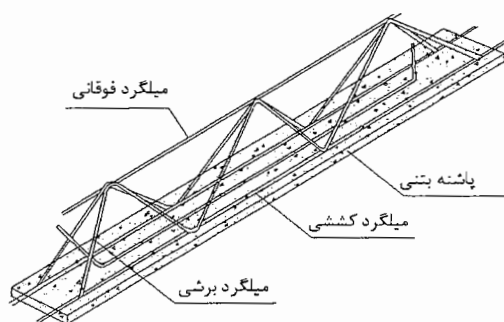
۱-۲-۱- تصویر کلی سقف تیرچه بلوک



شکل ۱-۴- اجزای اصلی سقف تیرچه بلوک

سقف تیرچه بلوک متشکل از تعدادی تیرچه باربر عرضی می باشد که در فواصل بین تیرچه ها از بلوک بعنوان پرکننده و قالب برای دال بتنی استفاده می شود . بلوکها در انواع بتنی ، سفالی ، پلی استایرن وجود دارد که بلوکها با توجه به فاصله بین تیرچه ها و ارتفاع سقف تعیین می شود [۱۷] .

۱-۲-۱-۱- تیرچه باربر عرضی :



شکل ۱-۵- اجزای اصلی تیرچه باربر عرضی

تیرچه باربر عرضی عضو پیش ساخته ای است که از اجزای اصلی زیر تشکیل می شود [۱۸]:

۱- میلگرد کششی ، بعنوان عضو کششی تیرچه برای تحمل لنگر خمشی وارد بر تیرچه طراحی می شود .

۲- میلگرد برشی ، پیوستگی لازم را بین میلگرد کششی و بتن تامین می کند و برای تحمل نیروی برشی وارد بر تیرچه طراحی می شود .

۳- میلگرد فوقانی ، به عنوان عضو فشاری خرابای تیرچه عمل می کند .

۴- پاشنه بتنی که برای تامین تکیه گاه بلوک های پرکننده و جایگذاری آرماتور کششی استفاده می شود .

۱-۲-۲- جزئیات اجرای سقف تیرچه بلوک [۱۸]:

الف- تیرچه باربر عرضی در فواصل حداکثر ۷۰cm در محل خود ثابت می شوند .

ب- ضخامت دال بتنی از ۵cm یا $\frac{1}{12}$ فاصله محور به محور تیرچه ها کمتر نباشد .

پ- عرض تیرچه باربر عرضی از ۱۰cm یا $\frac{1}{3/5}$ برابر ضخامت سقف کمتر نباشد .

ت- حداقل سطح مقطع میلگرد کششی تیرچه باربر عرضی برای فولاد نرم ۰/۰۰۲۵ برابر سطح مقطع جان تیرچه و برای فولاد نیم سخت و سخت ۰/۰۰۱۵ برابر آن می باشد . حداکثر سطح مقطع میلگرد کششی مطابق جدول زیر به صورت درصدی از سطح مقطع جان تیرچه ارائه می شود :

$F_y = 4200 \frac{kg}{cm^2}$	$F_y = 3600 \frac{kg}{cm^2}$	$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}$	
۲/۱٪	۲/۹۸٪	۳/۴٪	$f'_c = 250 \frac{kg}{cm^2}$
۲/۶٪	۳/۷٪	۴/۲٪	$f'_c = 300 \frac{kg}{cm^2}$
۳٪	۴/۲۴٪	۴/۸۵٪	$f'_c = 350 \frac{kg}{cm^2}$

جدول ۱-۱- حداکثر سطح مقطع میلگرد کششی تیرچه باربر عرضی به صورت درصدی از

سطح مقطع جان تیرچه

ث- حداقل سطح مقطع میلگرد برشی تیرچه باربر عرضی ۰/۰۰۱۵ برابر سطح مقطع جان تیرچه می باشد .

د- قطر میلگرد فوقانی تیرچه برای دهانه های مختلف طبق جدول زیر تعیین می شود :

دهانه (متر)	تا ۳ متر	۳-۴ متر	۴-۵/۵ متر	۵/۵-۷ متر
قطر $\phi(mm)$	۶	۸	۱۰	۱۲

جدول ۱-۲- قطر میلگرد فوقانی تیرچه باربر عرضی

ذ- برای گیرایی بیشتر تیرچه با اسکلت میلگردی به نام میلگرد منفی در تکیه گاه تیرچه ها با سطح مقطعی معادل $\frac{1}{5}$ سطح مقطع میلگردهای کششی وسط دهانه اضافه می گردد که تا $\frac{1}{5}$ طول دهانه از هر طرف ادامه می یابد .

ر- حداقل سطح مقطع شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی در امتداد تیرچه ۰/۰۰۱۲۵ برابر سطح مقطع دال بتنی و در امتداد عمود بر تیرچه ۰/۰۰۱۷۵ برابر آن می باشد که به فاصله حداکثر ۳۰cm از یکدیگر قرار می گیرند .

۱-۲-۳- جزئیات اجرای اعضای فرعی سقف تیرچه بلوک [۱۸] :

الف- تکیه گاههای موقت اجرایی : شمع بندی سقف تیرچه بلوک در جهت عمود بر تیرچه به فاصله ۱ تا ۱/۲ متر از یکدیگر اجرا می شود . در هنگام شمع بندی خیز مناسبی برابر $\frac{1}{200}$ طول دهانه به طرف بالا در نظر گرفته می شود تا پس از بارگذاری خیز منفی اولیه حذف شود و سقف مسطح گردد. در صورتیکه شمعها روی زمین تکیه داشته باشند باید از عدم نشست آنها مطمئن بود و اگر روی سقف دیگری تکیه دارد باید وزن شمع بندی و سقف مورد احداث به منزله سربار سقف زیرین در نظر گرفته شود .

۲- کلاف میانی :

برای جلوگیری از پیچش تیرچه های باربر عرضی و توزیع یکنواخت بار، کلافهای بتنی در جهت عمود بر امتداد تیرچه در سقف تعبیه می شود که حداقل عرض آنها برابر عرض پاشنه و ارتفاع آن مساوی ارتفاع سقف است . اگر بار زنده کمتر از $350 \frac{kg}{m^2}$ باشد برای دهانه کمتر از ۴ متر نیازی به کلاف میانی نیست و برای دهانه های بیشتر از ۴ متر یک کلاف میانی که سطح میلگردهای طولی آن نصف میلگردهای کششی تیرچه است لازم می باشد ، اگر بار زنده بیشتر از $350 \frac{kg}{m^2}$ باشد برای دهانه های ۴ تا ۷ متر از دو کلاف میانی که سطح میلگردهای طولی آن معادل میلگردهای کششی تیرچه است و برای دهانه های بالاتر از ۷ متر از سه کلاف میانی که سطح میلگردهای طولی آن معادل میلگردهای کششی تیرچه است لازم می باشد .

۱-۲-۴- مزایا و معایب سقف تیرچه بلوک [۱۸]

مزایا :

- الف- بعلت مصرف بلوکهای توخالی و حذف بتن منطقه کششی ، وزن سقف کاهش می یابد .
- ب- به علت کم بودن وزن متوسط سقف در مقایسه با دال تخت از مصرف فولاد کاسته می شود .
- پ- به علت توخالی بودن بلوک ها ، سقف عایق صوت و حرارت است .
- ت- بعلت پیش ساخته بودن تیرچه ها و کنترل دقیق پوشش میلگردهای کششی در کارگاه مقاومت سقف در برابر آتش سوزی خوب است .
- ث- بعلت مسطح بودن زیر سقف ضخامت نازک کاری به حداقل می رسد و در نتیجه وزن سقف کاهش می یابد .
- د- بعلت سطح یکنواخت بالای سقف برای فرش موزائیک به ملات کمتری نیاز است و در نتیجه وزن سقف کاهش می یابد .

معایب :

- الف - بعلت انعطاف پذیری در ارتعاش در مواردی که بار متحرک و مرتعشی بر سقف اعمال شود مناسب نیست .

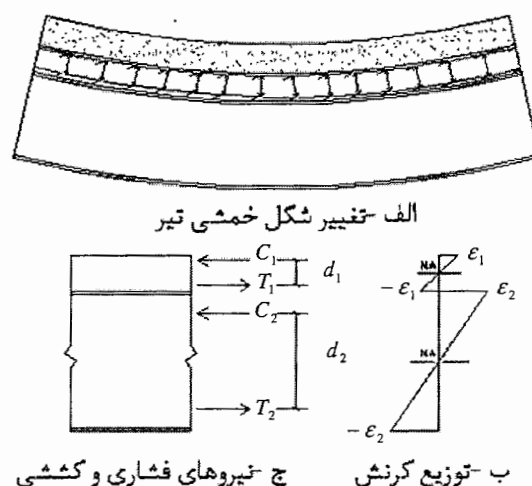
۱-۳- سقف کامپوزیت

برای سالهای متمادی تیرهای فولادی و دالهای بتنی بدون هیچگونه اتصال اساسی برای انتقال برش در ساختمان سازی مورد استفاده قرار می گرفت . در سالهای اخیر استفاده از تیرهای مرکب که در آنها تیر فولادی و دال بتنی با وسایل و تمهیدات مناسب بیکدیگر متصل می شوند رواج زیادی یافته است . تیرهایی که عملکرد بین دال و تیر فولادی در آنها بصورت توأم و مرکب است دارای ظرفیت باربری بیش از ۳۰٪ تیرهای مشابه با عملکرد غیر مرکب است . استفاده از تیرهای مرکب در کشورهای اروپایی و آمریکایی تا قبل از سال ۱۹۴۰ به تعداد محدودی پروژه ساخت پل محدود می شد از سال ۱۹۴۴ با وارد شدن ضوابط مربوط به تیرهای مرکب در آیین نامه AASHTO ، استفاده از تیرهای مرکب در طراحی و ساخت پلها بصورت چشمگیری رواج یافت و کاربرد تیرهای مرکب در سازه های ساختمانی پس از آن مورد توجه قرار گرفت . آیین نامه فولاد امریکا AISC نیز از سال ۱۹۵۲ ضوابط مربوط به طراحی تیرهای مرکب را در سازه های فولادی در اختیار طراحان قرار داد . هم اکنون اجرای تیرهای مرکب در ساخت پلها و ساختمانهای معمولی در کشورهای پیشرفته بسیار متداول است و بعنوان یک راه حل مناسب برای پوشش دهانه هایی با طول متوسط مورد توجه می باشد . در مجموع با استفاده از تیرهای مرکب که از ترکیب رفتار یک ماده فلزی با یک ماده غیرفلزی حاصل می شود می توان تا حد امکان از خواص و مزایای فولاد نظیر مقاومت بالا ، شکل پذیری مناسب حداکثر استفاده را نمود و معایب آن نظیر ضعف در مقابل انواع کمانشها ، خوردگی و آتش سوزی را به کمک پوشش بتن تا حدودی مرتفع نمود [۱۱] .

۱-۳-۱- تئوری رفتار تیرهای مرکب [۱۱]

رفتار تیرهای مرکب مانند سایر اعضای خمشی است که در آنها با تقریب خوبی، صفحات عمود بر محور تیر پس از خمش ، عمود بر محور تیر و به صورت مسطح باقی میمانند . چنانچه دال بتنی و تیر فولادی به صورت مجزا در تحمل بار وارده عمل کنند آنگاه فرض مسطح بودن صفحات عمود بر محور تیر پس از خمش منجر به توزیع کرنش خطی در هریک از قسمتهای بتنی و فولادی تیر می شود .

شکل ۱-۶- الف تغییر شکل خمشی تیر را با توجه به عملکرد غیر مرکب نشان می‌دهد. این رفتار موجب بروز کرنشهای طولی مطابق شکل ۱-۶- ب خواهد شد بعبارت دیگر رفتار خمشی دال بتنی و تیر فولادی کاملاً از یکدیگر مستقل بوده و هر یک از قسمتهای فولادی و بتنی دارای تار خنثی جداگانه‌ای هستند. توزیع کرنش شکل ۱-۶- ب موجب توسعه تنشهای فشاری و کششی در هریک از نواحی بتن و فولاد به صورت جداگانه می‌شود که برآیند آن به صورت نیروهای C_1 ، T_1 ، C_2 و T_2 در شکل ۱-۶- ج نشان داده شده است.



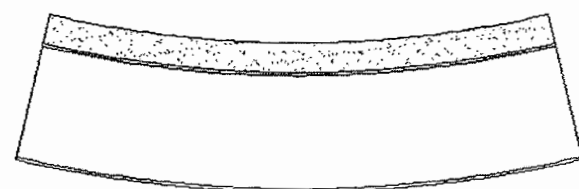
شکل ۱-۶- رفتار تیر ساخته شده از بتن و فولاد با عملکرد غیر مرکب

لنگر خمشی که مقطع در این حالت می‌تواند تحمل کند طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

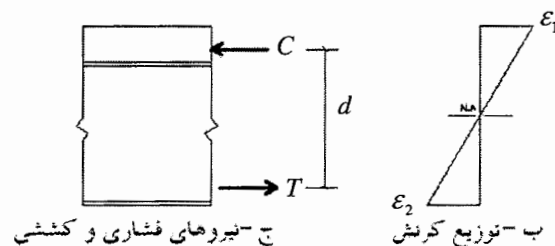
$$M = M_{slab} + M_{beam} = C_1 d_1 + C_2 d_2 \quad (1-1)$$

در این رابطه C_1 نیروی فشاری دال بتنی، C_2 نیروی فشاری تیر فولادی، d_1 بازوی لنگر دال بتنی و d_2 بازوی لنگر تیر فولادی می‌باشد.

چنانچه تیر ساخته شده از بتن و فولاد به صورت یکپارچه و با رفتار مرکب عمل کند . تیر تنها یک محور خمشی دارد . اشکال ۷-۱ الف و ۷-۱ ب تغییر شکل خمشی و کرنشهای طولی متناظر با آن را در تیر مرکب نشان می دهد .



الف - تغییر شکل خمشی تیر



شکل ۷-۱ رفتار تیر ساخته شده از بتن و فولاد با عملکرد مرکب

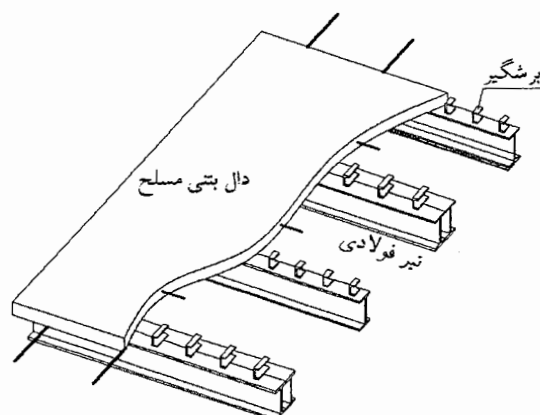
لنگر خمشی که مقطع در این حالت تحمل می کند مطابق رابطه زیر بدست می آید :

$$M = Cd = Td \quad (۲-۱)$$

دراین رابطه C نیروی فشاری تیر مرکب ، T نیروی کششی تیر مرکب و d بازوی لنگر تیر مرکب می باشد .

چون نیروی C از مجموع نیروهای C_1, C_2 بزرگتر است و نیز بازوی d نسبت به d_1, d_2 بزرگتر است در نتیجه لنگر خمشی تیر با عملکرد مرکب بیشتر از لنگر خمشی تیر با عملکرد غیر مرکب است بنابراین عملکرد مرکب ، ظرفیت باربری را افزایش می دهد .

۱-۳-۲- تصویر کلی سقف کامپوزیت



شکل ۱-۸- اجزای اصلی سقف کامپوزیت

سقف کامپوزیت متشکل از تعدادی تیر فولادی می باشد که توسط دال بتنی مسلح که نقش انتقال بارهای قائم به تیرها را دارد پوشانده می شود . در عین حال تمام دال در تحمل بار با تیر مشارکت نمی کند و فقط عرض موثری از دال با تیر بصورت مقطع مرکب در تحمل بار مشارکت می کند. برای حصول اطمینان از عملکرد مرکب تیرها و دال بتنی برش موجود در محل اتصال دال بتنی و تیر فولادی باید به نحو مناسبی توسط برشگیرها تحمل شود [۱۴] .

۱-۳-۳- روشهای اجرای سقف کامپوزیت [۱۱]:

سقف کامپوزیت به دو روش با استفاده از شمع بندی و بدون استفاده از شمع بندی اجرا می شود . در اجرای بدون استفاده از شمع بندی کلیه بارهای مرده قبل از گیرش بتن و بارهای حین اجرا از قبیل بار قالب ، نیروی انسانی توسط تیر فولادی تحمل می شود و پس از گیرش بتن کلیه بارهای وارده توسط مقطع مرکب تحمل می شود . ولی در اجرای با استفاده از شمع بندی بارهای قبل از گیرش بتن توسط شمعها تحمل می شود و پس از گیرش بتن کلیه بارها توسط مقطع مرکب تحمل می شود .

گرچه استفاده از شمع بندی باعث کاهش نمره تیر فولادی و در نتیجه وزن سقف می شود اما مشخصا نمی توان گفت سیستم با شمع بندی با صرفه تر از سیستم بدون شمع بندی است زیرا در

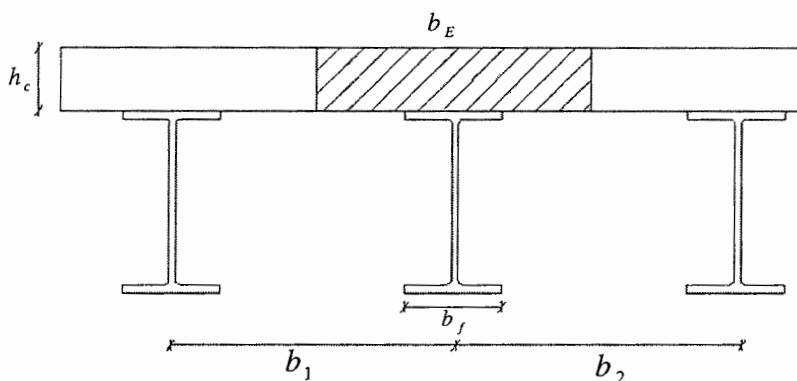
این حالت می بایست هزینه اجرای شمع بندی و مدت اجرای سقف را باید نظر گرفت . صرفنظر از جنبه اقتصادی استفاده از شمع بندی موجب بروز مشکلاتی به شرح زیر می شود :

الف- در اجرای تیر مرکب با استفاده از شمع بندی معمولاً نشست محل تکیه گاه شمعها مسئله ساز است .

ب- در اجرای تیر مرکب با استفاده از شمع بندی پس از گیرش بتن و حذف شمعها دال بتنی با عملکرد مرکب در تحمل بار مرده مشارکت می کند و چون بار مرده طویل المدت روی مقطع مرکب عمل می کند این امر موجب ایجاد فشار ، خزش و افت در بتن دال می شود که در نتیجه تنش در دال بتنی کاهش می یابد و در تیر فولادی افزایش می یابد . بنابراین عمده بار توسط تیر فولادی تحمل می شود به طوری که گویا از شمع بندی استفاده نشده است .

۱-۳-۴- نکات آیین نامه ای سقف کامپوزیت

الف- برای تعیین خصوصیات تیر مرکب لازم است عرض موثری از دال بتنی که با تیر در تحمل بار مشارکت می کند تعیین شود [۱۱] :



شکل ۱-۹- عرض موثر دال بتنی در تیر مرکب

آیین نامه AISC در بخش تنشهای مجاز روابط زیر را برای محاسبه عرض موثر دال بتنی

پیشنهاد می کند :

- تیرهای میانی

$$b_E \leq \min\left(\frac{L}{4}, \frac{b_1 + b_2}{2}\right) \quad (۳-۱)$$

- تیرهای کناری

$$b_E \leq \min\left(\frac{L}{8}, \frac{b + b_f}{2}\right) \quad (۴-۱)$$

آیین نامه ACI در بخش تنشهای مجاز روابط زیر را برای محاسبه عرض موثر دال بتنی پیشنهاد می کند:

- تیرهای میانی

$$b_E \leq \min\left(\frac{L}{4}, \frac{b_1 + b_2}{2}, b_f + 16h_c\right) \quad (۵-۱)$$

- تیرهای کناری

$$b_E \leq \min\left(\frac{L}{12} + b_f, \frac{b + b_f}{2}, b_f + 16h_c\right) \quad (۶-۱)$$

مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران عرض موثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن به صورت مرکب عمل می کند را کوچکترین مقادیر زیر پیشنهاد می کند :

- یک هشتم دهانه محور به محور تیر

- نصف فاصله مرکز به مرکز تیرهای مجاور

- فاصله محور تیر با لبه بتن

ب- شبکه جمع شدگی و حرارتی در دال بتنی برای $F_y = 3000 \frac{kg}{cm^2}$ حداقل 0.002 .

برابر سطح مقطع دال بتنی و برای $F_y = 4000 \frac{kg}{cm^2}$ حداقل 0.0018 برابر سطح مقطع دال بتنی می

باشد که به فاصله حداکثر ۳۵cm یا سه برابر ضخامت دال بتنی از یکدیگر قرار می گیرند [۱۴].

۱-۳-۵- مزایا و معایب سقف کامپوزیت [۱۱]

مزایا :

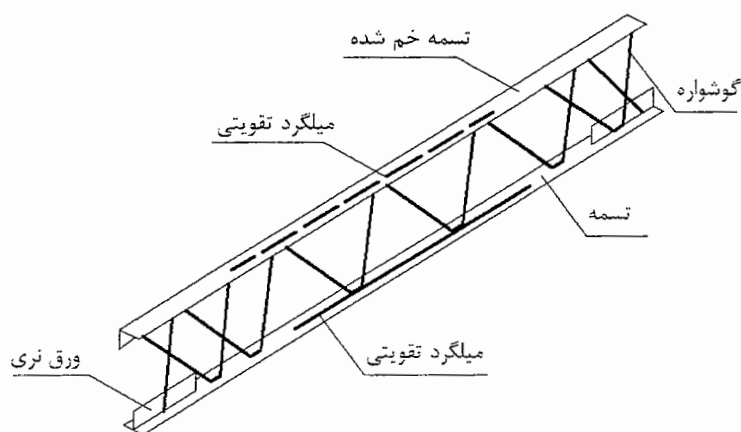
الف- دال بتنی با ایجاد گیرداری مناسب در بال فوقانی تیر فولادی بعنوان تکیه گاه جانبی عمل

می کند و از ناپایداری جانبی - پیچشی بال جلوگیری می کند .

ب- رفتار توام بتن و فولاد باعث کاهش مصرف فولاد و افزایش صلبیت سقف می شود .

سقف تیرچه فولادی با جان باز متشکل از تعدادی تیرچه فولادی با جان باز می باشد که توسط دال بتنی مسلح پوشانده می شود و برای پرکردن فضای خالی بین تیرچه ها از بلوک ، مصالح بنایی و قالب های موقت فولادی استفاده می شود .

۱-۴-۱-۱- تیرچه فولادی با جان باز



شکل ۱-۱۱- اجزای اصلی تیرچه فولادی با جان باز

تیرچه فولادی با جان باز عضو پیش ساخته ای است که به صورت خرپای دو سر ساده اجرا می شود و از اجزای اصلی زیر تشکیل می شود :

۱- یال تحتانی

۲- اعضای قطری

۳- یال فوقانی

یال تحتانی تیرچه از تسمه فولادی بصورت تک یا دابل تشکیل شده است که بعنوان عضو کششی خرپای تیرچه عمل می کند و در صورت نیاز با میلگرد تقویت می شود . اعضای قطری تیرچه که معمولا از میلگرد تشکیل می شود، بعنوان اعضای مورب خرپای تیرچه به کمک اعضای دیگر ایستایی لازم را برای تحمل بار وارده تامین می کند و در صورت نیاز با گوشواره یا ورق نری تقویت می شود . یال فوقانی تیرچه که از تسمه خم شده بصورت تک یا دابل یا نبشی ویا ناودانی تشکیل شده است و بعنوان عضو فشاری خرپای تیرچه عمل می کند و در صورت نیاز با میلگرد تقویت می شود .

تیرچه ها به نحوی طراحی می شوند که بتوانند قبل از گیرش بتن بارهای حین اجرا و بارهای مرده را تحمل کنند و بعد از گیرش بتن به کمک دال بتنی به صورت مقطع مرکب کلیه بارهای وارده را تحمل کند [۱۹].

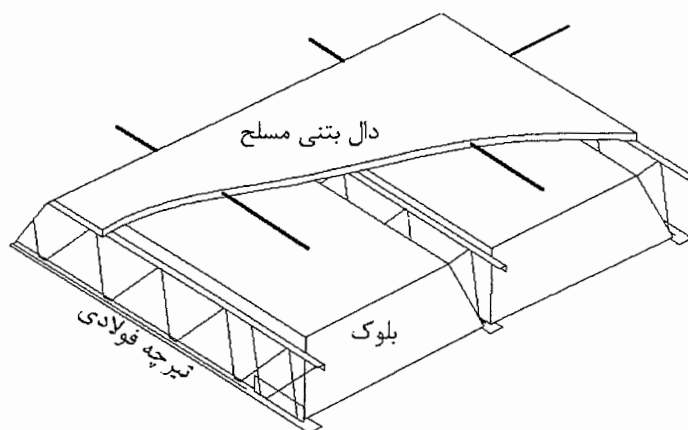
۱-۴-۲- انواع سقف تیرچه فولادی با جان باز

۱- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک

۲- سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت

۳- سقف تیرچه فولادی با جان باز ضریبی

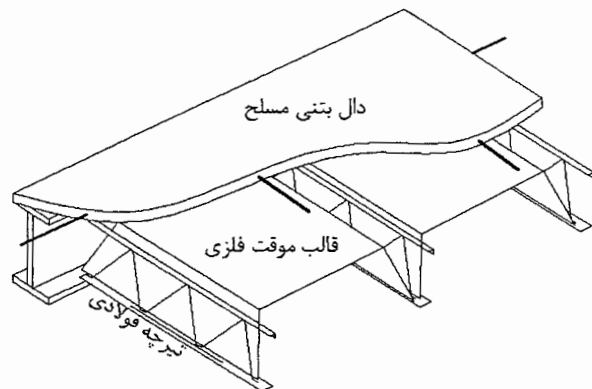
۱-۴-۲-۱- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک



شکل ۱-۱۲- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک

در این سقف برای پرکردن فضای خالی بین تیرچه ها از بلوکهای بتنی ، سفالی ، پلی استایرن بسته به فاصله بین تیرچه ها و ضخامت سقف استفاده می شود .

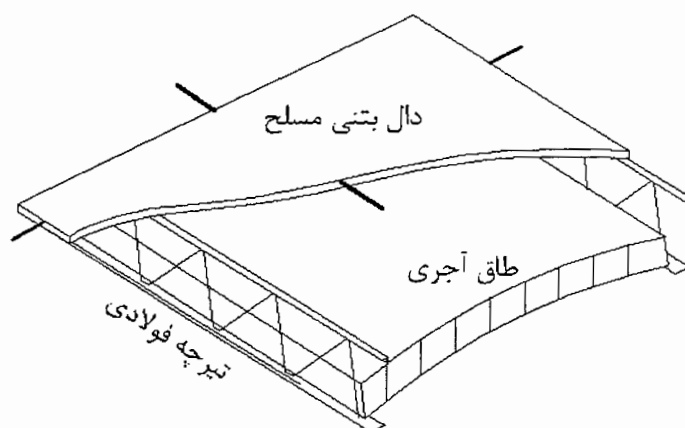
۱-۴-۲-۲- سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت



شکل ۱-۱۳- سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت

در این سقف به منظور سبک سازی ، با استفاده از قالبهای فولادی موقت فضای خالی بین تیرچه ها قالب بندی می شود و پس از گیرش بتن و حصول مقاومت کافی ، قالبها را باز می کنند .

۱-۴-۲-۳- سقف تیرچه فولادی با جان باز ضربی



شکل ۱-۱۴- سقف تیرچه فولادی با جان باز ضربی

بعلت رواج استفاده از طاق آجری در سقف و وجود اشکالات عمده در عملکرد سقفهای ضربی با تیر آهن از جمله عدم ایجاد یک دیافراگم صلب و مصرف زیاد فولاد نسبت به ارائه طرحی بهینه بنام سقف ضربی تیرچه فولادی با جان باز اقدام گردید که در آن وجود بتن روی سقف می تواند یک

دیافراگم مناسب ایجاد نماید و همچنین بعلت باز بودن جان تیرچه ها در مصرف فولاد صرفه جویی شده است .

۱-۴-۳- جزئیات اجرای سقف تیرچه فولادی با جان باز [۱۹] :

الف- تیرچه های فولادی با جان باز در فواصل حداکثر ۷۵cm در محل خود ثابت می شوند .

ب- ضخامت دال بتنی نباید از ۵cm یا $\frac{1}{12}$ فاصله آزادبین تیرچه ها کمتر گرفته شود .

پ- عرض بال تحتانی تیرچه ها نباید کمتر از ۱۰cm و یا $\frac{2}{7}$ ضخامت سقف باشد و برای

دهانه های کوچکتر از ۴ متر می توان آنرا به ۸cm تقلیل داد .

ت- سطح مقطع اعضای قطری تیرچه ها نباید از ۰/۰۱۵ برابر سطح جان تیرچه کمتر باشد .

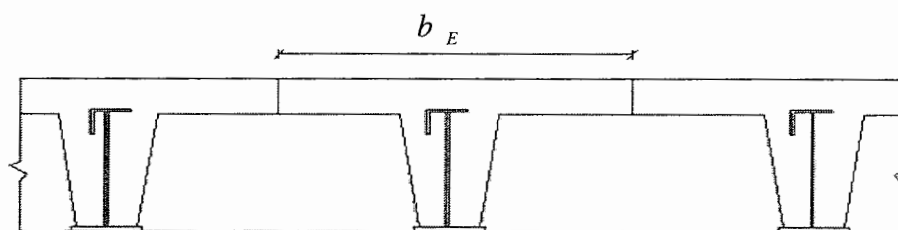
ث- ضخامت تسمه ها و نبشی ها و ناودانی هایی که برای ساخت تیرچه فولادی به کار می روند ،

نباید از ۳mm کمتر باشد .

د- حداقل سطح مقطع شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی ۰/۰۰۲ سطح مقطع دال بتنی

است که در فواصل ۳۰cm یا ۵ برابر ضخامت دال بتنی از یکدیگر قرار می گیرند .

ذ- عرض موثر دال بتنی در هر سمت تیرچه نباید از مقادیر زیر بزرگتر شود :



شکل ۱-۱۵- عرض موثر دال بتنی در تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

- یک هشتم دهانه محور به محور تیرچه

- نصف فاصله مرکز به مرکز تیرچه های مجاور

- فاصله محور تیرچه با لبه بتن

۱-۴-۴- جزئیات اجرای اعضای فرعی سقف تیرچه فولادی با جان باز [۱۹]:

کلاف میانی :

برای مهار تیرچه فولادی در مقابل تغییر شکل جانبی کلاف بتنی به عرض حداقل ۱۰cm در فواصل L_r در جهت عمود بر تیرچه اجرا می شود به طوریکه ضریب لاغری در جهت عمود بر تیرچه از ۱۴۵ تجاوز نکند . یعنی :

$$\frac{L_r}{r_y} < 145 \quad (V-1)$$

این کلاف شامل دو میلگرد به قطر حداقل ۱۲mm است که یک میلگرد روی یال تحتانی و یک میلگرد در زیر یا روی یال فوقانی به موازات هم به تیرچه‌های فولادی جوش می‌شوند و در انتها هم در بالا و هم در پایین در محل خود به تیر فرعی مهار می شود .

علاوه بر محدودیت $\frac{L_r}{r_y}$ باید برای دهانه‌های کمتر از ۵/۵m استفاده از ۱ کلاف میانی الزامی است و برای دهانه‌های بیشتر از ۵/۵m فاصله بین دو کلاف نباید از ۲/۵m تجاوز کند .

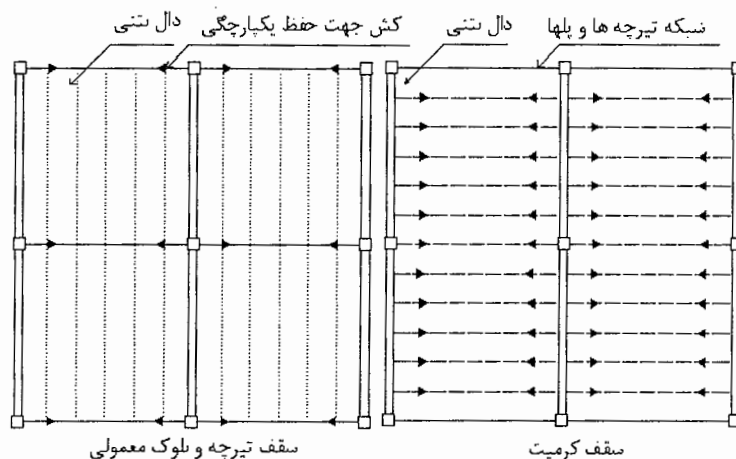
۱-۴-۵- مزایا و معایب سقف تیرچه فولادی با جان باز

مزایا :

الف- بعلت اینکه در طراحی این سقف شمع بندی لحاظ نشده است سرعت اجرای آن بالاست و ۴۸ ساعت پس از بتن ریزی می توان عملیات ساختمانی را ادامه داد .

ب- بعلت جوش شدن تیرچه های فلزی به اسکلت ، سقف و اسکلت یکپارچه شده و می تواند مانند یک دیافراگم صلب عمل کند .

پ- بعلت جوش شدن تیرچه های فلزی به اسکلت ، پلها و تیرچه های فلزی به شبکه به هم پیوسته ای تبدیل می شوند که می تواند دال بتنی را مانند دیافراگم صلب در مقابل نیروهای درون صفحه ای مسلح کند ، در نتیجه نیاز به استفاده از کش ها منتفی می شود . شکل زیر پلان تیرریزی و تیرچه گذاری براساس حذف کش ها را نشان می دهد.



شکل ۱-۱۶- پلان تیر ریزی و تیرچه گذاری بر اساس حذف کشها در سقف تیرچه فولادی با

جان باز و تیرچه بلوک معمولی

ت- بعلت یکنواختی زیر سقف مصرف گچ و خاک کاهش می یابد ، در نتیجه وزن سقف کاهش می یابد .

معایب :

الف- بعلت اینکه در این سقف شمع بندی استفاده نمی شود ، خیز ماکزیمم سقف در دهانه های بالا زیاد است .

فصل دوم

روشهای طراحی تئوریک سقفها

مقدمه

پس از شناخت اولیه سقفهای طاق ضربی، تیرچه و بلوک، کامپوزیت و تیرچه فولادی با جان باز که در حال حاضر بعنوان متداول ترین و کاربردی ترین انواع سیستمهای سقف در کشورمان مطرح است نوبت به بررسی دقیقتر این سقفها و همچنین بیان روشهای طراحی آنها می رسد. روشهای طراحی آورده شده در این فصل بر اساس نشریات برنامه و بودجه و آیین نامه های مربوط به هر سقف و کتب موجود در این زمینه تنظیم گردیده است.

۱-۲- طراحی تئوریک سقف طاق ضربی

پایداری طاق ضربی به دلیل شکل هندسی خاص خود که به صورت قوسی می باشد تحت اثر بارهای قائم به اثبات رسیده است و نیازی به طراحی و کنترل ندارد. از این رو طراحی سقف ضربی به طراحی تیرهای خمشی و مهاربند ضربدری محدود می شود.

در ادامه روند تحلیل و طراحی سقف ضربی به روش تنش مجاز ارائه می شود:

گام اول: تعیین فاصله محور به محور تیرهای باربر با رعایت نکات آیین نامه ای

گام دوم: تعیین مقطع تیر باربر

گام سوم: کنترل تنش کششی حاصل از لنگر ماکزیمم خمشی تحت اثر بارهای قائم [۳]:

$$f_{ts} = \frac{M_{(max)}}{S_{ts}} \leq F_{ts} \quad (1-2)$$

گام چهارم: کنترل تنش فشاری حاصل از لنگر ماکزیمم خمشی تحت اثر بارهای قائم [۳]:

$$f_{cs} = \frac{M_{(max)}}{S_{cs}} \leq F_{cs} \quad (2-2)$$

گام پنجم: کنترل تنش برشی حاصل از نیروی ماکزیمم برشی تحت اثر بارهای قائم [۳]:

$$f_v = \frac{V_{max}}{d.t_w} \leq F_v \quad (3-2)$$

گام ششم: کنترل خیز تیر باربر تحت اثر بارهای قائم [۳]:

$$\frac{5}{384} \times \frac{(DL + LL).L^4.b_0}{E_s.I_s} \leq \frac{L}{240} \quad (4-2)$$

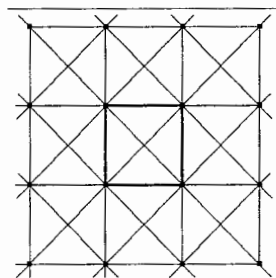
در صورتیکه خیز از خیز مجاز تجاوز کند بجای زیاد کردن مقطع تیر بهتر است خیز منفی اولیه ای در اجرا به تیر اعمال کنیم .

گام هفتم : کنترل فرکانس مود اول ارتعاش تیر برابر عرضی [۴] :

$$\omega_n = n^2 \pi^2 \sqrt{\frac{E_s I_s}{m L^4}} \rightarrow \omega_1 = \pi^2 \sqrt{\frac{g E_s I_s}{(DL+LL) L^4 b_0}} = 70 \sqrt{\frac{I_s}{(DL+LL) b_0 L^4}} \quad (5-2)$$

از آنجا که حرکات توأم با جست و خیز باعث ارتعاش سقف بین ۰ تا ۵ هرتز می شود به همین علت توصیه می شود فرکانس تیرهای خمشی از ۵ هرتز بیشتر در نظر گرفته شود تا مسئله تشدید و خستگی در اعضای باربر و اتصالات آنها پیش نیاید و ارتعاش ها پس از مدتی میرا شود [۱] .

گام هفتم : طراحی میلگرد مهاربند ضربدری :



شکل ۲-۱- مهار بند ضربدری سقف طاق ضربی

اگر a عرض چشمه ضربی و b طول آن باشد سطح مقطع میلگرد مهاربند ضربدری از رابطه زیر بدست می آید [۳] :

$$d = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

$$A = 0.04 a . d \quad (6-2)$$

۲-۲- طراحی تئوریک سقف تیرچه بلوک

در سقف تیرچه بلوک تیرها بصورت مقطع T شکل بارهای قائم را تحمل می کنند در صورتی که فاصله محور به محورتیرچه ها کم باشد محاسبه سقف به طراحی تیرهای T شکل مجزا محدود می شود در غیر اینصورت باید بال واقع بین دو مقطع T به صورت دال مورد مطالعه قرار گیرد و از آن جا که این نامه سقف تیرچه بلوک فاصله بین تیرچه ها را به ۷۰cm محدود کرده است طراحی این سقف به طراحی تیرهای T شکل محدود می شود .

در ادامه روند تحلیل و طراحی سقف تیرچه بلوک به روش تنش مجاز ارائه می شود [۱۸]:

گام اول: تعیین ضخامت سقف با رعایت نکات آیین نامه ای

گام دوم: تعیین فاصله محور به محور تیرچه با رعایت نکات آیین نامه ای

گام سوم: تعیین ضخامت دال بتنی با رعایت نکات آیین نامه ای

گام چهارم: تعیین عرض تیرچه برابر عرضی با رعایت نکات آیین نامه ای

گام پنجم: تعیین عرض موثر دال بتنی

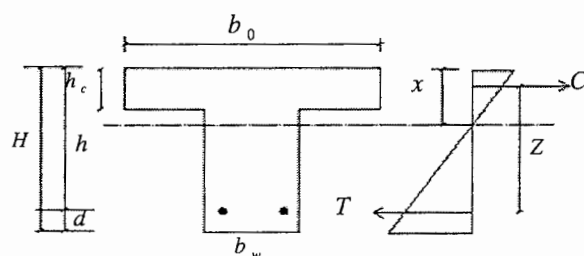
گام ششم: طراحی تیرچه برابر عرضی

طراحی تیرچه برابر عرضی شامل طراحی میلگرد کششی، برشی و فوقانی می باشد.

الف - طراحی میلگرد کششی تیرچه: با توجه به رابطه زیر سطح مقطع میلگرد کششی وسط

دهانه بدست می آید:

$$A_s = \frac{M_{(max)}}{\delta_a \cdot Z} \quad (7-2)$$



شکل ۲-۲- نمودار توزیع تنش در مقطع T شکل تحت خمش ساده

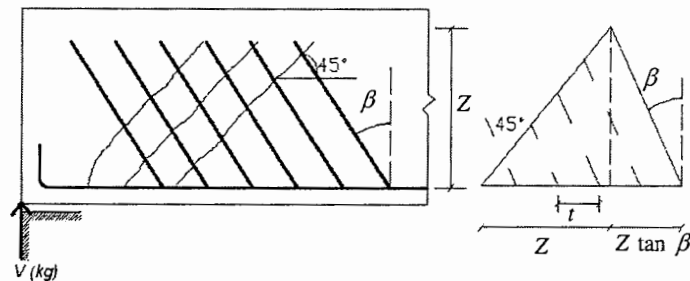
Z: بازوی لنگر مقطع T شکل تحت خمش ساده بر حسب cm که برای $\frac{h_c}{h}$ مختلف در

جدول زیر خلاصه شده است:

۰/۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۵	h_c / h
۰/۸۸H	۰/۸۹۵H	۰/۹۱H	۰/۹۳H	Z

جدول ۲-۱- مقادیر Z برای $\frac{h_c}{h}$ مختلف مقطع T شکل تحت خمش ساده

ب - طراحی میلگرد برشی :



شکل ۲-۳- توزیع ترکهای برشی در تیر تحت خمش ساده

با توجه به توزیع ترکهای برشی در تیر تحت خمش ساده سطح مقطع میلگرد برشی از رابطه زیر بدست می آید :

$$A_t = \frac{Z(1 + \tan \beta)}{t \cdot \delta_a} \cos \beta \quad (۸-۲)$$

پ - طراحی میلگرد فوقانی :

میلگرد فوقانی تیرچه با توجه به جدول (۲-۱) برای دهانه های مختلف تعیین می شود .

گام هفتم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی :

سطح مقطع شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی در امتداد تیرچه ۰/۰۰۱۲۵ و در امتداد عمود بر تیرچه ۰/۰۰۱۷۵ برابر سطح مقطع دال بتنی است که به فاصله ۳۰cm از یکدیگر قرار می گیرند .

گام هشتم : طراحی میلگرد منفی تکیه گاه :

سطح مقطع میلگرد منفی تکیه گاه ۰/۱۵ برابر میلگرد کششی وسط دهانه است که تا $\frac{1}{5}$ طول

دهانه از هر تکیه گاه ادامه دارد .

۲-۳- طراحی تئوریک سقف کامپوزیت

در سقف کامپوزیت تیرهای مرکب بارهای قائم را تحمل می کنند و اگر در فاصله بین تیرهای مرکب دال بتنی تشکیل گردد باید علاوه بر طراحی تیرهای مرکب دال را بصورت جداگانه مورد مطالعه قرار داد . در غیر اینصورت طراحی سقف به طراحی تیرهای مرکب محدود می شود . برای طراحی تیرهای مرکب آیین نامه ایران روش تنش مجاز و آیین نامه آمریکا روش مقاومت نهائی را مورد استفاده قرار داده است [۱۴] .

۲-۳-۱- طراحی تیرهای مرکب به روش تنش مجاز [۱۱] و [۱۴] :

الف - بدون استفاده از شمع بندی : در این روش قبل از گیرش بتن بارهای مرده و بارهای حین اجرا توسط تیر فولادی تحمل می شود و کلیه بارهای مرده و زنده پس از گیرش بتن توسط مقطع مرکب تحمل می شود .

در ادامه روند تحلیل و طراحی تیرهای مرکب بدون استفاده از شمع بندی ارائه می شود :

گام اول : تعیین فاصله بین تیرهای فولادی

گام دوم : تعیین ضخامت دال بتنی

گام سوم : تعیین تیر فولادی

گام چهارم : تعیین عرض موثر دال بتنی

گام پنجم : تعیین خصوصیات هندسی تیر مرکب :

برای محاسبه خصوصیات هندسی تیر مرکب از روش مقطع تبدیل یافته استفاده می شود بدین منظور که ضخامت دال بتنی ثابت و عرض موثر دال بتنی بر ضریب n که نسبت مدول الاستیسیته فولاد به بتن است تقسیم می شود و با استفاده از روشهای معمول مکانیک جامدات با صرف نظر از مقاومت کششی بتن محل محور خنثی و ممان اینرسی مقطع تبدیل یافته و بقیه مشخصات تیر مرکب بدست می آید .

گام ششم : کنترل کمانش جانبی تیر فولادی قبل از گیرش بتن

$$f_{cs} = \frac{M_{\max(DI)}}{S_{cs}} \leq F_{cs} \quad (۲-۹)$$

گام هفتم : کنترل تنش فشاری تیر مرکب :

$$f_{cc} = \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{n \cdot S_{cc}} \leq 0.45 f'_c \quad (10-2)$$

گام هشتم : کنترل تنش کششی تیر مرکب :

$$f_{tc} = \frac{M_{\max(D)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}} \leq 0.66 F_y \quad (11-2)$$

$$\frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}} \leq 0.9 F_y \quad (12-2)$$

گام نهم : کنترل تنش برشی تیر فولادی قبل از گیرش بتن :

$$f_v = \frac{V_{\max(D1)}}{d \cdot t_w} \leq F_v \quad (13-2)$$

گام دهم : کنترل تنش برشی تیر مرکب بعد از گیرش بتن :

$$f_v = \frac{V_{\max}}{d \cdot t_w} \leq F_v \quad (14-2)$$

گام یازدهم : کنترل خیز تیر مرکب :

خیز تیر مرکب تحت بارهای وارده شامل خیز تیر فولادی قبل از گیرش بتن ، خیز تیر مرکب حاصل از بارهای دائمی در دراز مدت و افت بتن می باشد .

الف - خیز تیر فولادی قبل از گیرش بتن :

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{DL_1 \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_s} \quad (15-2)$$

ب - خیز تیر مرکب ناشی از بارهای دائمی :

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{(DL + LL) \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_{ce}} \quad (16-2)$$

پ - خیز تیر مرکب ناشی از افت بتن :

$$\delta_{sh} = \frac{M_{sh} \cdot L^2}{8 E_s \cdot I_{ce}} \quad (17-2)$$

$$M_{sh} = N_{sh} \cdot e \quad (18-2)$$

$$E_{ce} = \frac{E_c}{(1 + c)} \quad (19-2)$$

$$N_{sh} = E_{ce} \cdot \epsilon_{sh} \cdot b_E \cdot h_c \quad (20-2)$$

ϵ_{sh} : کرنش جمع شدگی، طبق آیین نامه اروپا در محیطهای خشک 325×10^{-6} و در محیطهای مرطوب 200×10^{-6} تعیین گردیده است.

همچنین ممان اینرسی مورد استفاده برای تعیین خیز تیر مرکب تحت اثر بارهای کوتاه مدت I_c و ممان اینرسی مورد استفاده برای تحلیل تیر زیر اثر بارهای دائمی با تقسیم عرض موثر دال بتنی بر ضریب $(1+c) \cdot n$ بدست می آید.

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_{sh} \leq \frac{L}{240} \quad (21-2)$$

از آنجا که خیز تیر مرکب بدون شمع بندی بدلیل استفاده نکردن از شمع بندی زیاد است بهتر است برای رفع خیز بجای زیاد کردن مقطع تیر خیز منفی اولیه ای به آن اعمال نمود.

گام دوازدهم: کنترل فرکانس مود اول ارتعاش تیر مرکب [۴]:

$$\omega_n = n^2 \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot I_s}{m \cdot L^4}} \rightarrow \omega_1 = \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot E_s \cdot I_s}{(DL + LL) \cdot b_0 \cdot L^4}} = 70 \sqrt{\frac{I_s}{(DL + LL) \cdot b_0 \cdot L^4}}$$

$$\omega_1 \geq 5 \text{ hz} \quad (22-2)$$

گام سیزدهم: طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی:

سطح مقطع شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی برای $F_y = 3000 \frac{kg}{cm^2}$ حداقل 0.002 برابر سطح مقطع دال بتنی و برای $F_y = 4000 \frac{kg}{cm^2}$ حداقل 0.0018 برابر سطح مقطع دال بتنی می باشد که به فاصله حداکثر $35cm$ یا سه برابر ضخامت دال بتنی از یکدیگر قرار می گیرند.

ب - با استفاده از شمع بندی: در این روش قبل از گیرش بتن بارهای مرده و بارهای حین اجرا توسط شمع بندی تحمل می شود و کلیه بارهای مرده و زنده پس از گیرش بتن توسط مقطع مرکب تحمل می شود.

تحلیل و طراحی تیرهای مرکب با استفاده از شمع بندی مشابه روش بدون شمع بندی می باشد با این تفاوت که نیازی به کنترل کمانش جانبی تیر فولادی و کنترل تنش برشی قبل از گیرش بتن نمی باشد و خیز تیر فولادی قبل از گیرش بتن صفر می باشد.

۲-۳-۲- طراحی تیر مرکب به روش مقاومت نهایی [۱۴].

در آیین نامه ضریب بار و مقاومت نهایی آمریکا برای طراحی تیرهای مرکب دو روش وجود دارد، در یک روش تنها تیر فولادی در نظر گرفته شده و مقاومت مقطع مساوی مقاومت خمیری تیر فولادی فرض می گردد در این حالت نیازی به شمع بندی نیست، در روش دیگر مقاومت خمشی مقطع با توزیع ارتجاعی تنش معین می شود، به گونه ای که تنش در فولاد به تنش جاری شدن آن برسد. در شیوه طراحی اخیر باید اثر پایه های موقت مورد توجه قرار گیرد. همچنین لنگر مقاوم اسمی مقطع که با یکی از دو روش مزبور بدست آمده است با ضریب کاهش مقاومت که مساوی ۰/۸۵ است کاسته می شود. از سوی دیگر برای بررسی کفایت مقطع باید ظرفیت خمشی مقطع از بحرانی ترین حالت بارگذاری موجود بیشتر گردد. حالتهای بارگذاری بحرانی عبارتند از:

$$1.4DL \quad (2-23)$$

$$1.6LL + 1.2DL \quad (2-24)$$

در ادامه روند تحلیل و طراحی تیرهای مرکب به روش مقاومت نهایی ارائه می شود:

گام اول: تعیین فاصله بین تیرهای فولادی

گام دوم: تعیین ضخامت دال بتنی

گام سوم: تعیین تیر فولادی و کنترل رابطه زیر:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{5365}{\sqrt{F_y}} \quad (2-25)$$

اگر رابطه فوق صدق کند می توان لنگر مقاوم اسمی را مساوی لنگر خمیری مقطع در نظر گرفت

و در غیر اینصورت لنگر مقاوم اسمی با توزیع ارتجاعی تنش تعیین می شود.

گام چهارم: تعیین عرض موثر دال بتنی

گام پنجم: تعیین لنگر خمیری مقطع:

برای تعیین لنگر خمیری مقطع باید، موقعیت تار خنثی در حالت خمیری تعیین شود. تار

مذبور ممکن است در داخل دال بتنی، بال فوقانی تیر فولادی یا جان آن قرار گیرد. نیروی فشاری در

بال موثر بتنی حداقل سه مقدار مقاومت نهایی دال بتنی، تیر فولادی و یا برشگیرهای میان مقطع

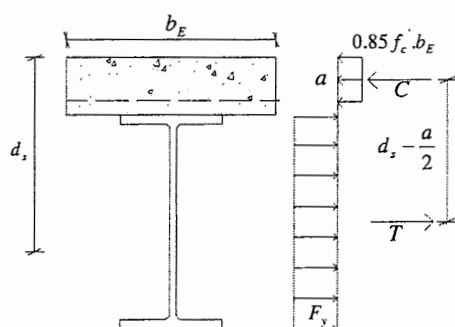
مورد نظر و مقطع با لنگر صفر است. به عبارت دیگر می توان نوشت:

$$C = \min\{0.85f'_c h_c b_E, A_b F_y, \sum q_{all}\} \quad (26-2)$$

اینک با استفاده از تعادل مقطع ، عمق بلوک تنش فشاری بتن به شکل زیر تعیین می گردد .

$$a = \frac{C}{0.85f'_c b_E} \quad (27-2)$$

الف - اگر مقدار a کوچکتر از h_c باشد تار خنثی خمیری در داخل دال بتنی قرار دارد . در این صورت لنگر مقاوم اسمی مقطع با توجه به شکل ۴-۲ طبق رابطه زیر تعیین می شود .



شکل ۴-۲- توزیع تنش تیر مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a < h_c$

$$M_n = A_b F_y \left(d_s - \frac{a}{2}\right) \quad (28-2)$$

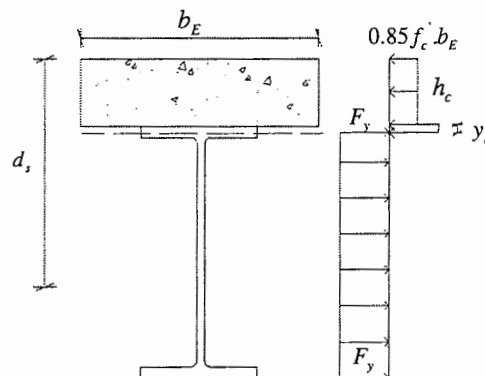
ب- در غیر این صورت تار خنثی خمیری در داخل تیر فولادی قرار می گیرد . مقدار نیروی فشاری در تیر فولادی به صورت زیر معین می گردد :

$$C_s = \frac{1}{2}(A_b F_y - C) \quad (29-2)$$

اگر نیروی C_s کوچکتر از ظرفیت خمیری بال فوقانی باشد تار خنثی در داخل بال قرار خواهد گرفت . در این حالت فاصله تار خنثی خمیری از تار فوقانی تیر فولادی از رابطه زیر حساب می گردد :

$$y_T = \frac{C_s}{b_f F_y} \quad (30-2)$$

لنگر مقاوم اسمی مقطع با توجه به شکل ۵-۲ طبق رابطه زیر تعیین می‌شود :



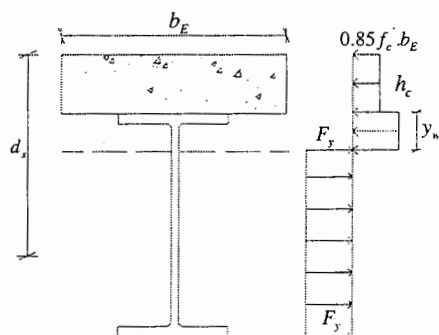
شکل ۵-۲- توزیع تنش تیر مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a \geq h_c$, $C_s \leq A_s F_y$

$$M_n = 0.85 f'_c b_E h_c \left(y_T + \frac{h_c}{2} \right) + A_s F_y (d_s - h_c - y_T) + b_f F_y y_T^2 \quad (31-2)$$

پ- در حالت سوم تار خنثی خمیری در داخل جان تیر فولادی قرار می گیرد. این در حالتی رخ میدهد که $C_s \geq A_s F_y$ باشد در چنین موقعیتی فاصله تار خنثی خمیری از تار فوقانی تیر فولادی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$y_w = \frac{C_s - A_s F_y}{A_w F_y} h_w + t_f \quad (32-2)$$

لنگر مقاوم اسمی در حالت مورد بحث مطابق شکل ۶-۲ طبق رابطه زیر تعیین می‌شود :



شکل ۶-۲- توزیع تنش تیر مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a \geq h_c$, $C_s \geq A_s F_y$

$$M_n = 0.85 f'_c \left(y_w + \frac{h_c}{2} \right) + A_s F_y (d_s - h_c - y_w) + 2 A_s F_y \left(y_w - \frac{t_f}{2} \right) + t_w F_y (y_w - t_f)^2 \quad (33-2)$$

گام ششم : اگر $\frac{h}{t_w} > \frac{5365}{\sqrt{F_y}}$ لنگر مقاوم اسمی با توزیع ارتجاعی تنش تعیین می شود.

در واقع محاسبات مربوطه در این حالت همانند روش تنش مجاز است با این تفاوت که حد بالای تنش در فولاد مساوی F_y می باشد .

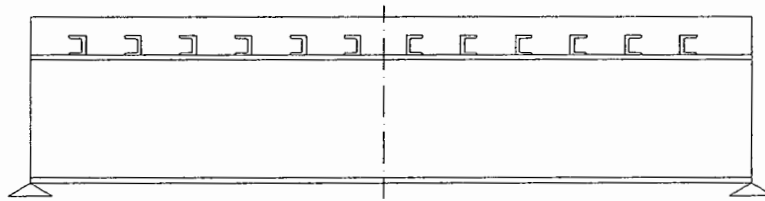
گام هفتم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی :

سطح مقطع شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی برای $F_y = 3000 \frac{kg}{cm^2}$ حداقل 0.002

برابر سطح مقطع دال بتنی و برای $F_y = 4000 \frac{kg}{cm^2}$ حداقل 0.0018 برابر سطح مقطع دال بتنی

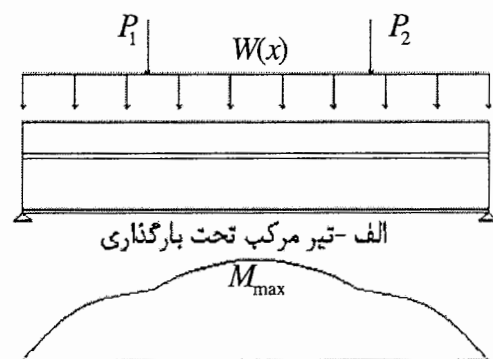
می باشد که به فاصله حداکثر $35cm$ یا سه برابر ضخامت دال بتنی از یکدیگر قرار می گیرند .

۲-۳-۳- طراحی برشگیرهای تیر مرکب به روش مقاومت نهائی و تنش مجاز [۱۴].

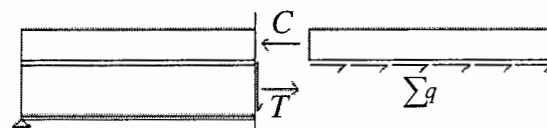


شکل ۲-۷- نحوه آرایش برشگیر در تیر مرکب

برای حصول اطمینان از عملکرد تیرهای مرکب لازم است برش موجود در محل اتصال بتن و فولاد به نحو مناسبی توسط اتصالات برشی تحمل شود. چنانچه تیر مرکب دارای نمودار لنگر خمشی مطابق شکل ۲-۸-ب باشد آنگاه نمودار آزاد قسمتی از تیر مرکب در فاصله بین لنگر خمشی حداکثر و لنگر صفر همراه با نیروهای وارده با فرض وقوع حالت حدی در بتن و فولاد مطابق شکل ۲-۸-ج خواهد بود :



ب- نمودار لنگر خمشی تیر مرکب



ج- نمودار شکل آزاد تیر در فاصله لنگر خمشی حداکثر و صفر

شکل ۲-۸- نیروی برشی در اتصالات برشی تیر مرکب

حداکثر نیروی فشاری در بتن از رابطه زیر بدست می آید :

$$C = 0.85 f'_c \cdot b_E \cdot h_c \quad (۲-۳۴)$$

همچنین نیروی نهائی کششی در تیر فولادی برابر خواهد بود با :

$$T = A_b \cdot F_y \quad (۳۵-۲)$$

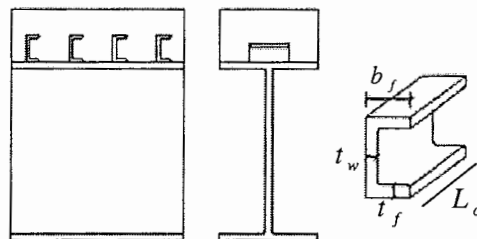
چنانچه نیروی فشاری و کششی به ترتیب در بتن و فولاد به طور همزمان به حالت حدی نرسد نیروی برشی توسعه یافته در اتصالات برشی در روش مقاومت نهائی، V_h ، حداقل مقادیر C و T و در روش تنش مجاز نصف مقادیر C و T خواهد بود. بنابراین نیروی برشی طراحی برشگیرها برای تیر مرکب تحت اثر لنگر خمشی مثبت در روش مقاومت نهائی از رابطه (۳۵-۲) و در روش تنش مجاز از رابطه (۳۶-۲) بدست می آید :

$$V_h = \min(A_b \cdot F_y, 0.85 f_c' b_E h_c) \quad (۳۶-۲)$$

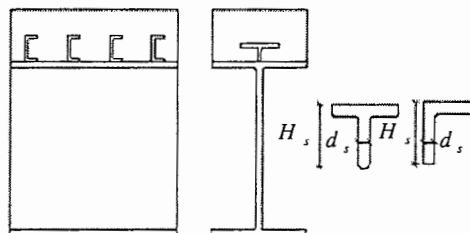
$$V_h = \min\left(\frac{A_b \cdot F_y}{2}, \frac{0.85 f_c' b_E h_c}{2}\right) \quad (۳۷-۲)$$

تعداد برشگیرها در فاصله لنگر خمشی ماکزیمم و صفر برابر است با :

$$N = \frac{V_h}{q_{all}} \quad (۳۸-۲)$$



الف - برشگیر ناودانی



ب - برشگیر گل میخ

شکل ۲-۹- انواع برشگیرهای رایج در تیرهای مرکب

که برای برشگیر ناودانی توسط رابطه زیر تعیین می شود :

$$q_{all} = 0.15(t_f + 0.5t_w).L_c.\sqrt{f'_c.E_c} \quad (۲-۳۹)$$

و برای برشگیر گل میخ می توان از رابطه زیر استفاده کرد :

$$q_{all} = 0.2d_s^2.\sqrt{f'_c.E_c} \quad : \quad \frac{H_s}{d_s} \geq 4 \quad (۲-۴۰)$$

در این رابطه d_s قطر گل میخ می باشد .

۲-۴- طراحی تئوریک سقف تیرچه فولادی با جان باز

در سقف تیرچه فولادی با جان باز تیرچه های فولادی در ترکیب با بتن بارهای قائم را تحمل می کنند و اگر در فاصله بین تیرچه های مرکب دال بتنی تشکیل گردد باید علاوه بر طراحی تیرچه های مرکب دال را بصورت جداگانه مورد مطالعه قرار داد . در غیر اینصورت طراحی سقف به طراحی تیرچه های مرکب محدود می شود . برای طراحی تیرچه های فولادی با جان باز در ترکیب با بتن دو روش تنش مجاز و حد نهائی پیشنهاد شده است .

۲-۴-۱- طراحی تیرچه های فولادی با جان باز در ترکیب با بتن به روش تنش مجاز [۱۹] :

در این روش تیرچه های فولادی با جان باز به گونه ای طرح می شود که بتواند قبل از گیرش بتن کلیه بارهای مرده و بارهای حین اجرا را تحمل نماید ، همچنین پس از گیرش بتن تیرچه فولادی با جان باز در ترکیب با بتن باید بتواند کلیه بارهای مرده و زنده را تحمل نماید .

در ادامه روند تحلیل و طراحی تیرچه های فولادی در ترکیب با بتن با روش تنش مجاز ارائه

می شود :

گام اول : تعیین ضخامت سقف و ارتفاع تیرچه

گام دوم : تعیین فاصله بین تیرچه های فولادی

گام سوم : تعیین ضخامت دال بتنی

گام چهارم : تعیین عرض موثر دال بتنی

گام پنجم : تعیین اعضای تیرچه فولادی

گام ششم : تعیین تعداد کلافهای میانی و کنترل رابطه زیر :

$$\frac{L_r}{r_y} < 145 \quad (۴۱-۲)$$

گام هفتم : تعیین خصوصیات هندسی تیرچه فولادی

گام هشتم : تعیین خصوصیات هندسی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

برای محاسبه خصوصیات هندسی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن از روش مقطع تبدیل یافته استفاده می شود بدین منظور که ضخامت دال بتنی ثابت و عرض موثر دال بتنی بر ضریب n که نسبت مدول الاستیسیته فولاد به بتن است تقسیم می شود و با استفاده از روشهای معمول مکانیک جامدات با صرف نظر از مقاومت کششی بتن محل محور خنثی و ممان اینرسی مقطع تبدیل یافته و بقیه مشخصات تیرچه فولادی در ترکیب با بتن بدست می آید .

گام نهم : کنترل کمانش جانبی تیرچه فولادی قبل از گیرش بتن

$$f_{cs} = \frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} \leq F_{cs} \quad (۴۲-۲)$$

گام دهم : کنترل تنش فشاری تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

$$f_{cc} = \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{n \cdot S_{cc}} \leq 0.45 f'_c \quad (۴۳-۲)$$

گام یازدهم : کنترل تنش کششی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

$$f_{tc} = \frac{M_{\max(D)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}} \leq 0.66 F_y \quad (۴۴-۲)$$

$$\frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}} \leq 0.9 F_y \quad (۴۵-۲)$$

گام دوازدهم : کنترل تنش برشی تیرچه فولادی قبل از گیرش بتن :

$$V_{\max} \leq V_j \quad (۴۶-۲)$$

$$V_j = F_a \cdot A_t \quad (۴۷-۲)$$

گام سیزدهم : کنترل تنش برشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن بعد از گیرش بتن :

$$V_{\max} \leq V_f + V_c \quad (48-2)$$

$$V_f = F_a A_t \quad (49-2)$$

$$V_c = 0.31 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (50-2)$$

در این رابطه d ارتفاع تیرچه فولادی می باشد .

گام چهاردهم : کنترل خیز تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

خیز تیر مرکب تحت بارهای وارده شامل خیز تیر فولادی قبل از گیرش بتن ، خیز تیر مرکب

حاصل از بارهای دائمی در دراز مدت و افت بتن می باشد .

الف - خیز تیرچه فولادی قبل از گیرش بتن :

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{D_1 \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_s} \quad (51-2)$$

ب - خیز تیرچه فولادی در ترکیب با بتن ناشی از بارهای دائمی :

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{(DL + LL) \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_{ce}} \quad (52-2)$$

پ - خیز تیرچه فولادی در ترکیب با بتن ناشی از افت بتن :

$$\delta_{sh} = \frac{M_{sh} \cdot L^2}{8 E_s \cdot I_{ce}} \quad (53-2)$$

$$M_{sh} = N_{sh} \cdot e \quad (54-2)$$

$$E_{ce} = \frac{E_c}{1 + c} \quad (55-2)$$

$$N_{sh} = E_{ce} \cdot E_{sh} \cdot b_E \cdot h_c \quad (56-2)$$

ϵ_{sh} : کرنش جمع شدگی ، طبق آیین نامه اروپا در محیطهای خشک 325×10^{-6} و در محیطهای مرطوب 200×10^{-6} تعیین گردیده است .

همچنین ممان اینرسی مورد استفاده برای تعیین خیز تیر مرکب تحت اثر بارهای کوتاه مدت

I_c و ممان اینرسی مورد استفاده برای تحلیل تیر زیر اثر بارهای دائمی با تقسیم عرض موثر دال بتنی

بر ضریب $(1+c) \cdot n$ بدست می آید .

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_{sh} \leq \frac{L}{240} \quad (2-57)$$

از آنجا که خیز تیرچه فولادی در ترکیب با بتن بدلیل استفاده نکردن از شمع بندی زیاد است بهتر است برای رفع خیز بجای زیاد کردن مقطع تیرچه خیز منفی اولیه ای به آن اعمال نمود .

گام پانزدهم : کنترل فرکانس مود اول ارتعاش تیرچه فولادی در ترکیب با بتن [۴] :

$$\omega_n = n^2 \pi^2 \sqrt{\frac{E_s I_s}{m L^4}} \rightarrow \omega_1 = \pi^2 \sqrt{\frac{g E_s I_s}{(DL+LL) b_0 L^4}} = 70 \sqrt{\frac{I_s}{(DL+LL) b_0 L^4}}$$

$$\omega_1 \geq 5 \text{ hz} \quad (2-58)$$

گام شانزدهم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی

حداقل سطح مقطع شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی ۰/۰۰۲ سطح مقطع دال بتنی است که در فواصل ۳۰cm یا ۵ برابر ضخامت دال بتنی از یکدیگر قرار می گیرند .

۲-۴-۲- طراحی تیرچه های فولادی با جان باز در ترکیب با بتن به روش حد نهائی [۱۹] :

این روش بر اساس مقاومت نهائی بتن و فولاد مقطع می باشد و ظرفیت باربری مقطع تشکیل بلوک مستطیلی در بتن و رسیدن به حد جاری شدگی در فولاد مطابق روش طراحی حد نهائی پیش بینی می گردد . تنش فشاری بتن در ناحیه فشاری موثر معادل $0.85 f_c'$ در نظر گرفته می شود و از ظرفیت کششی بتن صرفنظر می شود و تنش فولاد در ناحیه کششی و فشاری بصورت یکنواخت و معادل با F_y فرض می شود . همچنین لنگر مقاوم اسمی مقطع که با یکی از دو روش مزبور بدست آمده است با ضریب کاهش مقاومت که مساوی ۰/۸۵ است کاسته می شود . از سوی دیگر برای بررسی کفایت مقطع باید ظرفیت خمشی مقطع از بحرانی ترین حالت بارگذاری موجود بیشتر گردد .
حالت های بارگذاری بحرانی عبارتند از :

$$1.4DL \quad (2-59)$$

$$1.6LL + 1.2DL \quad (2-60)$$

در ادامه روند تحلیل و طراحی تیرچه های فولادی در ترکیب با بتن با روش حد نهائی ارائه

می شود :

گام اول : تعیین ضخامت سقف و ارتفاع تیرچه

گام دوم : تعیین فاصله بین تیرچه های فولادی

گام سوم : تعیین ضخامت دال بتنی

گام چهارم : تعیین عرض موثر دال بتنی

گام پنجم : تعیین اعضای تیرچه فولادی

گام ششم : تعیین تعداد کلافهای میانی و کنترل رابطه زیر

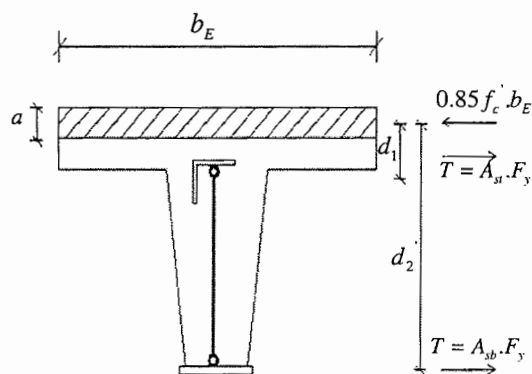
$$\frac{L_r}{r_y} < 145 \quad (۶۱-۲)$$

گام هفتم : تعیین ظرفیت خمشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

ظرفیت خمشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن بستگی به موقعیت تار خنثی در دال بتنی و یا

خارج از آن دارد که به ترتیب زیر قابل محاسبه است :

الف - اگر تار خنثی در دال بتنی قرار گیرد ظرفیت خمشی تیر را رابطه زیر بدست می آید :

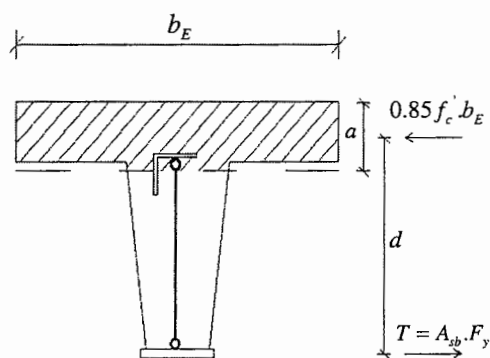


شکل ۲-۱۰- توزیع تنش تیرچه فولادی مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a \leq h_c$

$$a = \frac{(A_{sb} + A_{st}) \cdot F_y}{0.85 f'_c \cdot b_E} \quad (۶۲-۲)$$

$$M_n = (A_{sb} \cdot d'_1 + A_{st} \cdot d'_2) \cdot F_y \quad (۶۳-۲)$$

ب - اگر تار خنثی خارج از دال بتنی قرار گیرد می توان برای سادگی از وجود بال فوقانی در محاسبات صرف نظر کرد در این حالت می توان از روابط زیر برای محاسبه ظرفیت خمشی تیر استفاده کرد :



شکل ۲-۱۱- توزیع تنش تیرچه فولادی مرکب در حالت حد نهائی وقتی $a > h_c$

$$a = \frac{A_{sb} \cdot F_y}{0.85 f'_c \cdot b_E} \quad (۲-۶۴)$$

$$M_n = A_{sb} \cdot d \cdot F_y \quad (۲-۶۵)$$

در این رابطه d فاصله مرکز بلوک مستطیل تنش از مرکز سطح یال تحتانی تیرچه فولادی می باشد .

گام هشتم : کنترل ظرفیت خمشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

ظرفیت خمشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن باید بیشتر از لنگر خمشی ناشی از بارهای ضریب دار مرده و زنده وارد بر آن باشد .

گام نهم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی

حداقل سطح مقطع شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی ۰/۰۰۲ برابر سطح مقطع دال بتنی

است که در فواصل ۳۰cm یا ۵ برابر ضخامت دال بتنی از یکدیگر قرار می گیرند .

فصل سوم

طراحی سقفها بر روی پلان مدل

مقدمه

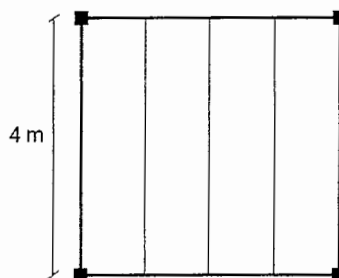
پس از آشنائی با روشهای تئوریک طراحی و نکات و ضوابط آیین نامه ای سقفها در این فصل برای روشن شدن بحث و درک بهتر از طراحی سقفها ابتدا با طرح یک مثال به طراحی سقفهای متداول در ایران با استفاده از روشهای ذکر شده در فصل گذشته می پردازیم . سپس در ادامه برای سرعت بخشیدن به روند طراحی و جلوگیری از بروز خطا به ارائه برنامه کامپیوتری تنظیم شده برای طراحی سقفهای فوق می پردازیم .

۳-۱- طراحی سقفها بر روی پلان مدل با استفاده از روشهای طراحی موجود

پس از آشنائی با روشهای تئوریک طراحی سقفها و موارد ذکر شده در آیین نامه ها برای روشن شدن بحث و درک بهتر موضوع به بیان چند مثال در رابطه با طراحی سقفها می پردازیم . در این مثالها به طراحی سقفهای ذکر شده برای یک پانل فرضی 4×4 می پردازیم . لازم به ذکر است که این مثالها تنها برای درک بهتر مساله بیان می شوند و فرضهای در نظر گرفته شده برای آغاز طراحی هر سقف با نگاه به عرف موجود در جامعه مهندسی انتخاب شده است .

۳-۱-۱- طراحی سقف طاق ضربی بر روی پلان مدل

در یک پانل مستطیلی از سقف یک ساختمان مسکونی که برای پوشش آن از تیر فولادی و طاق آجری استفاده شده است با فرض اینکه تیرها با انتهای مفصلی انتخاب شوند و فولاد از نوع ST ۳۷ با تنش جاری شدن $2400 \frac{kg}{cm^2}$ باشد سقف را طراحی کنید؟



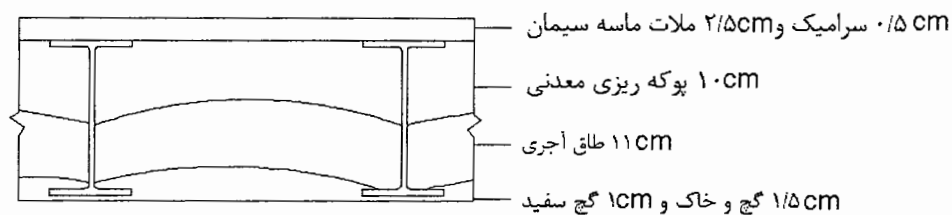
حل:

گام اول : فاصله بین تیرهای فولادی را ۱ متر انتخاب می کنیم .

گام دوم : تیر فولادی را IPE ۱۶ انتخاب می کنیم .

گام سوم : کنترل تنش کششی تیر فولادی

بارهای وارد بر سقف برابر است با :



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سرامیک}$$

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{kg}{m^2} \quad \text{ملات ماسه سیمان}$$

$$0.1 \times 600 = 60 \frac{kg}{m^2} \quad \text{پوکه ریزی معدنی}$$

$$0.11 \times 1850 = 204 \frac{kg}{m^2} \quad \text{طاق آجری}$$

$$0.01 \times 1300 + 0.015 \times 1600 = 37 \frac{kg}{m^2} \quad \text{گچ و خاک و گچ سفید}$$

$$120 \frac{kg}{m^2} \quad \text{تیغه بندی}$$

$$\Sigma = 484.4 \approx 500 \frac{kg}{m^2}$$

$$LL = 200 \frac{kg}{m^2}, \quad DL = 500 + G_{Beam} = 500 + 15.8 = 515.8 \frac{kg}{m^2}$$

لنگر ماکزیمم تیر فولادی برابر است با :

$$M_{max} = \frac{(DL + LL) \times b_s \times L^2}{8} = \frac{(515.8 + 200) \times 1 \times 4^2}{8} = 1432 \text{ kg.m}$$

تنش کششی و فشاری ماکزیمم تیر فولادی برابر است با :

$$f_{ts} = f_{cs} = \frac{M_{\max}}{S} = \frac{143200}{109} = 1314 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز، $0.6 F_y$ ، کوچکتر است بنابراین مقطع از نظر تنش کششی و فشاری قابل قبول است .

گام چهارم : کنترل تنش برشی تیر فولادی

تنش برشی ماکزیمم تیر فولادی برابر است با :

$$V_{\max} = \frac{(DL + LL) \times b_o \times L}{2} = \frac{(515.8 + 200) \times 1 \times 4}{2} = 1432 \text{ kg}$$

$$f_v = \frac{V_{\max}}{d.t_w} = \frac{1432}{16 \times 0.5} = 179 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز، $0.4 F_y$ ، کوچکتر است بنابراین مقطع از نظر تنش برش قابل قبول است .

گام پنجم : کنترل خیز تیر فولادی

خیز ماکزیمم تیر فولادی تحت اثر بارهای قائم برابر است با :

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{(DL + LL).L^4.b_o}{E_s.I_s} = \frac{5}{384} \times \frac{(7.158) \times 400^4 \times 1}{2.1 \times 10^6 \times 869} = 1.31 \text{ cm}$$

خیز مزبور از خیز مجاز، $\frac{L}{240}$ ، کوچکتر است بنابراین مقطع از نظر خیز قابل قبول است .

گام ششم : کنترل فرکانس مود اول ارتعاش تیر فولادی

فرکانس مود اول ارتعاش تحت اثر بارهای قائم برابر است با :

$$\omega_1 = 70 \sqrt{\frac{I_s}{(DL + LL).b_o.L^4}} = 70 \sqrt{\frac{869}{(515.8 + 200) \times 1 \times 4^4}} = 4.82 \text{ hz}$$

فرکانس مزبور از فرکانس مجاز، 5 hz ، کوچکتر است بنابراین مقطع از نظر فرکانس قابل قبول نمی باشد .

گام هفتم : طراحی میلگرد مهار ضربدري

$$a = 4 \text{ m} \quad b = 4 \text{ m} \quad : \quad d = \sqrt{(4^2 + 4^2)} = 5.66 \text{ m}$$

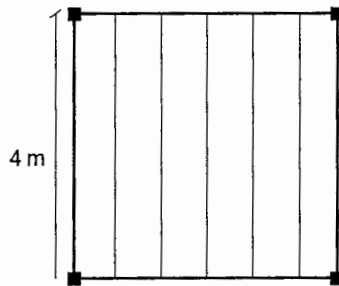
$$A = 0.04 \times 4 \times 5.66 = 0.91 \text{ cm}^2 \quad : \quad d = 10.77 \text{ mm}$$

قطر میلگرد مزبور از قطر مجاز ، $\phi 14$ ، کوچکتر است بنابراین میلگرد مهار ضربدري را $\phi 14$ انتخاب می کنیم .

۳-۱-۲- طراحی سقف تیرچه بلوک بر روی پلان مدل

در یک پانل مستطیلی از سقف یک ساختمان مسکونی که برای پوشش آن تیرچه خرپائی با انتهای مفصلی و بلوک پلی استایرن استفاده شده است با فرض اینکه میلگردها دارای تنش مجاز

$$\bar{\sigma}_a = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \quad \text{بتن دارای } f'_c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ و } w_c = 2350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ باشد. سقف را طراحی کنید؟}$$



حل :

گام اول : ضخامت سقف را ۲۱ cm انتخاب می کنیم .

گام دوم : فاصله بین تیرچه های باربر عرضی را ۷۰ cm انتخاب می کنیم .

گام سوم : ضخامت دال بتنی را ۶ cm انتخاب می کنیم .

$$h_c = \max \left(5, \frac{b_0}{12} \right) = \max \left(5, \frac{70}{12} \right) = 5.88 \approx 6 \text{ cm}$$

با توجه به ضخامت سقف و دال بتنی از بلوک پلی استایرن به ارتفاع ۱۵cm استفاده می شود .

گام چهارم : تعیین عرض تیرچه باربر عرضی

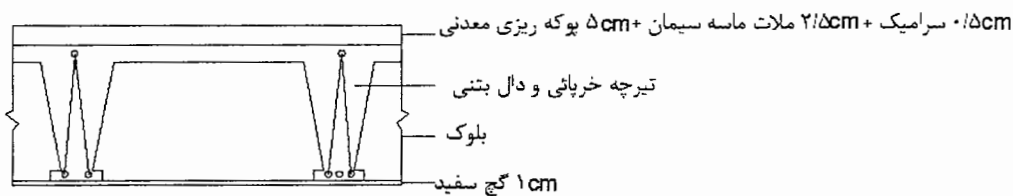
$$b_w = \max \left(10, \frac{H}{3.5} \right) = \max (10, 6) = 10 \text{ cm}$$

گام پنجم : تعیین عرض موثر دال بتنی

$$b_E = \min\left(\frac{L}{4}, \frac{b_1 + b_2}{2}, b_w + 16h_c\right) = \min\left(\frac{4}{4}, \frac{0.7 + 0.7}{2}, (0.1 + 16 \times 0.08)\right) \\ = \min(1, 0.7, 1.38) = 0.7$$

گام ششم : طراحی تیرچه باربر عرضی

بارهای وارده بر سقف برابر است با :



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سرامیک}$$

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{kg}{m^2} \quad \text{مالت ماسه سیمان}$$

$$0.05 \times 600 = 30 \frac{kg}{m^2} \quad \text{پوکه ریزی با پوکه معدنی}$$

$$0.01 \times 1300 + 0.15 \times 1600 = 37 \frac{kg}{m^2} \quad \text{گچ و خاک و گچ سفید}$$

$$120 \frac{kg}{m^2} \quad \text{تیغه بندی}$$

$$\sum = 250 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{وزن بتن دال تیرچه} = 0.06 \times 2350 = 141 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{وزن بتن جان تیرچه} = \frac{0.1 \times 0.15 \times 2350}{0.7} = 50.4 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{وزن بلوک} = 0$$

$$D = 141 + 50.4 + 250 = 441.4 \frac{kg}{m^2}, \quad L = 200 \frac{kg}{m^2}$$

الف - طراحی میلگرد کششی تیرچه :

لنگر ماکزیمم وارد بر تیرچه تحت اثر بارهای قائم برابر است با :

$$M_{\max} = \frac{(DL + LL) \cdot b_0 \cdot L^2}{8} = \frac{641.4 \times 0.7 \times 4^2}{8} = 897.9 \text{ kg.m}$$

بازوی لنگر مقطع T شکل برابر است با :

$$h = H - 2 = 21 - 2 = 19 \text{ cm} \quad \frac{h_c}{h} = \frac{6}{19} = 0.32 \quad ; \quad Z = 16.63 \text{ cm}$$

سطح میلگرد کششی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$A_s = \frac{M_{\max}}{Z \cdot \delta_a} = \frac{89790}{16.6 \times 2000} = 2.7 \text{ cm}^2 \quad ; \quad A_{s(2\phi 10 + 1\phi 14)} = 2 \times 0.785 + 1.131 = 2.701 \geq 2.7$$

بنابراین ۲ عدد میلگرد ۱۰ و ۱ عدد میلگرد ۱۲ مناسب است .

جهت کنترل تنش میلگردهای کششی داریم :

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2100000}{0.135 \times 2350^{1.5} \times 250^{0.5}} = \frac{2100000}{243168} \approx 9$$

$$h = 21 - 2 - 0.6 = 18.4 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} b_w \cdot x^2 + h_c (b_0 - b_w) \cdot (x - \frac{1}{2} h_c) = n A_s (h - x) \quad 5x^2 + 384.3x - 1527.19 = 0$$

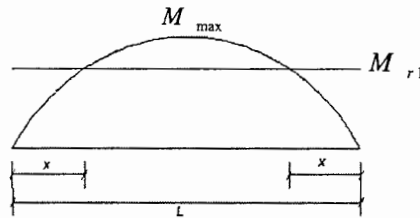
$$x = 3.79 \text{ cm}$$

$$Z = h - \frac{x}{3} = 19 - \frac{3.79}{3} = 17.74 \text{ cm} \quad \delta_a = \frac{89790}{17.44 \times 2.701} = 1906.15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز میلگرد که $2000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ در نظر گرفته شده است ، کوچکتر است .

بنابراین میلگرد کششی قابل قبول است .

همچنین از آنجا که لنگر در وسط دهانه ماکزیمم مقدار را دارد لازم نیست همه میلگردها در تمام طول تیر ادامه پیدا کند بنابراین با فرض اینکه میلگرد ۱۲ تقویتی باشد طول موردنیاز آن را بدست می آوریم :



$$M_{r1} = \bar{\delta}_a . A_s . Z = 2000 \times 2 \times 0.785 \times 17.74 = 55703.6 \text{ kg.cm}$$

$$M_x = \frac{(DL+LL).b_0.L.x}{2} - \frac{(DL+LL).b_0.x^2}{2}$$

$$55703/6 = \frac{0.7 \times 641.4 \times 4 \times x}{2} - \frac{0.7 \times 641.4 \times x^2}{2} : x = 0.73$$

$$L_{\phi 12} = 400 - 2 \times 73 + 2 \times 40 \times 1 = 349 \text{ cm}$$

ب- طراحی میلگرد برشی تیرچه :

برش ماکزیمم وارد بر تیرچه برابر است با :

$$V_{\max} = \frac{(DL+LL).b_0.L}{2} = \frac{641.4 \times 0.7 \times 4}{2} = 897.96 \text{ kg}$$

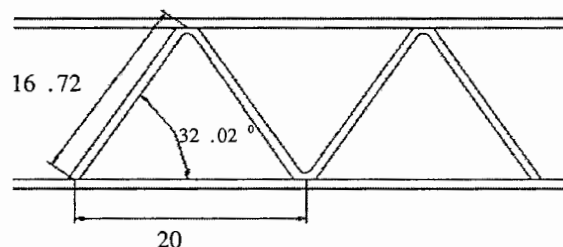
بر اساس آیین نامه بتن ایران اگر تنش برشی ماکزیمم تیرچه از نصف تنش برشی بتن بیشتر

باشد بتن به تنهایی برای تحمل برش کافی نیست و نیاز به آرماتور برشی می باشد. یعنی :

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max}}{b_w . Z} = \frac{897.96}{10 \times 17.74} = 5.06 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$v_c = 0.53 \sqrt{f'_c} = 8.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} : \tau_{\max} > \frac{1}{2} v_c$$

با فرض اینکه فاصله بین گره های میلگرد برشی ۲۰ cm باشد . زاویه بین میلگرد برشی با افق برابر است با :



$$\beta = \text{Arc tan} \frac{18.4 - 4 - 0.6 - 0.4}{10} = 32.02^\circ$$

سطح میلگرد برشی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$A_t = \frac{V.t}{\delta_a.Z.(\sin \beta + \cos \beta)} = \frac{897.96 \times 20}{2000 \times 17.74 \times (\sin 32.02 + \cos 32.02)} = 0.36 \text{ cm}^2$$

$$A_{t(\min)} = 0.0015b_w.t = 0.0015 \times 10 \times 20 = 0.3 \text{ cm}^2 \quad : \quad A_t \geq A_{t(\min)}$$

که از ۱ عدد میلگرد ۸ استفاده می شود .

گام هفتم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی

در امتداد تیرچه :

$$A = 0.00125 \times 6 \times 100 = 0.75 \text{ cm}^2 \quad \phi 6 @ 30 \text{ cm}$$

در امتداد عمود بر تیرچه :

$$A = 0.00175 \times 6 \times 100 = 1.05 \text{ cm}^2 \quad \phi 6 @ 30 \text{ cm}$$

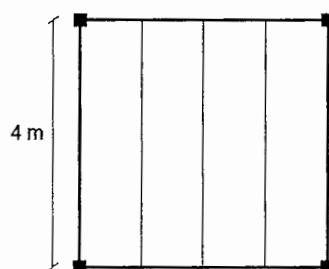
گام هشتم : طراحی میلگرد منفی تکیه گاه

سطح میلگرد منفی به صورت زیر بدست می آید :

$$A = 0.15 \times 2.7004 = 0.41 \text{ cm}^2 \quad \phi 8 (L = 80 \text{ cm})$$

۳-۱-۳- طراحی سقف کامپوزیت بر روی پلان مدل

در یک پانل مستطیلی از سقف یک ساختمان مسکونی که برای پوشش آن از تیرهای فولادی با انتهای مفصلی و دال بتنی مسلح به صورت مرکب استفاده شده است با فرض اینکه فولاد از نوع ST۳۷ با تنش جاری شدن $2400 \frac{kg}{cm^2}$ ، بتن دارای $f'_c = 250 \frac{kg}{cm^2}$ ، $c = 2$ ، $w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$ و بار اضافی وارده بر سقف ناشی از بتن ریزی با پمپ $80 \frac{kg}{m^2}$ باشد سقف را به روش تنش مجاز (بدون شمع بندی، با شمع بندی) و روش مقاومت نهائی طراحی کنید ؟



حل :

الف - روش تنش مجاز (بدون شمع بندی)

گام اول : فاصله بین تیرهای فولادی را 1 m انتخاب می کنیم .

گام دوم : ضخامت دال بتنی را 8 cm انتخاب می کنیم .

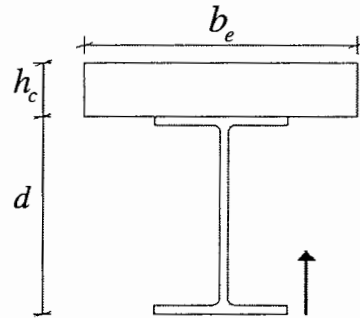
گام سوم : تیر فولادی را IPE16 انتخاب می کنیم .

گام چهارم : تعیین عرض موثر دال بتنی

$$b_E = \min\left(\frac{L}{4}, \frac{b_1 + b_2}{2}, b_f + 16h_c\right) = \min\left(\frac{4}{4}, \frac{2}{2}, (0.082 + 16 \times 0.08)\right) \\ = \min(1, 1, 1.36) = 1 \text{ m}$$

گام پنجم: تعیین خصوصیات هندسی تیر مرکب

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, \quad E_c = 0.135 w_c^{1.5} \cdot \sqrt{f'_c} = 243168 \frac{kg}{cm^2}$$



$$n = \frac{E_s}{E_c} = 9$$

$$b_e = \frac{b_w}{n} = \frac{100}{9} = 11.1 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{A_s \frac{d}{2} + b_e h_c \left(d + \frac{h_c}{2}\right)}{A_s + b_e h_c} = \frac{20.1 \times 8 + 11.1 \times 8 \times (1 + 4)}{20.1 + 11.1 \times 8} = 17.79 \text{ cm}$$

از آنجا که $\bar{y}$ بزرگتر از ارتفاع تیر فولادی است پس تار خنثی داخل دال بتنی قرار دارد بنابراین باید از بتن ترک خورده در محاسبه خواص مقطع چشم پوشی نمود، برای محاسبه صحیح $\bar{y}$ باید لنگر استاتیک بالا و پایین تار خنثی که نشانه آن Q_T, Q_B است مساوی قرار داده شوند:

$$Q_T = Q_B : \quad \frac{b_e}{2} (d + h_c - \bar{y})^2 = A_s \left(\bar{y} - \frac{d}{2}\right)$$

$$\frac{11.1}{2} \times (24 - \bar{y})^2 = 20.1 \bar{y} - 160.8 \rightarrow \bar{y} = 17.98 \text{ cm} \approx 18 \text{ cm}$$

ممان اینرسی و اساس مقطع تار تحتانی و فوقانی تیر مرکب به صورت زیر محاسبه می گردد :

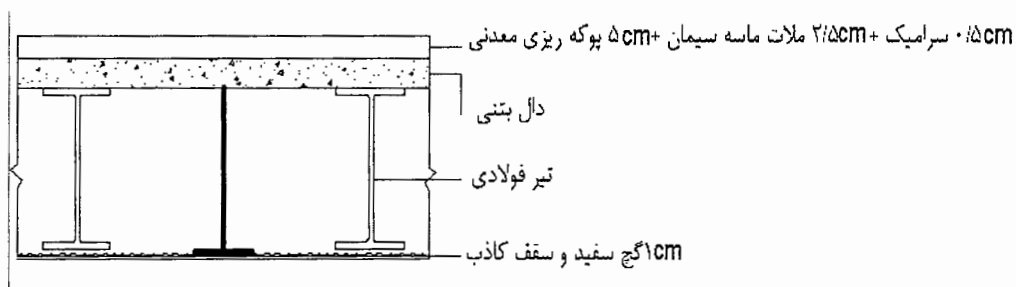
$$I_c = I_s + A_s \left(\bar{y} - \frac{d}{2} \right)^2 + \frac{1}{3} b_e (d - h_c - \bar{y})^3 = 869 + 20.1 \left(18 - \frac{16}{2} \right) + \frac{1}{3} \times 11.1 \times (16 + 8 - 18) = 3678 \text{ cm}^4$$

$$S_{ic} = \frac{I_c}{y} = \frac{3678}{18} = 20433 \text{ cm}^3$$

$$S_{cc} = \frac{I_c}{d + h_c - y} = \frac{3678}{16 + 8 - 18} = 613 \text{ cm}^3$$

گام ششم : کنترل کمانش جانبی تیر فولادی قبل از گیرش بتن

بارهای وارد بر سقف برابر است با :



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{سرامیک}$$

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{ملات ماسه سیمان}$$

$$0.05 \times 600 = 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{پوکه ریزی با پوکه معدنی}$$

$$0.01 \times 1300 + 30 \approx 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{سقف کاذب و گچ سفید}$$

$$120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{تیغه بندی}$$

$$\Sigma = 265 \approx 270 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$DL_1 = 2350 \times 0.08 + 15.8 + 80 = 283.8 \frac{kg}{m} : M_{\max(D1)} = \frac{283.8 \times 4^2 \times 100}{8} = 56760 \text{ kg.cm}$$

$$DL_2 = 270 \frac{kg}{m^2} : M_{\max(D2)} = \frac{270 \times 4^2 \times 100}{8} = 54000 \text{ kg.cm}$$

$$LL = 200 \frac{kg}{m^2} : M_{\max(L)} = \frac{200 \times 4^2 \times 100}{8} = 40000 \text{ kg.cm}$$

با فرض اینکه تنها 20% بار زنده در حین اجرا بر سقف اعمال می شود داریم :

$$f_{cs} = \frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} = \frac{56760 + 0.2 \times 40000}{109} = 594.13 \text{ kg/cm}^2$$

تنش مزبور از تنش مجاز، $0.6F_y$ ، کوچکتر است بنابراین در این مرحله مقطع مناسب است .

گام هفتم : کنترل تنش فشاری تیر مرکب

$$f_{cc} = \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{n \cdot S_{cc}} = \frac{54000 + 40000}{9 \times 613} = 17.04 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش فوق از تنش فشاری مجاز بتن، $0.45f'_c$ ، کوچکتر است . بنابراین در این مرحله مقطع

مناسب است .

گام هشتم : کنترل تنش کششی تیر مرکب

$$f_{tc} = \frac{M_{\max(D)} + M_{(L)}}{S_{tc}} = \frac{(40760 + 54000 + 40000)}{204} = 660.59 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز، $0.66F_y$ ، کوچکتر است ، همچنین

$$\frac{M_{D1}}{S_{ts}} + \frac{M_{D2} + M_L}{S_{tc}} = \frac{56760}{109} + \frac{54000 + 40000}{204} = 981.52 \frac{kg}{cm^2} \leq 0.9F_y$$

بنابراین مقطع از نظر تنش کششی قابل قبول است .

گام نهم : کنترل تنش برشی تیر فولادی قبل از گیرش بتن

$$f_v = \frac{(DL_1 + 0.2LL) \cdot L \cdot b_0}{2d \cdot t_w} = \frac{(283.8 + 200 \times 0.2) \times 4 \times 1}{2 \times 16 \times 0.5} = 80.95 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز $0.4F_y$ ، کوچکتر است . بنابراین در این مرحله مقطع مناسب است .

گام دهم : کنترل تنش برشی تیر مرکب بعد از گیرش بتن

$$f_v = \frac{(DL + LL) \cdot L \cdot b_0}{2d \cdot t_w} = \frac{(473.8 + 200) \times 4 \times 1}{2 \times 16 \times 0.5} = 168.45 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز، $0.4F_y$ ، کوچکتر است. بنابراین در این مرحله مقطع مناسب است.

گام یازدهم : کنترل خیز تیر مرکب

ممان اینرسی مورد استفاده برای تعیین خیز تیر مرکب تحت اثر بارهای کوتاه مدت مساوی I_c و ممان اینرسی مورد استفاده برای تحلیل تیر زیر اثر بارهای دائمی به صورت زیر بدست می

آید :

$$b_e = \frac{b_E}{(1+c).n} = \frac{100}{3 \times 9} = 3.7 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{A_s \cdot \frac{d}{2} + b_e \cdot h_c \left(d + \frac{h_c}{2}\right)}{A_s + b_e h_c} = \frac{20.1 \times 8 + 3.7 \times 8 \times (16 + 4)}{20.1 + 3.7 \times 8} = 15.1 \text{ cm}$$

$$I_{ce} = I_s + A_s \left(\bar{y} - \frac{d}{2}\right)^2 + \frac{1}{12} b_e \cdot h_c^3 + b_e \cdot h_c \left(d + \frac{h_c}{2} - \bar{y}\right)^2$$

$$I_{ce} = 869 + 20.1 \times (15.1 - 8)^2 + 3.7 \times \frac{8^3}{12} + 3.7 \times 8 \times (20 - 15.1)^2 = 2751 \text{ cm}^4$$

خیز ماکزیمم ناشی از بارهای قائم شامل خیز تیر فولادی قبل از گیرش بتن ، خیز تیر مرکب

با ممان اینرسی I_{ce} زیر اثر بارهای دائمی به شرح زیر می باشد :

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{DL_1 \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_s} = \frac{5}{384} \times \frac{2.838 \times 400^4 \times 1}{2.1 \times 10^6 \times 869} = 0.52 \text{ cm}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{(DL + LL) \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_{ce}} = \frac{5}{384} \times \frac{(2.7 + 2) \times 400^4 \times 1}{2.1 \times 10^6 \times 2751} = 0.27 \text{ cm}$$

و خیز ناشی از جمع شدگی بصورت زیر قابل تعیین است :

$$E_{ce} = \frac{E_c}{3} = \frac{243168}{3} = 81056 \frac{kg}{cm^2}$$

$$N_{sh} = E_{ce} \cdot \epsilon_{sh} \cdot b_E \cdot h_c = 81056 \times 325 \times 10^{-6} \times 100 \times 8 = 21075 \text{ kg}$$

$$M_{sh} = N_{sh} \cdot e = 21075 \times (20 - 15.1) = 102216 \text{ kg}$$

$$\delta_{sh} = \frac{M_{sh} \cdot L^2}{8E_s \cdot I_{ce}} = \frac{102216 \times 400^4}{8 \times 2.1 \times 10^6 \times 2751} = 0.35 \text{ cm}$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_{sh} = 0.52 + 0.27 + 0.35 = 1.14 \text{ cm}$$

این خیر در حدود $\frac{1}{400}$ طول دهانه تیر است که از خیز مجاز $\frac{L}{240}$ کمتر است بنابراین در این مرحله مقطع مناسب است .

گام دوازدهم : کنترل فرکانس مود اول ارتعاش تیر مرکب

$$\omega_1 = 70 \sqrt{\frac{I_c}{(DL + LL) \cdot b_0 \cdot L^4}} = 70 \sqrt{\frac{3679}{(473.8 + 200) \times 1 \times 4^4}} = 10.22 \text{ hz}$$

فرکانس مزبور از فرکانس مجاز ، 5 hz ، بزرگتر است بنابراین مقطع از نظرفرکانس قابل قبول می باشد .

گام سیزدهم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی :

$$A = 0.00212 \times 100 \times 8 = 1.696 \text{ cm}^2 \quad \phi 8 @ 30 \text{ cm}$$

ب: روش تنش مجاز (با شمع بندی) :

طراحی این روش مشابه روش بدون شمع بندی است با این تفاوت که نیازی به کنترل تنش فشاری تیر فولادی ، تنش برشی قبل از گیرش بتن ندارد و خیز تیر فولادی قبل از گیرش بتن صفر است .

برای تعیین تعداد برشگیرها در روش تنش مجاز بافرض اینکه از برشگیر نبشی $50 \times 50 \times 5 \text{ mm}$ استفاده شود ، داریم :

$$V_h = \min\left(\frac{0.85 f'_c \cdot A_c}{2}, \frac{A_b \cdot F_y}{2}\right) = \min\left(\frac{0.85 \times 250 \times 100 \times 8}{2}, \frac{20.1 \times 2400}{2}\right) = 24120 \text{ kg}$$

مقاومت برشی مجاز برشگیر برابر است با :

$$q_{all} = 0.25 L_c \cdot t_f \sqrt{(f'_c \times E_c)} = 0.25 \times 5 \times 0.5 \times \sqrt{(250 \times 243168)} = 4873 \text{ kg}$$

$$N = \frac{V_h}{q_{all}} = \frac{24120}{4873} = 4.04$$

تعداد برشگیر در طول تیر ۹ عدد به فاصله 50 cm می باشد .

پ - روش مقاومت نهائی

گام اول : فاصله بین تیرهای فولادی را ۱ m انتخاب می کنیم

گام دوم : ضخامت دال بتنی را ۸ cm انتخاب می کنیم .

گام سوم : تیر فولادی را IPE ۱۶ انتخاب می کنیم و رابطه زیر را کنترل می کنیم :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{12.7}{5} = 25.4 \leq \frac{5365}{\sqrt{F_y}} = \frac{5365}{\sqrt{2400}} = 110$$

بنابراین می توان لنگر مقاوم اسمی مقطع را مساوی لنگر خمیری آن در نظر گرفت .

گام چهارم : تعیین عرض موثر دال بتنی

$$b_E = \min\left(\frac{L}{4}, \frac{b_1 + b_2}{2}, b_f + 16h_c\right) = \min\left(\frac{4}{4}, \frac{2}{2}, (0.082 + 16 \times 0.08)\right) \\ = \min(1, 1, 1.36) = 1 \text{ m}$$

گام پنجم : تعیین لنگر خمیری مقطع

برای تعیین لنگر خمیری مقطع باید موقعیت تار خنثی خمیری تعیین شود :

$$C = \min(0.85 f'_c . A_c, A_b . F_y) \\ = \min(0.85 \times 250 \times 100 \times 8, 20.1 \times 2400) = 48240 \text{ kg}$$

$$a = \frac{C}{0.85 f'_c . b_E} = \frac{48240}{0.85 \times 250 \times 100} = 2.27 \text{ cm}$$

ملاحظه می شود که تار خنثی در داخل دال بتنی قرار دارد ، بنابراین لنگر مقاوم نهائی مقطع

به صورت زیر بدست می آید :

$$M_n = A_b . F_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 20.1 \times 2400 \times \left(16 - \frac{2.27}{2}\right) = 7171 \text{ kg.m}$$

$$M_u = 0.85 M_n = 0.85 \times 7171 = 6095 \text{ kg.m}$$

از سوی دیگر بحرانی ترین حالت بارگذاری موجود به شکل زیر معین می گردد :

$$M_u = \max(1.4 M_D, 1.6 M_L + 1.2 M_D) \\ = \max(1.4 \times 1107.4, 1.2 \times 1107.4 + 1.6 \times 400) = 1969 \text{ kg.m}$$

گام ششم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی :

$$A = 0.00212 \times 100 \times 8 = 1.696 \text{ cm}^2 \quad \phi 8 @ 30 \text{ cm}$$

برای تعیین تعداد برشگیرها در روش مقاومت نهائی با فرض اینکه از برشگیر نبشی

$50 \times 50 \times 5 \text{ mm}$ استفاده شود ، داریم :

$$V_h = \min(0.85 f'_c b_E . h_c, A_b . F_y) \\ = \min(0.85 \times 250 \times 100 \times 8, 20.1 \times 2400) = 48420 \text{ kg}$$

مقاومت برشی مجاز برشگیر برابر است با :

$$q_{all} = 0.25 L_1 . t_1 \sqrt{(f'_c \times E_c)} = 0.25 \times 5 \times 0.5 \times \sqrt{(250 \times 243168)} = 4873 \text{ kg}$$

$$N = \frac{V_h}{q_{all}} = \frac{48420}{4873} = 8.08$$

تعداد برشگیر در طول تیر ۱۸ عدد به فاصله 25 cm می باشد .

۳-۱-۴- طراحی سقف تیرچه فولادی با جان باز بر روی پلان مدل

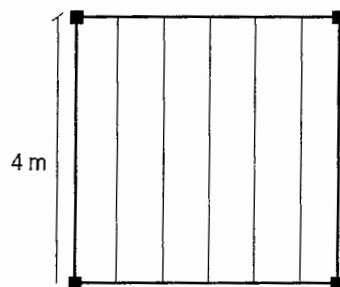
در یک پانل مستطیلی از سقف یک ساختمان مسکونی که برای پوشش آن از تیرچه های

فولادی با جان باز و دال بتنی مسلح به همراه بلوک پلی استایرن استفاده شده است با فرض اینکه

فولاد از نوع ST ۳۷ با تنش جاری شدن $2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ، بتن دارای $f'_c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ، $c = 2$ ،

$w_c = 2350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و بار اضافی وارده بر سقف ناشی از بتن ریزی با پمپ $80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ باشد سقف را به روش

تنش مجاز و مقاومت نهائی طراحی کنید ؟



الف - روش تنش مجاز :

گام اول : تعیین ضخامت سقف و ارتفاع تیرچه

ضخامت سقف را ۲۱ cm انتخاب می کنیم که با در نظر گرفتن ۳ cm پوشش بتن برای یال

تحتانی تیرچه ارتفاع تیرچه ۱۸ cm می شود .

گام دوم : فاصله بین تیرچه های فولادی را ۷۵ cm انتخاب می کنیم .

گام سوم : ضخامت دال بتنی را ۶ cm انتخاب می کنیم .

$$h_c = \max\left(\frac{75-8}{12}, 5\right) = 0.056 \approx 6 \text{ cm}$$

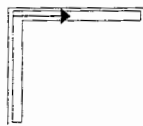
گام چهارم : تعیین عرض موثر دال بتنی

$$b_E = \min\left(\frac{L}{4}, \frac{b_1 + b_2}{2}\right) = \min\left(\frac{4}{4}, \frac{0.75 + 0.75}{2}\right) = \min(1, 0.75) = 0.75 \text{ m}$$

گام پنجم : یال تحتانی را تسمه ۸×۰/۵ cm و یال فوقانی را تسمه خم شده ۶×۰/۴ cm و

اعضای قطری را میلگرد ۸ انتخاب می کنیم .

گام ششم : فاصله بین کلافهای میانی را ۱/۳ m انتخاب می کنیم .



$$\bar{x} = \frac{3 \times 0.4 \times 1.5 + 2.6 \times 0.4 \times 0.2}{3 \times 0.4 + 2.6 \times 0.4} = 0.9 \text{ cm}$$

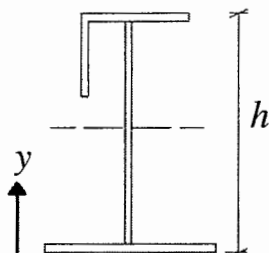
$$I_y = \frac{1}{12} \times 0.4 \times 3^3 + 3 \times 0.4 \times (1.5 - 0.9)^2 + \frac{1}{12} \times 2.6 \times 0.4^3 + 2.6 \times 0.4 \times (0.9 - 0.2)^2 = 1.86 \text{ cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1.86}{(3 \times 0.4 + 2.6 \times 0.4)}} = 0.91 \text{ cm}$$

$$\frac{145 \times 0.91}{100} = 1.3 \text{ m}$$

$$L_r = \min(1.3, 2.75) = 1.3 \text{ m}$$

گام هفتم : تعیین خصوصیات هندسی تیرچه فولادی



$$\bar{y} = \frac{8 \times 0.5 \times 0.25 + 3 \times 0.4 \times (18 - 0.2) + (3 - 0.4) \times 0.4 \times (18 - 0.4 - 1.3)}{8 \times 0.5 + 3 \times 0.4 + (3 - 0.4) \times 0.4} = 6.3 \text{ cm}$$

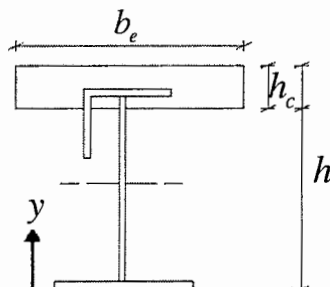
ممان اینرسی و اساس مقطع تحتانی و فوقانی تیرچه به صورت زیر بدست می آید :

$$I_x = \frac{1}{12} \times 8 \times 0.5^3 + 8 \times 0.5 \times (6.3 - 0.25)^2 + \frac{1}{12} \times 3 \times 0.4^3 + 3 \times 0.4 \times (18 - 0.02 - 6.3)^2 \\ + \frac{1}{12} \times 2.6^3 \times 0.4 + 2.6 \times 0.4 \times (18 - 0.4 - 1.3 - 6.3)^2 = 410 \text{ cm}^4$$

$$S_{is} = \frac{I_x}{\bar{y}} = \frac{410}{6.3} = 65.08 \text{ cm}^3$$

$$S_{cs} = \frac{I_x}{h - \bar{y}} = \frac{410}{18 - 6.3} = 35.04 \text{ cm}^3$$

گام هشتم : تعیین خصوصیات هندسی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن



$$E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \quad E_c = 0.135 \sqrt{(\omega_c)^2} \cdot \sqrt{f_c'} = 243168 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} : n = \frac{E_s}{E_c} = 9$$

$$b_e = \frac{1}{6} \times \left(\frac{75 \times 6 - 6 \times 0.4}{9} + 6 \times 0.4 \right) = 8.7 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{8 \times 0.5 \times 0.25 + 8.7 \times 6 \times (21 - 3)}{8 \times 0.5 + 8.7 \times 6} = 16.73 \text{ cm}$$

از آنجا که $\bar{y}$ بزرگتر از ارتفاع قسمت فولادی تیرچه است پس تار خنثی داخل دال بتنی قرار دارد بنابراین باید از بتن ترک خورده در محاسبه خواص مقطع چشم پوشی نمود ، برای محاسبه صحیح $\bar{y}$ باید لنگر استاتیک بالا و پایین تار خنثی که نشانه آن Q_t, Q_b است مساوی قرار داده شوند :

$$Q_B = Q_T \quad 8 \times 0.5 \times (\bar{y} - 0.25) = 8.74 \times \frac{(21 - \bar{y})^2}{2} : \quad \bar{y} = 17.06 \text{ cm}$$

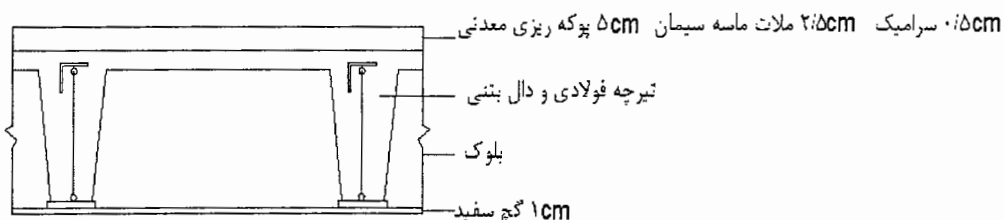
حال ممان اینرسی و اساس مقطع مرکب نسبت به تار بالا و پائین به صورت زیر محاسبه می گردد :

$$I_c = \frac{1}{12} \times 8 \times 0.5^3 + 8 \times 0.5 \times (17.06 - 0.25)^2 + \frac{1}{12} \times 8.7 \times 6^3 + 8.7 \times 6 \times (21 - \frac{6}{2} - 17.06)^2 = 1333 \text{ cm}^4$$

$$S_{ic} = \frac{I_c}{y} = \frac{1333}{17.06} = 78.14 \text{ cm}^3$$

$$S_{ec} = \frac{I_c}{y} = \frac{1333}{21 - 17.06} = 338.3 \text{ cm}^3$$

گام نهم : کنترل کمانش جانبی تیرچه فولادی قبل از گیرش بتن
بارهای وارده بر سقف برابر است با :



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

سرامیک

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

ملات ماسه سیمان

$$0.05 \times 600 = 30 \frac{kg}{m^2}$$

پوکه ریزی با پوکه معدنی

$$0.01 \times 1300 + 0.025 \times 1600 = 37 \frac{kg}{m^2}$$

سقف کاذب و گچ سفید

$$120 \frac{kg}{m^2}$$

تیغه بندی

$$\Sigma = 250 \frac{kg}{m^2}$$

$$0.06 \times 2350 = 141 \frac{kg}{m^2} \quad \text{وزن بتن دال تیرچه}$$

$$\frac{0.08 \times 2350 \times 0.15}{0.75} = 37.6 \frac{kg}{m^2} \quad \text{وزن بتن جان تیرچه}$$

• وزن بلوک

$$DL_1 = 141 + 37.3 + 80 = 258.6 \frac{kg}{m^2} : M_{\max(D1)} = \frac{258.6 \times 4^2 \times 0.75}{8} = 387.9 \text{ kg.m}$$

$$DL_2 = 250 \frac{kg}{m^2} : M_{\max(D2)} = \frac{250 \times 4^2 \times 0.75}{8} = 375 \text{ kg.m}$$

$$LL = 200 \frac{kg}{m^2} : M_{\max(L)} = \frac{200 \times 4^2 \times 0.75}{8} = 300 \text{ kg.m}$$

$$f_{cs} = \frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} = \frac{38790}{35.08} = 1105.7 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز ، $0.6 F_y$ ، کوچکتر است بنابراین مقطع در این مرحله مناسب است .

گام دهم : کنترل تنش فشاری تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

$$f_{cc} = \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{n \cdot S_{cc}} = \frac{37500 + 30000}{9 \times 338.3} = 22.17 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز ، $0.45 F_y = 112.5$ ، کوچکتر است بنابراین مقطع در این مرحله

مناسب است .

گام یازدهم : کنترل تنش کششی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

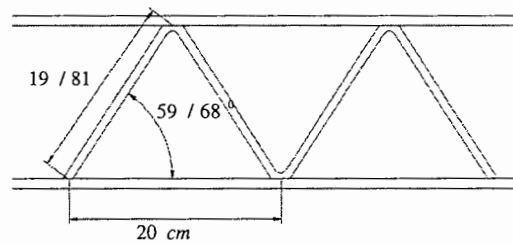
$$f_{tc} = \frac{M_{\max(D)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}} = \frac{((258.6 - 80) + 250 + 200) \times 4^2 \times 0.75}{8} \times 100 = 1206.1 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش مزبور از تنش مجاز $0.66F_y$ کوچکتر است ، همچنین

$$\frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}} = \frac{38790}{65.08} + \frac{37500 + 30000}{78.14} = 1459.87 \frac{kg}{cm^2} \leq 0.9F_y$$

بنابراین مقطع از نظر تنش کششی قابل قبول است .

گام دوازدهم : کنترل تنش برشی تیرچه فولادی قبل از گیرش بتن



$$\alpha = \text{Arc tan} \frac{18 - 0.4 - 0.5}{10} = 59.68$$

$$L = \sqrt{(18 - 0.5 - 0.4)^2 + 10^2} = 19.81 \text{ cm}$$

$$I_x = 0.05d^4 = 0.05 \times 0.8^4 = 0.0205 \text{ cm}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{0.0205}{0.502}} = 20.19 \text{ cm} \quad \lambda = \frac{L}{r} = \frac{19.84}{20.19} = 0.98 \quad : \quad Fa = 1443 \frac{kg}{cm^2}$$

$$V_j = A \times F_a \times \sin \alpha = 0.502 \times 1443 \times \sin 60.98^\circ = 625.3 \text{ kg}$$

$$V_{\max(D1)} = \frac{(DL + 0.2LL)b_0.L}{2} = \frac{(258.6 + 0.2 \times 200) \times 0.75 \times 4}{2} = 447.9 \text{ kg}$$

نیروی برشی فوق از نیروی برشی مجاز ، 633.73 kg ، کوچکتر است . بنابر این مقطع در

این مرحله مناسب است .

گام سیزدهم: کنترل تنش برشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن بعد از گیرش بتن

$$V_c = 0.31 f_c' \cdot b_w \cdot d = 0.31 \times \sqrt{250} \times 8 \times 18 = 705.82 \text{ kg}$$

$$V_c + V_j = 705.82 + 625.3 = 1331.12 \text{ kg}$$

$$V_{\max} = \frac{(DL + LL) \cdot b_0 \cdot L}{2} = \frac{(178.6 + 250 + 200) \times 0.75 \times 4}{2} = 942.9 \text{ kg}$$

نیروی برشی فوق از نیروی برشی مجاز، 1457.32 kg ، کوچکتر است. بنابراین این مقطع در این مرحله مناسب است.

گام چهاردهم: کنترل خیز تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

ممان اینرسی مورد استفاده برای تعیین خیز تیرچه مرکب تحت اثر بارهای کوتاه مدت مساوی I_{ce} و ممان اینرسی مورد استفاده برای تحلیل تیر زیر اثر بارهای دائمی به صورت زیر بدست می آید:

$$b_e = \frac{b_e}{(1+c)} = \frac{8.7}{3} = 2.9 \text{ cm}$$

$$y = \frac{8 \times 0.5 \times 0.25 + 2.9 \times 6 \times (21-3)}{8 \times 0.5 + 2.9 \times 6} = 14.68 \text{ cm}$$

$$I_{ce} = \frac{1}{12} \times 8 \times 0.5^3 + 8 \times 0.5 \times (14.68 - 0.25)^2 + \frac{1}{12} \times 2.9 \times 6^3 + 2.9 \times 6 \times (21 - 3 - 14.68)^2 = 1076.97 \text{ cm}^4$$

خیز ماکزیمم ناشی از بارهای قائم شامل خیز تیرچه فولادی قبل از گیرش بتن، خیز تیرچه مرکب با ممان اینرسی I_{ce} زیر اثر بارهای دائمی به شرح زیر می باشد:

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{DL_1 \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_s} = \frac{5}{384} \times \frac{2.586 \times 400^4 \times 0.75}{2.1 \times 10^6 \times 410} = 0.75 \text{ cm}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{(DL + LL) \cdot L^4 \cdot b_0}{E_s \cdot I_{ce}} = \frac{5}{384} \times \frac{(2.5 + 2) \times 400^4 \times 0.75}{2.1 \times 10^6 \times 1076.62} = 0.5 \text{ cm}$$

وخیز ناشی از جمع شدگی بصورت زیر قابل تعیین است:

$$E_{ce} = \frac{E_c}{3} = \frac{243168}{3} = 81056 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_{sh} = E_{ce} \cdot \varepsilon_{sh} \cdot b_E \cdot h_c = 81056 \times 325 \times 10^{-6} \times 75 \times 6 = 11854.42 \text{ kg}$$

$$M_{sh} = N_{sh} \cdot e = 11854.42 \times (21 - 3 - 14.68) = 39356.67 \text{ kg}$$

$$\delta_{sh} = \frac{M_{sh} \cdot L^2}{8E_s \cdot I_{ce}} = \frac{39356.67 \times 400^4}{8 \times 2.1 \times 10^6 \times 1076.97} = 0.35 \text{ cm}$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_{sh} = 0.75 + 0.5 + 0.35 = 1.6 \text{ cm}$$

این خیر در حدود $\frac{1}{250}$ طول دهانه تیر است که از خیز مجاز $\frac{L}{240}$ کمتر است بنابراین در این مرحله مقطع مناسب است.

گام پانزدهم: کنترل فرکانس مود اول ارتعاش تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

$$\omega_1 = 70 \sqrt{\frac{I_c}{(DL + LL) \cdot b_0 \cdot L^4}} = 70 \sqrt{\frac{1333}{(178.6 + 250 + 200) \times 0.75 \times 4^4}} = 7.36 \text{ Hz}$$

فرکانس مزبور از فرکانس مجاز 5 Hz ، بزرگتر است بنابراین مقطع از نظر فرکانس قابل قبول می باشد.

گام شانزدهم: طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی

$$A = 0.002 \times 100 \times 6 = 1.2 \text{ cm}^2 \quad \phi 8 @ 30 \text{ cm}$$

ب - روش مقاومت نهائی:

گام اول: تعیین ضخامت سقف و ارتفاع تیرچه

ضخامت سقف را 21 cm می شود که با در نظر گرفتن 3 cm پوشش بتن برای یال تحتانی تیرچه ارتفاع تیرچه 18 cm می شود

گام دوم: فاصله بین تیرچه های فولادی را 75 cm انتخاب می کنیم.

گام سوم: ضخامت دال بتنی را 6 cm انتخاب می کنیم.

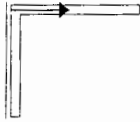
$$h_c = \max\left(\frac{75-8}{12}, 5\right) = 0.056 \approx 6 \text{ cm}$$

گام چهارم: تعیین عرض موثر دال بتنی

$$b_E = \min\left(\frac{L}{4}, \frac{b_1 + b_2}{2}\right) = \min\left(\frac{4}{4}, \frac{0.75 + 0.75}{2}\right) = \min(1, 0.75) = 0.75 \text{ m}$$

گام پنجم : یال تحتانی را تسمه ۸×۰/۵ cm و یال فوقانی را تسمه خم شده ۶×۰/۴ cm و اعضای قطری را میلگرد ۸ انتخاب می کنیم .

گام ششم : فاصله بین کلافهای میانی را ۱/۳ m انتخاب می کنیم .



$$\bar{x} = \frac{3 \times 0.4 \times 1.5 + 2.6 \times 0.4 \times 0.2}{3 \times 0.4 + 2.6 \times 0.4} = 0.9 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times 0.4 \times 3^3 + 3 \times 0.4 \times (1.5 - 0.9)^2 + \frac{1}{12} \times 2.6 \times 0.4^3 + 2.6 \times 0.4 \times (0.9 - 0.2)^2 = 1.86 \text{ cm}^4$$

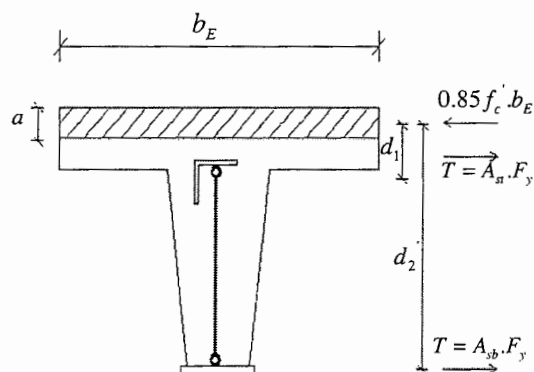
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1.86}{(3 \times 0.4 + 2.6 \times 0.4)}} = 0.91 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r_y} = \frac{145 \times 0.91}{100} = 1.3 \text{ m}$$

$$L_r = \min(1.3, 2.75) = 1.3 \text{ m}$$

گام هفتم : تعیین ظرفیت خمشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

برای تعیین ظرفیت خمشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن داریم :



$$a = \frac{(A_{sb} + A_{st}) \cdot F_y}{0.85 f'_c \cdot b_E} = \frac{(8 \times 0.5 + 3 \times 0.4 + 2.6 \times 0.4) \times 2400}{0.85 \times 250 \times 75} = 0.94 \text{ cm}$$

تار خنثی دردال بتنی قرارداد بنابرین داریم :

$$M_n = (A_{st} \cdot d'_1 + A_{sb} \cdot d'_2) \cdot F_y = (3 \times 0.4 + 2.6 \times 0.4) \times (3 + 0.9 - \frac{0.94}{2}) \\ + 8 \times 0.5 \times (21 - 0.25 - \frac{0.94}{2}) \times 2400 = 213128 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = \phi \cdot M_n = 0.85 \times 2131.28 = 1811 \text{ kg.m}$$

گام هشتم : کنترل ظرفیت خمشی تیرچه فولادی در ترکیب با بتن

لنگر خمشی موجود برابر است با :

$$M_u = 1.6M_L + 1.2M_D = 1.6 \times 300 + 1.2 \times (268 + 375) = 1251.6 \text{ kg.m}$$

ظرفیت خمشی بیشتر از لنگر خمشی موجود می باشد بنابر این مقطع مناسب می باشد .

گام نهم : طراحی شبکه جمع شدگی و حرارتی دال بتنی

$$A = 0.002 \times 100 \times 6 = 1.2 \text{ cm}^2 \quad \phi 8 @ 30 \text{ cm}$$

۳-۲- طراحی سقفها با استفاده از نرم افزار

همانطور که در طراحی سقفها دیدیم ابتدا متغیرها و اطلاعات اولیه هر سقف از قبیل طول دهانه ، نوع مصالح ، بارهای وارده ، ضخامت دال بتنی ، نوع تیر آهن ، فاصله بین تیرها و... با رعایت محدودیتهای آیین نامه ای انتخاب می شود سپس تمامی کنترلها و ضوابط آیین نامه ای مربوط به آن انجام می شود ، اگر ضوابط آیین نامه ای در محدوده قابل قبول باشد طراحی مورد قبول است ، در غیر اینصورت باید متغیرهای جدیدی انتخاب کنیم و روند فوق دوباره تکرار شود . این روند تا آنجا که تمامی کنترلها و ضوابط آیین نامه ای برای متغیرهای انتخابی درست باشد تکرار می شود . بنابراین طراحی سقفها به علت وجود محاسبات و کنترلهای متعدد و از آنجا که پاسخ نهائی با سعی و خطا بعد از چند بار تکرار بدست می آید امری زمان بر ، وقت گیر و خسته کننده می باشد . در نتیجه برای سرعت بخشیدن به روند طراحی و جلوگیری از بروز خطا استفاده از برنامه کامپیوتری ضروری به نظر می رسد .

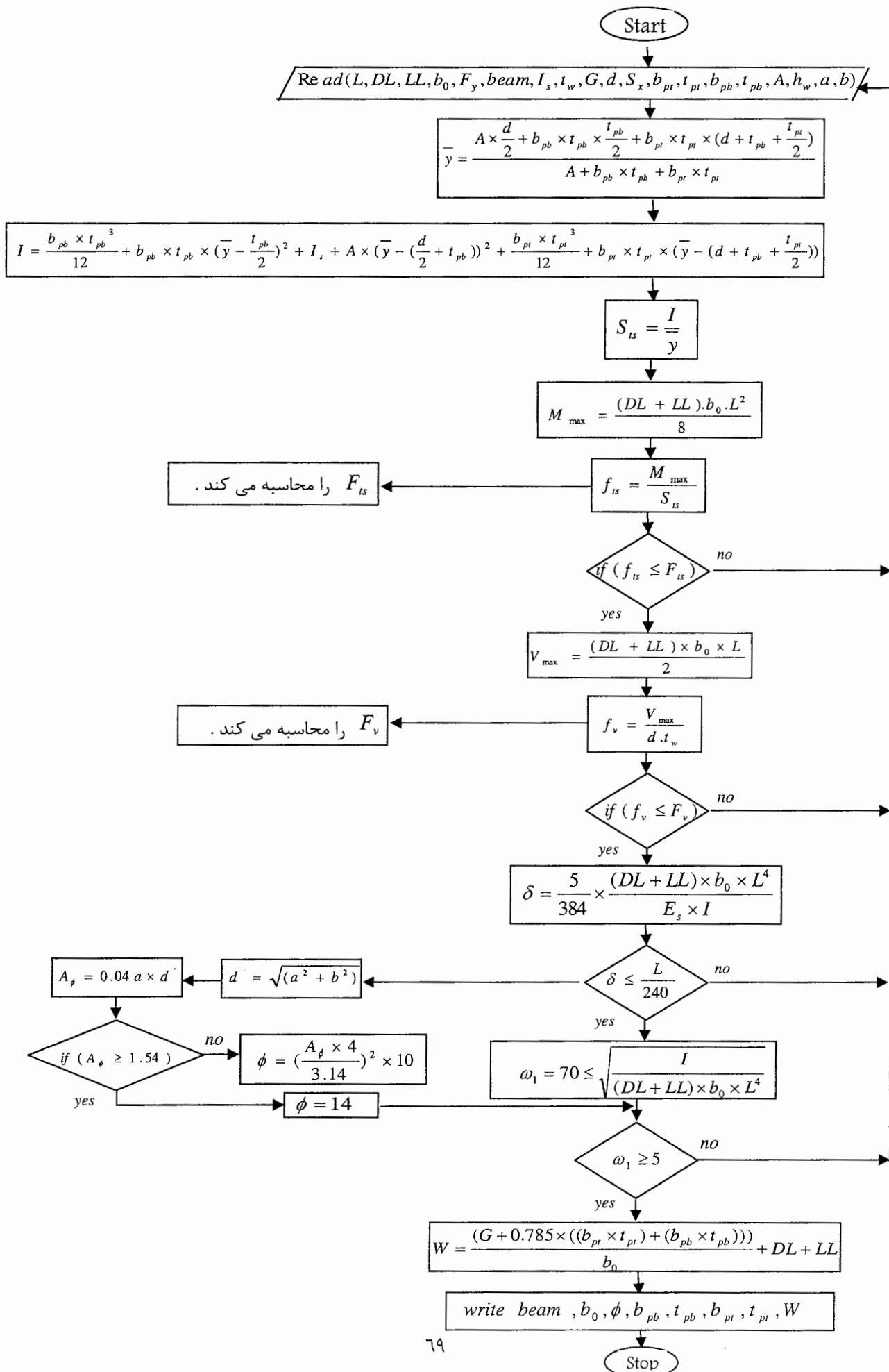
به همین منظور در این پایان نامه برای طراحی هر یک از سقفهای طاق ضربی ، تیرچه بلوک ،

کامپوزیت و تیرچه فولادی با جان باز برنامه ای به زبان ویژوال بیسیک نوشته شده است .

۳-۲-۱- برنامه طراحی سقف طاق ضربی

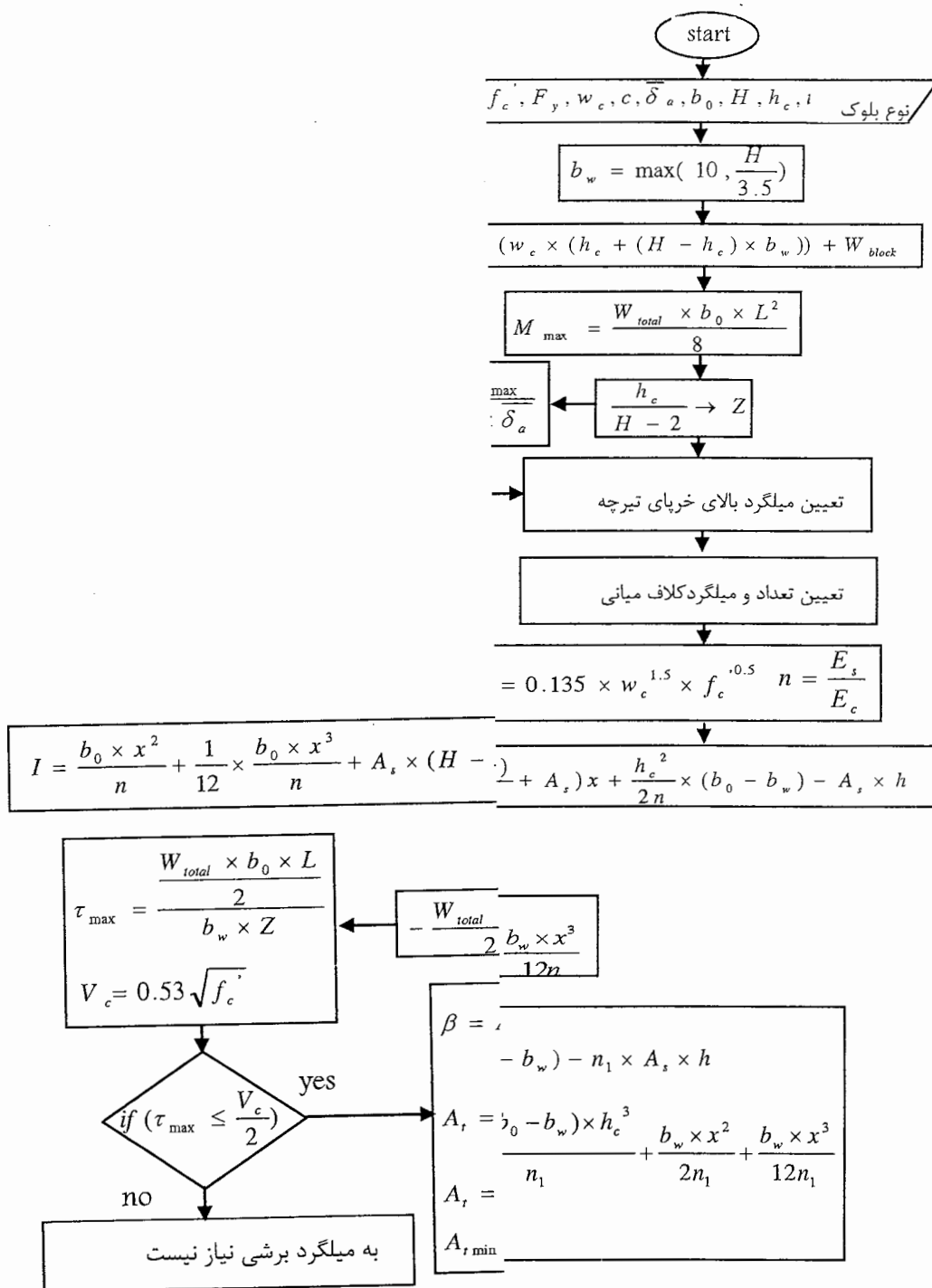
در این برنامه متغیرها و اطلاعات اولیه که شامل $L, LL, DL, F_y, E_s, b_0, Beam, n$ می باشند، به عنوان ورودی به برنامه داده می شود. برنامه قطر میلگرد مهار ضربداری را تعیین می کند. سپس تنشهای کششی، برشی، خیز و فرکانس مقطع فولادی را کنترل می کند. اگر کنترلها در محدوده آیین نامه ای باشد طراحی را درست اعلام می کند. در غیر اینصورت باید متغیرهای جدیدی وارد کرد و در نهایت وزن و بهاء واحد سطح سقف را ارائه می دهد. برای درک بهتر فلوچارت برنامه سقف طاق ضربی در ادامه آمده است.

فلوچارت برنامه طراحی سقف طاق ضربی



۳-۲-۲- برنامه طراحی سقف تیرچه بلوک

در این برنامه متغیرها و اطلاعات اولیه که شامل $L, LL, SDL, F_y, E_s, b_0, b_w, h_c$ ، H, f_c', w_c, W_{block} می باشند به عنوان ورودی به برنامه داده می شود . برنامه قطر میلگرد کششی خرپای تیرچه و طول میلگرد کششی تقویتی ، قطر میلگرد بالای خرپای تیرچه ، تعداد و قطر میلگرد کلاف میانی ، تعداد و قطر میلگرد برشی ، طول و قطر میلگرد منفی و تعداد و قطر میلگرد حرارتی در جهت موازی و عمود بر تیرچه را تعیین می کند . سپس فرکانس و خیز تیر تی شکل را کنترل می کند اگر کنترلها در محدوده آیین نامه ای باشد طراحی را درست اعلام می کند در غیر اینصورت باید متغیرهای جدیدی را وارد کرد و در نهایت وزن و بهاء واحد سطح سقف را ارائه می دهد . برای درک بهتر فلوچارت برنامه سقف تیرچه بلوک در ادامه آمده است .



$$= x_1 - \frac{h_c}{2}$$

$$\delta_{sh} = \frac{E_c}{(1 + c)} \times \epsilon_{sh} \times b_0 \times h_c$$

$$\delta = \frac{N_{sh} \times e \times L^2}{8 \times E_s \times I_{ce}}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{W_{total} \times b_0 \times L^4}{E_s \times I} + \delta_{sh}$$

)

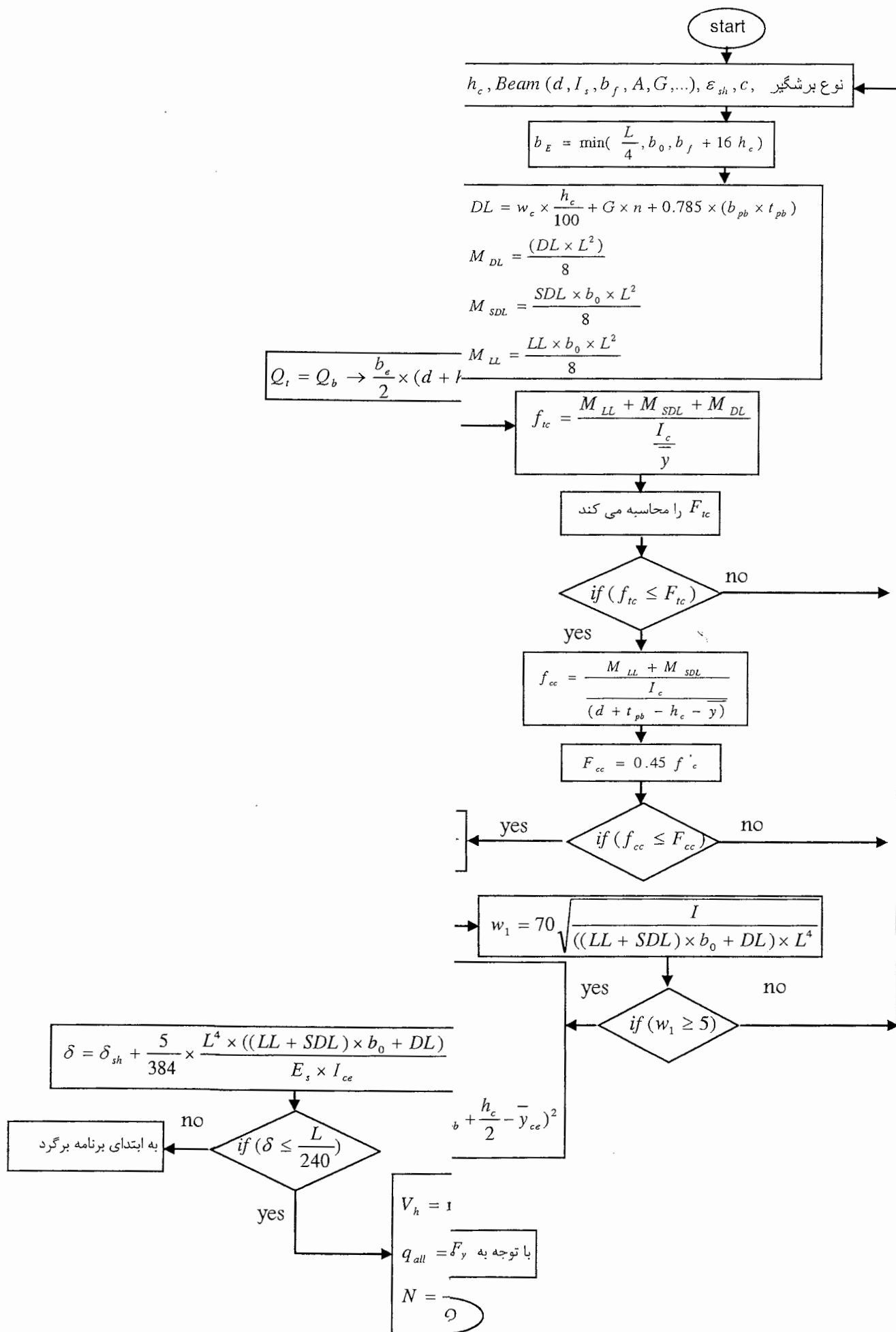
۳-۲-۳- برنامه طراحی سقف کامپوزیت

۳-۲-۳-۱- برنامه طراحی سقف کامپوزیت بدون شمع بندی

در این برنامه متغیرها و اطلاعات اولیه که شامل $L, LL, SDL, F_y, E_s, b_0, beam, n$ می باشد به عنوان ورودی به برنامه داده می شود. برنامه کماتش جانبی و تنش b_{pb}, t_{pb}, h_c برشی مقطع فولادی قبل گیرش بتن، تنش کششی، برشی، فرکانس و خیز مقطع مرکب بعد گیرش بتن را کنترل می کند. اگر کنترلها در محدوده آیین نامه ای باشد طراحی را درست اعلام می کند در غیر اینصورت باید متغیرهای جدیدی را وارد کرد. سپس تعداد برشگیرها، تعداد و قطر میلگرد شبکه جمع شدگی و حرارتی و طول ورق تقویتی را تعیین می کند و در نهایت وزن و بهاء واحد سطح سقف را ارائه می دهد.

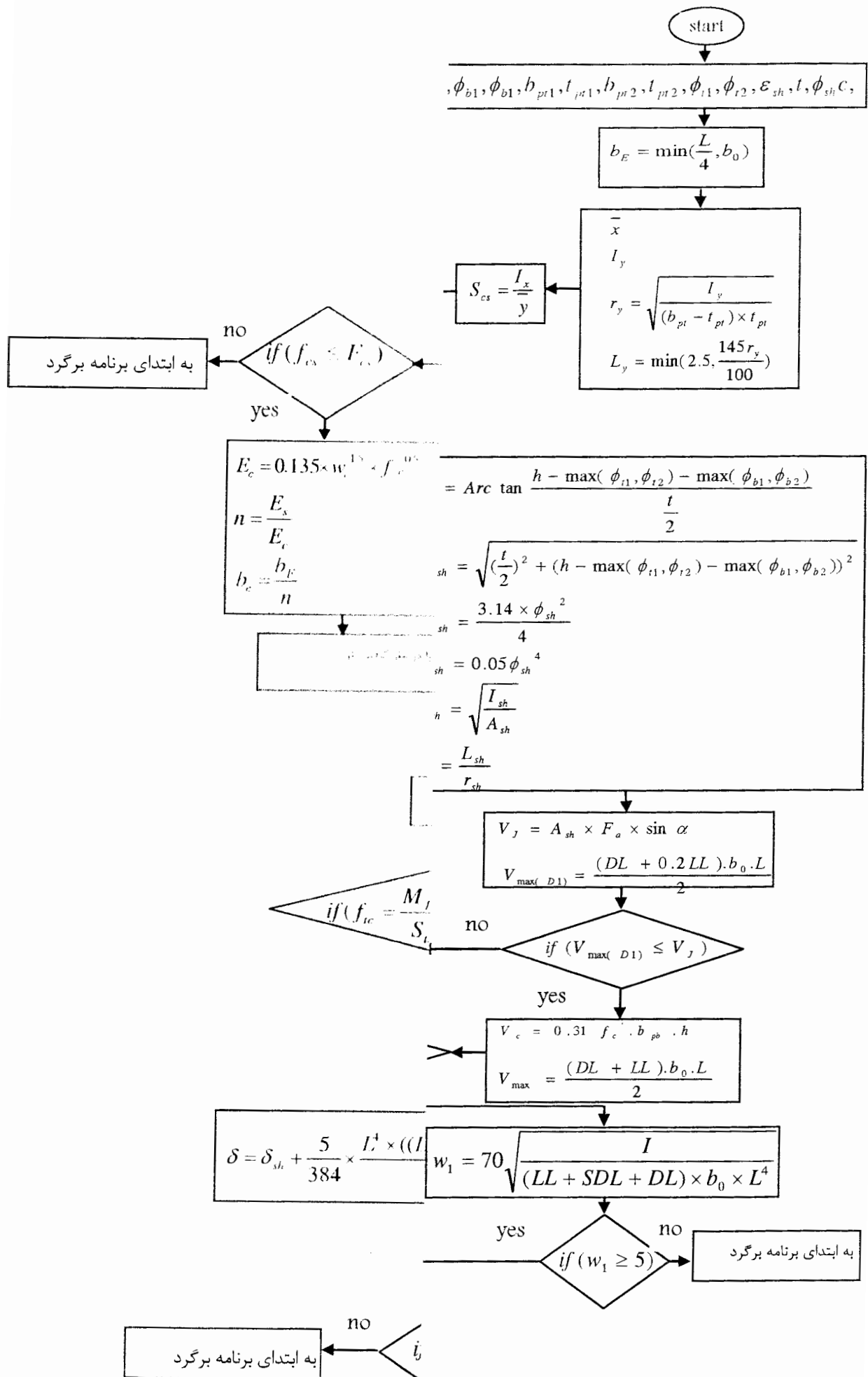
۳-۲-۳-۲- برنامه طراحی سقف کامپوزیت با شمع بندی

در این برنامه متغیرها و اطلاعات اولیه که شامل $L, LL, SDL, F_y, E_s, b_0, beam, n$ می باشد به عنوان ورودی به برنامه داده می شود. برنامه تنش کششی، برشی، فرکانس و خیز مقطع مرکب بعد گیرش بتن را کنترل می کند. اگر کنترلها در محدوده آیین نامه ای باشد طراحی را درست اعلام می کند در غیر اینصورت باید متغیرهای جدیدی را وارد کرد. سپس تعداد برشگیرها، تعداد و قطر میلگرد شبکه جمع شدگی و حرارتی و طول ورق تقویتی را تعیین می کند و در نهایت وزن و بهاء واحد سطح سقف را ارائه می دهد. برای درک بهتر فلوچارت برنامه سقف کامپوزیت با شمع بندی در ادامه آمده است.



۳-۲-۴- برنامه طراحی سقف تیرچه فولادی با جان باز

در این برنامه متغیرها و اطلاعات اولیه که شامل $L, LL, SDL, F_y, E_s, b_0, h_c, H, f'_c, w_c, W_{block}$ می باشد به عنوان ورودی به برنامه داده می شود. برنامه کمانش جانبی $b_{pb}, t_{pb}, \phi_b, b_{pt}, t_{pt}, \phi_t$ تیرچه فولادی قبل گیرش بتن، تنش کششی، فرکانس و خیز تیرچه مرکب بعد گیرش بتن را کنترل می کند. اگر کنترلها در محدوده آیین نامه ای باشد طراحی را درست اعلام می کند. در غیر اینصورت باید متغیرهای جدیدی را وارد کرد. سپس تعداد و قطر میلگرد برشی، عرض و ضخامت ورق نری، تعداد و قطر میلگرد کلاف میانی، تعداد و قطر میلگرد شبکه جمع شدگی و حرارتی در دو جهت موازی و عمود بر تیرچه و طول میلگرد تقویتی را تعیین می کند و در نهایت وزن و بهاء واحد سطح سقف را ارائه می دهد. برای درک بهتر فلوچارت برنامه سقف تیرچه فولادی با جان باز در ادامه آمده است.



فصل چهارم

روش بهینه یابی سقفها

مقدمه

دستیابی به بهترین نتیجه در شرایط داده شده را بهینه یابی گویند. امروزه مفهوم بهینه یابی بعنوان یک اصل زیر بنائی در تحلیل بسیاری از مسائل پیچیده تصمیم گیری پذیرفته شده است. این مفهوم متضمن ظرافت خاصی است که غالباً محاسبات را تا حدودی که ضرورت دارد ساده می کند. در طراحی، ساخت و نگهداری هر سیستم مهندسی، مهندسان باید تصمیمات تکنولوژی و مدیریتی بسیاری را در چند مرحله بگیرند. هدف نهائی چنین تصمیماتی، کمینه کردن تلاش لازم یا بیشینه کردن سود مورد نظر است. تلاش لازم در هر وضعیت عملی را می توان به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم مشخص بیان نمود. بنابراین می توان بهینه یابی را به عنوان یافتن شرایطی که مقدار بیشینه یا کمینه یک تابع را بدست می دهد، تعریف کرد.

۴-۱- روشهای بهینه یابی [۹]

با انجام فرایند بهینه یابی می توان یک مساله پیچیده تصمیم گیری را که مشتمل بر تعیین مقادیری برای چند متغیر مرتبط با یکدیگر با تمرکز بر روی هدف یگانه ای که تصمیم طرح می باشد، ماکزیمم یا مینیمم نمود. بنابراین برای بهینه نمودن هر مساله باید متغیرهای مساله، رابطه بین آنها و تابعی که هدف بهینه کردن آن می باشد، مشخص شود. روند حل برای یافتن برداری از متغیرها که مساله را بهینه می کند به این صورت است که معمولاً یک بردار اولیه X_0 انتخاب می شود، سپس با استفاده از الگوریتم مناسب بردار بهتر X_1 تولید می شود. این فرایند همچنان تکرار می شود و دنباله ای از نقاط پی در پی بدست می آید. این دنباله ممکن است دارای طول متناهی باشد و بعد از تعداد متناهی به بردار بهینه برسد و یا اینکه دارای طول نامتناهی باشد که در این حالت هرگز به بردار جواب نمی رسد ولی به طرف آن همگرا می شود.

از آن جا که ریاضیدانان روشهای جستجوی بهینه را به عنوان بخشی از تحقیق در عملیات با روشهای برنامه ریزی ریاضی می شناسند ، صورت کلی یک مساله بهینه یابی با الگوی برنامه ریزی ریاضی به صورت زیر بیان می شود :

$$X = \left\{ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} \right\} \text{ را به گونه ای بیابید که :}$$

$$(Min \text{ or } Max) \ f(x)$$

$$s.t: \quad g_i(x) \leq 0 \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1-4)$$

$$l_j(x) = 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, p$$

X بردار طراحی ، $f(x)$ تابع هدف و $g_i(x)$ و $l_j(x)$ به ترتیب قیدهای نامساوی و قیدهای مساوی هستند .

مسائل بهینه یابی با توجه به طبیعت معادلات مربوط به توابع هدف و قیدها ، تعداد توابع هدف و ... دسته بندی می شوند :

(۱) دسته بندی بر اساس طبیعت معادلات مربوط به توابع هدف و قیدها

یک دسته از تقسیم بندی مسائل بهینه یابی ، دسته بندی بر اساس طبیعت معادلات مربوط به تابع هدف و قیدها می باشد . طبق این دسته بندی ، مسائل بهینه یابی را می توان به مسائل برنامه ریزی خطی ، غیر خطی ، درجه دوم و ... تقسیم بندی کرد .

اگر در رابطه ۱-۴ تابع هدف و قیدها توابع خطی از متغیرها باشند ، مساله بهینه یابی یک مساله برنامه ریزی خطی نامیده می شود ، اگر تابع هدف و قیدها توابع غیرخطی از متغیرها باشند ، مساله بهینه یابی یک مساله برنامه ریزی غیرخطی نامیده می شود و اگر تابع هدف درجه دوم و قیدها خطی باشند مساله بهینه یابی یک مساله برنامه ریزی درجه دوم نامیده می شود .

۴-۲- برنامه ریزی خطی [۹] ، [۱۲] و [۱۳]

برنامه ریزی خطی یک روش بهینه یابی است . این روش برای حل مسائلی که در آنها تابع هدف و قیدها توابع خطی از متغیرهای طراحی هستند به کار می رود . در سال ۱۹۴۷ میلادی شخصی به نام جورج دانتزیک مسئله عمومی برنامه ریزی خطی را فرمول بندی و روش سیمپلکس را طراحی کرد . این روش به عنوان کارآمدترین روش عمومی برای حل مسائل برنامه ریزی خطی در میان دستاوردهای ریاضی در قرن بیستم ارزش والائی داشت .

ماخذ اصلی روش حل مساله برنامه ریزی خطی ، روش حذفی گوس جردن می باشد که برای حل دستگاه معادلات خطی همزمان استفاده می شود .

روش حذفی گوس جردن برای حل m معادله با $m+n$ متغیر می تواند با در نظر گرفتن m متغیر به عنوان متغیر غیر اصلی و n متغیر به عنوان متغیر اصلی یک جواب منحصر به فرد برای متغیرهای اصلی بر حسب متغیرهای غیر اصلی بدست آورد .

مسئله عمومی برنامه ریزی خطی را می توان به شکل زیر بیان کرد :

$$\text{Min } f(x) = c_1x_1 + \dots + c_mx_m + c_{m+1}x_{m+1} + \dots + c_nx_n \quad (۲-۴)$$

$$s.t : a_{11}x_1 + \dots + a_{1m}x_m + a_{1,m+1}x_{m+1} + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$a_{m1}x_1 + \dots + a_{mm}x_m + a_{m,m+1}x_{m+1} + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

$$\forall x_n \geq 0$$

شکل استاندارد مساله برنامه ریزی خطی دارای مشخصات زیر است :

- تابع هدف از نوع کمینه یابی باشد .

- همه قیدها از نوع مساوی هستند .

- همه متغیرها نامنفی هستند .

هر مساله برنامه ریزی خطی را که به شکل دیگری است می توان با تبدیل مناسبی به شکل استاندارد تبدیل کرد . مثلاً اگر قیدها به صورت نامساوی باشد می توان با معرفی متغیر اضافی آن را به صورت

قید خطی تبدیل کرد و یا اگر هدف بیشینه سازی باشد می توان تابع هدف را منفی نمود و آن را کمینه کرد .

در معادله ۴-۲ جوابی که در قیدها صدق می کند ، جواب ممکن و جوابی که $f(x)$ را بهینه کند ، جواب بهینه است . برای حل مساله بهینه یابی هدف تعیین جواب ممکن است که بهینه نیز باشد . برای حل مساله برنامه ریزی خطی با استفاده از روش سیمپلکس ابتدا متغیرهای اصلی با استفاده از روش حذفی گوس جردن بر حسب متغیرهای غیر اصلی به صورت زیر بیان می شوند :

$$x_1 = x_{10} - x_{1,m+1}x_{m+1} - \dots - x_{1n}x_n \quad (4-3)$$

.....

.....

$$x_m = x_{m0} - x_{m,m+1}x_{m+1} - \dots - x_{mn}x_n$$

با جایگزینی مقادیر طرف راست معادلات ۴-۳ در تابع هدف ، تابع هدف به صورت زیر اصلاح می شود :

$$f = f_0 - \sum_{j=m+1}^n (f_j - c_j)x_j \quad (4-4)$$

چون $x_j \geq 0$ اگر $f_j - c_j \leq 0$ آنگاه هر متغیر x_j موجب افزایش تابع هدف می شود و اگر $f_j - c_j > 0$ باشد افزایش در متغیرها موجب کاهش تابع هدف می شود .

از آن جا که رسیدن به جواب بهینه با این استدلال بسیار طولانی است ، لذا برای رسیدن به جواب بهینه مطابق با گامهای زیر عمل می شود :

نقطه شروع الگوریتم سیمپلکس مجموعه ای از معادلات است که شامل تابع هدف و قیدهای مساوی می باشد . بنابراین هدف الگوریتم سیمپلکس یافتن بردار X به گونه ای است که تابع $f(x)$ را کمینه کند و در معادلات زیر صدق کند :

$$1x_1 + 0x_2 + \dots + 0x_m + a''_{1,m+1}x_{m+1} + \dots + a''_{1n}x_n = b''_1 \quad (4-5)$$

$$0x_1 + 1x_2 + \dots + 0x_m + a''_{2,m+1}x_{m+1} + \dots + a''_{2n}x_n = b''_2$$

$$0x_1 + 0x_2 + \dots + 1x_m + a''_{m,m+1}x_{m+1} + \dots + a''_{mn}x_n = b''_m$$

$$0x_1 + 0x_2 + \dots + 0x_m - f + c''_{m+1}x_{m+1} + \dots + c''_{m+n}x_n = -f''_0$$

از معادله (۴-۵) جواب پایه زیر نتیجه می شود :

$$\begin{aligned} x_i &= b''_i \quad i=1,2,\dots,m \\ f &= f''_0 \\ x_i &= 0 \quad i=m+1,m+2,\dots,n \end{aligned} \quad (4-6)$$

الگوریتم سیمپلکس به صورت زیر با استفاده از روش حذفی گوس جردن از یک جواب پایه به جواب پایه دیگر حرکت می کند تا به جواب بهینه برسد .

گام اول : آزمون مقادیر $f_j - c_j$ برای تعیین اینکه آیا یک جواب کمینه پیدا شده است یا نه (اگر همه $f_j - c_j \leq 0$ باشد به جواب کمینه رسیده ایم)

گام دوم : انتخاب برداری با بیشترین $f_j - c_j$ برای ورود به پایه

گام سوم : انتخاب برداری که باید از پایه حذف گردد یعنی برداری با $\min(\frac{x_{i0}}{x_{ik}})$ به ازای $x_{ik} > 0$ که در آن k مربوط به بردار انتخاب شده در گام دوم است .

گام چهارم : تبدیل جدول توسط روش حذفی کامل گوس جردن برای بدست آوردن جواب جدید و عناصر مربوطه .

گام پنجم : به گام اول برگردید .

در هر یک از این تکرارها یک جواب جدید ایجاد می شود و سرانجام بعد از تکرارهای مناسب به جواب بهینه می رسد .

به عنوان مثال ، مساله برنامه ریزی خطی زیر با روش سیمپلکس به صورت زیر کمینه می شود :

$$\text{Min } f(x) = x_2 - 3x_3 + 2x_5$$

$$\text{s.t: } x_1 + 3x_2 - x_3 + 2x_5 = 7$$

$$-2x_2 + 4x_3 + x_4 = 12$$

$$-4x_2 + 3x_3 + 8x_5 + x_6 = 10$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,6$$

پایه اولیه از بردارهای P_1, P_4, P_6 تشکیل شده و جواب متناظر با آن عبارت است از :

$$X = (7, 0, 0, 12, 0, 10)^T \quad f(X) = 0$$

جدول گام اول سیمپلکس به صورت زیر تشکیل می شود :

i		c	P_0	•	۱	-۳	•	۲	•	
				P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
۱	P_1	•	۷	۱	۳	-۱	•	۲	•	-
۲	P_4	•	۱۲	•	-۲	۴	۱	•	•	$\frac{12}{4} = 3$
۳	P_6	•	۱۰	•	-۴	۳	•	۸	۱	$\frac{10}{3} = 3\frac{1}{3}$
۴			•	•	-۱	۳	•	-۲	•	

P_3 برای ورود به پایه انتخاب می شود زیرا :

$$\max(f_j - c_j) = f_3 - c_3 = 3 > 0$$

$$\min\left(\frac{12}{4}, \frac{10}{3}\right) = 3$$

بنابراین با استفاده از روش حذفی گوس بردار P_4 حذف می شود و مطابق با جدول زیر جواب جدید

بدست می آید :

i		c	P_0	•	۱	-۳	•	۲	•	
				P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
۱	P_1	•	۱۰	۱	$\frac{5}{2}$	•	$\frac{1}{4}$	۲	•	$\frac{10}{5} = 4$
۲	P_3	-۳	۳	•	$-\frac{1}{2}$	۱	$\frac{1}{4}$	•	•	-
۳	P_6	•	۱	•	$-\frac{5}{2}$	•	$-\frac{3}{4}$	۸	۱	-
۴			-۹	•	$\frac{1}{2}$	•	$-\frac{3}{4}$	-۲	•	

پایه از بردارهای P_1, P_3, P_6 تشکیل شده و جواب متناظر با آن عبارت است از :

$$X = (10, 0, 3, 0, 0, 1)^T \quad f(X) = -9$$

P_3 برای ورود به پایه انتخاب می شود و P_1 حذف می گردد. زیرا:

$$\max(f_j' - c_j) = f_2' - c_2 = \frac{1}{2} > 0$$

بنابراین با استفاده از روش حذفی گوس مطابق با جدول زیر جواب جدید بدست می آید:

i		c	P_0	•	۱	-۳	•	۲	•
				P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
۱	P_2	۱	۴	$\frac{2}{5}$	۱	•	$\frac{1}{10}$	$\frac{4}{5}$	•
۲	P_3	-۳	۵	$\frac{1}{5}$	•	۱	$\frac{3}{10}$	$\frac{2}{5}$	•
۳	P_6	•	۱۱	۱	•	•	$-\frac{1}{2}$	۱۰	۱
۴			-۱۱	$-\frac{1}{5}$	•	•	$-\frac{4}{5}$	$-\frac{12}{5}$	•

پایه از بردارهای P_2, P_3, P_6 تشکیل شده و جواب متناظر با آن عبارت است از:

$$X = (0, 4, 5, 0, 0, 11)^T \quad f(X) = -11$$

چون $\max(f_j'' - c_j) = 0$ تکرار تمام می شود. در نتیجه جواب بهینه عبارت است از:

$$X = (0, 4, 5, 0, 0, 11)^T$$

یکی از کاربردهای مهم روش سیمپلکس استفاده از آن در نظریه بازیها می باشد. در یک مسئله برنامه ریزی گزینه های مختلفی برای بهینه کردن تابع هدف با یکدیگر در حال رقابت هستند به گونه ای که از بین آنها تنها یکی به نتیجه بهینه می انجامد. در عین حال تصمیم گیرنده در انتخاب بهترین استراتژی خود نیازی به رقابت به سایر تصمیم گیرندگان ندارد لیکن در مسئله نظریه بازی یک تصمیم گیرنده باید استراتژیهای خود را به گونه ای انتخاب کند که با منظور داشتن استراتژیهای رقبای دیگر، بتواند سود خود را تا آن جا که ممکن است افزایش و زیان خود را کاهش دهد.

نظریه بازی توسط جان وان نیومن در سال ۱۹۲۸ با پیدا کردن رابطه ریاضی بسط یافت و در ادامه جورج دانتزیگ از روش سیمپلکس برای حل آن استفاده نمود.

۴-۳- برنامه ریزی غیر خطی [۹] و [۱۵]

از نظر ریاضی الگوی مسائل برنامه ریزی خطی رابطه نسبتاً محدودی است که دامنه وسیعی از رابطه بین متغیرها را دربر نمی گیرد. لذا الگوی جامع و کاملی از رابطه بین متغیرها در بحث مسائل برنامه ریزی غیر خطی گنجانده شده است. در این گونه مسائل رابطه بین متغیرها در تابع هدف و قیود به شکل $a_1x_1 + a_2x_2^2 + \dots + a_nx_n^m$ ، مثلثاتی، لگاریتمی و ... ظاهر می شود و صورت کلی مساله به شکل استاندارد زیر بیان می شود:

بردار X را به گونه ای بیابید که تابع $f(x)$ را به شرط $j = 1, 2, \dots, m$ $g_j(X) \leq 0$ کمینه کند.

برای حل مسائل برنامه ریزی با قیدهای مساوی و نامساوی روشهای زیادی وجود دارد. بعضی از این روشها عبارتند از:

۱- روش های جهات امکان پذیر

۲- روش تابع جریمه

۴-۳-۱- روشهای جهات امکان پذیر

ایده اصلی این روش عبارت است از انتخاب یک نقطه آغازین که در همه قیدها صدق کند و طبق رابطه زیر به سمت نقطه بهتر حرکت کند:

$$X_{i+1} = X_i + \lambda S_i \quad (4-7)$$

λ طول گام و S_i جهت حرکت را نشان می دهد. جهت جستجوی S_i باید به گونه ای پیدا شود که:

الف - با یک حرکت کوچک در آن جهت، هیچ قیدی حذف نشود.

ب- مقدار تابع هدف در آن جهت کاهش یابد.

نقطه جدید X_{i+1} به عنوان نقطه آغازین تکرار بعدی انتخاب و فرایند دوباره تکرار می شود. تکرار تا رسیدن به نقطه ای که در آن نتوان جهتی را یافت که دو شرط الف و ب را برآورده کند،

ادامه می یابد. جهتی که در خاصیت الف صدق کند یک جهت امکان پذیر است که در رابطه زیر صدق می کند:

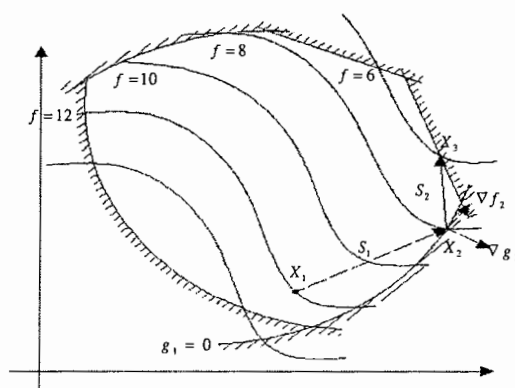
$$\left. \frac{d}{d\lambda} g_j(X_i + \lambda S) \right|_{\lambda=0} = S^T \nabla g_j(X_i) \leq 0 \quad (4-8)$$

و جهتی که هر دو خاصیت الف و ب را داشته باشد یک جهت امکان پذیر مفید است که در روابط زیر صدق می کند:

$$\left. \frac{d}{d\lambda} f(X_i + \lambda S) \right|_{\lambda=0} = S^T \nabla f(X_i) \leq 0 \quad (4-9)$$

$$\left. \frac{d}{d\lambda} g_j(X_i + \lambda S) \right|_{\lambda=0} = S^T \nabla g_j(X_i) \leq 0 \quad (4-10)$$

شیوه تکراری روشهای جهات امکان پذیر به طور ترسیمی در شکل ۴-۱ نشان داده شده است: با فرض انتخاب نقطه X_1 و جهت امکان پذیر $S_1 = -\nabla f(X_1)$ طول گام $\lambda_1 > 0$ به گونه ای انتخاب می شود که f را در امتداد S_1 و بدون نقض هر یک از قیدها کمینه کند. این روش X_2 را به عنوان یک نقطه جدید بدست می دهد. پیشروی در جهت منفی گرادیان تابع هدف در X_2 به نقض قیدها می انجامد. بنابراین یک جهت امکان پذیر در نقطه X_2 به گونه ای پیدا می شود که با ∇g_1 زاویه بزرگتر از 90° و با ∇f_2 زاویه کمتری از 90° می سازد. در نقطه X_2 می توان چند جهت امکان پذیر مفید تولید کرد که از بین آنها جهتی را که باعث بیشترین کاهش در مقدار f می شود، انتخاب می گردد.



شکل ۴-۱- شیوه تکراری روش جهات امکان پذیر

جزیات شیوه تکراری روشهای جهات امکان پذیر در دو روش مشهور جهات امکان پذیر زوتندیک و گرادیان روزن بررسی می شود . در ادامه شیوه تولید جهات امکان پذیر با این دو روش ارائه می شود .

۴-۱-۳-۱- روشهای جهات امکان پذیر زوتندیک

یکی از روشهای جهات امکان پذیر است که در آن برای تعیین جهات امکان پذیر ، اگر نقطه آغازین در داخل ناحیه امکان پذیر واقع باشد ، جهت منفی گرادیان را به عنوان جهت امکان پذیر مفید در نظر می گیرد و اگر نقطه آغازین در مرز ناحیه امکان پذیر واقع شود ، برخی از قیدها را فعال خواهد نمود و جهت امکان پذیر را به گونه ای پیدا می کند که در روابط (۹-۴) و (۱۰-۴) صدق کند . شیوه تکراری روش جهات امکان پذیر زوتندیک را می توان به صورت الگوریتم زیر بیان کرد :

گام اول : از یک نقطه امکان پذیر X_1 و از اعداد کوچک $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ برای آزمایش بهینگی روش استفاده کنید . $j = 1, 2, \dots, m$, $f(X_1), g_j(X_1)$ را ارزیابی کنید .

گام دوم : اگر $j = 1, 2, \dots, m$, $g_j(X_i) < 0$ ، جهت جستجو به صورت زیر انتخاب می شود :

$$S_i = -\nabla f(X_i) \quad (4-11)$$

به گام پنجم بروید . اگر دست کم یک $g_j(X_i) = 0$ ، به گام سوم بروید .

گام سوم : با حل مسال یافتن جهت زیر یک جهت امکان پذیر مفید S بدست می دهد :

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & -\alpha \\ \text{s.t:} \quad & S^T \nabla g_j(X_i) + \theta_j \alpha \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, p \\ & S^T \nabla f + \alpha \leq 0 \\ & 1 \leq s_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (4-12)$$

گام چهارم : اگر مقدار $\alpha \leq \varepsilon_1$ ، $X_{opt} \approx X_i$ بگیریید و روش را متوقف کنید . اگر $\alpha > \varepsilon_1$ ، $S_i = S$ بگیریید و به گام پنجم بروید .

گام پنجم : یک طول گام مناسب λ_i در امتداد جهت S_i پیدا کنید و یک نقطه جدید X_{i+1} را به صورت زیر بدست آورید :

$$X_{i+1} = X_i + \lambda_i S_i \quad (4-13)$$

گام ششم : تابع هدف $f(X_{i+1})$ را ارزیابی کنید .

گام هفتم : روش را برای همگرایی آزمایش کنید . اگر

$$\frac{f(X_i) - f(X_{i+1})}{f(X_i)} \leq \varepsilon_2 \quad \|X_i - X_{i+1}\| \leq \varepsilon_3 \quad (4-14)$$

$X_{opt} = X_{i+1}$ بگیرید و تکرارها را متوقف کنید . در غیر اینصورت به گام هشتم بروید .

گام هشتم : شماره تکرار جدید را قرار دهید و به گام دوم برگردید .

۴-۳-۱-۲- روش تصویر گرادیان روزن

هدف اصلی این روش یافتن مسیر حرکتی است که از نقطه مفروض X_i به نقطه بهتر X_{i+1} که موجب کاهش تابع هدف $f(x)$ می شود ، برسیم .

این روش برخلاف روش زوتندیک که در هر تکرار نیاز به حل یک مساله بهینه یابی دارد نیازی به بهینه سازی کمکی برای یافتن جهات امکان پذیر مفید ندارد ، بلکه از تصویر گرادیان تابع هدف بر قیدهایی که فعال هستند ، استفاده می کند .

در ادامه روش روزن را برای مساله ای با قيود خطی توضیح می دهیم . صورت کلی روش روزن برای قيود خطی به شکل زیر بیان می شود :

$$\text{Min} \quad f(x) \quad (4-15)$$

$$\text{s.t:} \quad g_j(x) = \sum_{i=1}^n a_{ji}x_i - b_j \geq 0$$

شیوه تکراری روش تصویر گرادیان روزن را می توان به صورت الگوریتم زیر بیان کرد :

گام اول : با یک نقطه آغازین X_1 شروع کنید که در رابطه زیر صدق کند :

$$g_j(X_1) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,m$$

گام دوم : اگر $g_j(X_i) < 0$ باشد جهت جستجو را $S_i = -\nabla f(X_i)$ بگیرید و آن را به صورت زیر نرمالیزه کنید :

$$S_i = \frac{-\nabla f(X_i)}{\|\nabla f(X_i)\|} \quad (4-16)$$

و به گام چهارم بروید . لیکن اگر $g_j(X_i) = 0$, $j=1,2,\dots,m$ باشد به گام سوم بروید .

گام سوم : ماتریس تصویر P_i را به صورت زیر بدست آورید :

$$P_i = I - N_p (N_p^T N_p)^{-1} N_p^T \quad (4-17)$$

وقتیکه

$$N_p = [\nabla g_{j1}(X_i) \quad \nabla g_{j2}(X_i) \quad \dots \quad \nabla g_{jp}(X_i)] \quad (4-18)$$

و جهت جستجوی S_i به صورت زیر پیدا می شود :

$$S_i = \frac{-P_i \nabla f(X_i)}{\|P_i \nabla f(X_i)\|} \quad (4-19)$$

گام چهارم : آزمایش کنید که آیا $S_i = 0$ هست یا نه . اگر $S_i \neq 0$ به گام پنجم بروید و اگر

$S_i = 0$ بردار λ را در X_i به صورت زیر محاسبه کنید :

$$\lambda = -(N_p^T N_p)^{-1} N_p^T \nabla f(X_i) \quad (4-20)$$

اگر همه مولفه های بردار λ نامنفی هستند ، $X_{opt} = X_i$ بگیرید و روش تکراری را متوقف

کنید . اگر برخی از مولفه های منفی هستند ، مولفه λ_q را که دارای منفی ترین مقدار است پیدا کنید

و ماتریس جدید N_p را به صورت زیر تشکیل دهید :

$$N_p = [\nabla g_{j1} \quad \dots \quad \nabla g_{jq-1} \quad \nabla g_{jq+1} \quad \dots \quad \nabla g_{jp}] \quad (4-21)$$

و به گام دوم بروید .

گام پنجم : اگر $S_i \neq 0$ ، کمترین طول گام مجاز λ_M را بدون نقض هر یک از قیدها به صورت

زیر پیدا کنید :

$$\lambda_M = \min(\lambda_k) , \lambda_k > 0 \quad (4-22)$$

که k هر عدد صحیح بین 0 تا m غیر از $j_1, \dots, j_p$ است . همچنین

مقدار $\frac{df}{d\lambda} = S_i^T \nabla f(X_i + \lambda_M S_i)$ را پیدا کنید . اگر $\frac{df}{d\lambda}$ در صفر یا منفی است طول گام را

$\lambda_i = \lambda_M$ بگیرید . از طرف دیگر ، اگر در مثبت است طول گام کمینه λ^* را با درونیابی

بدست آورید و $\lambda_i = \lambda^*$ قرار دهید .

گام ششم: تقریب جدید را برای کمینه به صورت زیر بیابید:

$$X_{i+1} = X_i + \lambda_i S_i \quad (4-23)$$

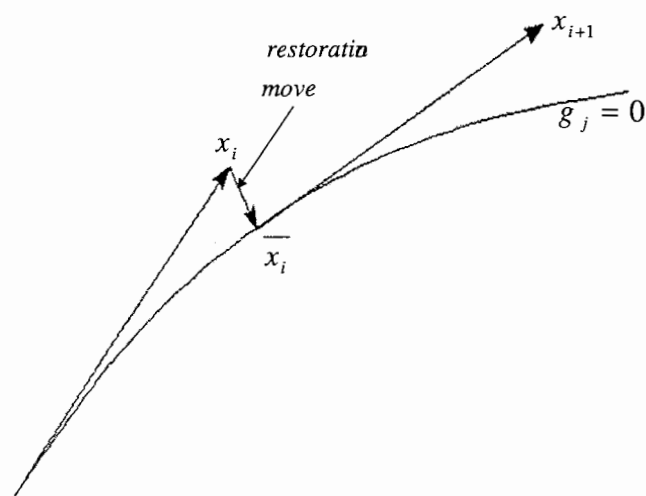
به گام دوم بروید.

اگر در گام چهارم برخی از λ_i منفی و $S_i = 0$ باشد، بردارهای عمود بر برخی قیدها با $-\nabla f$ در X_i یک زاویه باز می سازد. و این به این معنی است که اگر از همه قیدهایی که λ منفی دارند در یافتن جهت K استفاده کنیم جهت جستجوی K صفر می شود، لذا قیدی را که دارای منفی ترین λ است از ماتریس N_p حذف می کنیم. به حالت پیش آمده در نسخه های جدید گرادیان تقلیل یافته می گویند.

روش گرادیان روزن برای حل مسائل با قیدهای خطی بسیار کار آمد است. این روش را می توان برای حل مسائلی با قیدهای غیر خطی هم تعمیم داد.

اگر مسیر جستجو را مشابه آنچه برای قیود خطی بیان شد برای قیود غیر خطی پیدا کنیم از ناحیه امکان پذیر خارج می شویم. بنابراین یک حرکت اصلاحی مطابق شکل ۴-۲ برای بازگشتن به ناحیه امکان پذیر مورد نیاز است. در چنین وضعیتی زیگزاگهای تکراری رخ خواهد داد. این حرکت اصلاحی دارای معادله زیر می باشد:

$$\bar{X}_i = X_i - N_p (N_p^T N_p)^{-1} g_a(X_i) \quad (4-24)$$



شکل ۴-۲- حرکت بر فضای قیود غیر خطی برای رسیدن به جواب بهینه

بازگشت به ناحیه امکان پذیر و ادامه روند مستلزم محاسبه N در هر بازگشت می باشد که این باعث طولانی شدن روند می شود . از این رو دو ریاضیدان به نامهای هاگ و آلا روند ساده تری پیشنهاد کردند . آنها با مشخص کردن یک γ کاهشی مشخص و مطلوب به صورت زیر به بهینه یابی پرداختند :

$$f(x_i) - f(x_{i+1}) \approx \gamma f(x_i) \quad (4-25)$$

$$\alpha^* = \frac{\gamma f(x_i)}{S^T \nabla f} \quad (4-26)$$

در نهایت نقطه بهتر X_{i+1} مطابق رابطه زیر بدست می آید :

$$X_{i+1} = X_i + \alpha^* S - N_p (N_p^T N_p)^{-1} g_a \quad (4-27)$$

برای روشن شدن بحث مساله غیرخطی زیر را با روش گرادیان کمینه می کنیم :

$$\text{Min} \quad f(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 - 2x_1 - 3x_4$$

$$\text{s.t:} \quad g_1 = 2x_1 + x_2 + x_3 + 4x_4 - 7 \geq 0$$

$$g_2 = x_1 + x_2 + x_3^2 + x_4 - 5.1 \geq 0$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$X_0^T = (2, 2, 1, 0) \quad f(X_0) = 5$$

حل :

$$N_p = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 4 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad N_p^T N_p = \begin{bmatrix} 22 & 9 & 4 \\ 9 & 7 & 1 \\ 4 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(N_p^T N_p)^{-1} = \frac{1}{11} \begin{bmatrix} 6 & -5 & -19 \\ -5 & 6 & 14 \\ -19 & 14 & 73 \end{bmatrix}$$

$$P = I - N_p (N_p^T N_p)^{-1} N_p^T = \frac{1}{11} \begin{bmatrix} 1 & -3 & 1 & 0 \\ -3 & 9 & -3 & 0 \\ 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \nabla f = \begin{Bmatrix} 2 \\ 4 \\ 2 \\ -3 \end{Bmatrix}$$

$$S = -P\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{8}{11} & \frac{-24}{11} & \frac{8}{11} & 0 \end{bmatrix}^T \quad s^T = [1 \quad -3 \quad 1 \quad 0]$$

$$\alpha^* = -\frac{0.1f}{s^T \nabla f} = -\frac{0.1 \times 5}{-8} = 0.0625$$

$$g_a^T = (0, -0.1, 0) \quad -N_p(N_p^T N_p)^{-1} g_a = -\frac{1}{110} \begin{bmatrix} 4 \\ -1 \\ -7 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$X_1 = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + 0.0625 \begin{bmatrix} 1 \\ -3 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{1}{110} \begin{bmatrix} 4 \\ -1 \\ -7 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.026 \\ 1.822 \\ 1.126 \\ 0 \end{bmatrix} \quad f(X_1) = 4.64$$

با وجود آنکه هدف ما کاهش 10% در تابع هدف بود ولی بعلت غیر خطی بودن قیود این مقدرله به 7% کاهش یافت .

۴-۳-۲- روش تابع جریمه

روشهای تابع جریمه مسئله بهینه یابی اصلی را به فرمول بندی دیگری تبدیل می کنند ، فرض کنید مسئله بهینه سازی اصلی به صورت زیر باشد :

X را به گونه ای بیابید که تابع $f(X)$ را به شرط $g_j(X) \leq 0$, $j=1,2,\dots,m$ کمینه کند .

این مساله با ساختن یک تابع به شکل زیر به یک مساله کمینه سازی بدون قید تبدیل می شود .

$$\phi_k = \phi(X, r_k) = f(X) + r_k \sum_{j=1}^m G_j[g_j(X)] \quad (4-28)$$

در رابطه (۴-۲۸) عبارت دوم از طرف راست معادله ، عبارت جریمه ، r_k پارامتر جریمه و G_j تابعی از قید g_j می باشد .

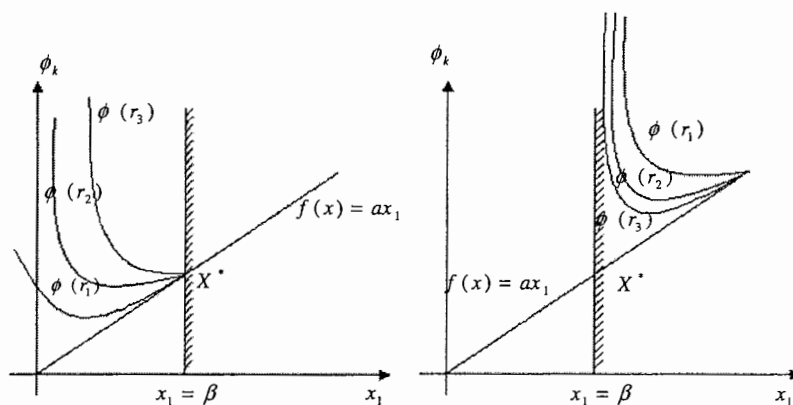
فرمول بندی تابع جریمه را می توان به دو دسته روشهای داخلی و خارجی دسته بندی کرد .

در روشهای داخلی ، همه کمینه های ϕ_k در داخل ناحیه امکان پذیر قرار می گیرند و با تغییر r_k به جواب بهینه همگرا می شوند .

در روشهای خارجی همه کمینه های ϕ_k در خارج ناحیه امکان پذیر قرار می گیرند و با تغییر r_k به جواب بهینه همگرا می شوند .

در شکل ۳-۴ همگرایی کمینه های نامقید ϕ_k برای مساله ساده زیر توضیح داده شده است :

$X = \{x_1\}$ را به گونه ای بیابید که $f(X) = ax_1$ را به شرط $g_1(X) = \beta - x_1 \leq 0$ کمینه کند . در شکل ۳-۴ الف با استفاده از روشهای خارجی و با افزایش کمینه های نامقید $\phi(X, r_k)$ به نقطه همگرا X^* می شوند . از طرف دیگر ، روش داخلی همگرایی را با کاهش متوالی r_k به دست می دهد .



الف

ب

شکل ۳-۴- نمایش روشهای تابع جریمه : الف : روش خارجی ب : روش داخلی

۴-۴- برنامه ریزی درجه دوم

این گونه مسائل جزء متداولترین مسائل برنامه ریزی غیر خطی هستند که به صورت کلی زیر بیان می شوند :

$$\text{Min} \quad f(x) = C^T X + \frac{1}{2} X^T D X \quad (29-4)$$

$$s.t: \quad AX \leq B$$

$$X \geq 0$$

که در آن :

$$X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix}, C = \begin{Bmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{Bmatrix}, B = \begin{Bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{Bmatrix}, D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{1n} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ d_{m1} & d_{mn} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{1n} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{mn} \end{bmatrix}$$

به عنوان مثال ، مساله زیر را می توان با استفاده از روش کمینه یابی مسائل برنامه ریزی درجه

دوم حل نمود :

$$\text{Min } f(x) = -4x_1 + x_1^2 - 2x_1x_2 + 2x_2^2$$

$$s.t: \quad 2x_1 + x_2 \leq 6$$

$$x_1 - 4x_2 \leq 0$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

با معرفی متغیرهای $Y_1, Y_2, \theta_1, \theta_2$ می توان صورت مساله را به صورت زیر بیان کرد :

$$f(x) = (-4 \ 0) \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} + \frac{1}{2} (x_1 \ x_2) \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ -2 & 4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & -4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 6 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$-x_1 + \theta_1 = 0$$

$$-x_2 + \theta_2 = 0$$

جواب بهینه برابر است با :

$$X = \left(\frac{32}{13}, \frac{14}{13} \right)^T \quad f(x) = \frac{-88}{13}$$

(۲) دسته بندی بر اساس تعداد توابع هدف

اگر یک مسئله بهینه یابی مشتمل بر بهینه یابی همزمان چند تابع هدف با مجموعه ای از

قیدهای مشخص باشد می توان از روشهای بهینه یابی چند هدفی برای حل آن استفاده کرد .

یک مسئله بهینه یابی چند هدفی را می توان به صورت زیر بیان کرد :

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & f_1(x) \ f_2(x), \dots, f_k(x) \\ \text{s.t:} \quad & g_j(x) \leq 0 \end{aligned} \quad (4-5)$$

چندین روش برای حل مسائل بهینه یابی چند هدفی ارائه شده است . بعضی از این روشها عبارتند از :

روش تابع مطلوبیت : در این روش بسته به اهمیت تابع f_i در مقایسه با دیگر توابع یک تابع مطلوبیت $U_i f_i$ برای هر یک از توابع هدف تعریف می کنیم .

روش معیار سراسری : در این روش جواب بهینه با بهینه سازی (کمینه یا بیشینه سازی) یک معیار سراسری مانند مجموع مربعات انحراف نسبی توابع هدف بدست می آید .

روش لکزیگرافیک : در این روش توابع هدف به ترتیب اهمیت شان توسط طراح مرتب می شود . آنگاه برای یافتن جواب بهینه از مهمترین تابع هدف شروع می شود .

علاوه بر روشهای ارائه شده ، روشهای دیگری برای حل مسائل برنامه ریزی وجود دارد که باید با توجه به شرایط مساله انتخاب شود . در انتخاب روش حل عوامل متعددی موثر هستند . که برخی از این عوامل عبارتند از :

- تشخیص نوع مسئله ای که باید حل شود .
- دقت مطلوب جواب
- قابلیت اعتماد روش در یافتن جواب بهینه
- تعداد تکرار کمتر و سرعت همگرایی بیشتر برای یافتن جواب بهینه
- موجود بودن برنامه کامپیوتری برای حل مساله
- آسانی کاربرد برنامه و خروجی آن

۴-۵- روش بهینه یابی سقفها

با توجه به روشهای طراحی ذکر شده از آن جا که طراحی سقفها دارای متغیرهای انتخابی متعددی می باشد تمام توجه طراح به این امر است که متغیرهای انتخاب شده جوابگوی طرح و کنترلهای آیین نامه ای باشد از این رو در اغلب موارد این طراحی یک طراحی بهینه نمی باشد و همچنین از آن جا که طراحی سقفها دارای متغیرها ، کنترلهای آیین نامه ای و محاسبات متعدد می باشد در طراحی دستی نمی توانیم به طور همزمان به طراحی و بهینه یابی آنها بپردازیم . به همین علت مساله بهینه یابی سقفها را به صورت یک مساله برنامه ریزی ریاضی در نظر می گیریم . به این صورت که متغیرهای مساله به گونه ای تعیین شود که با رعایت تمامی روابط و ضوابط آیین نامه ای وزن یا هزینه به سمت کمترین حالت ممکن سوق یابند . همچنین بعلاوه آنکه بین متغیرهای سقف از قبیل فاصله بین تیرها ، ضخامت دال بتنی ، ارتفاع سقف و ... در روابط آیین نامه ای و تابع وزن یا هزینه رابطه غیر خطی وجود دارد باید برای بهینه کردن آنها از روشهای حل مسائل برنامه ریزی غیر خطی استفاده کرد که بعلاوه زیاد بودن تعداد متغیرها و کنترلهای آیین نامه ای ، نمی توانیم با روشهای دستی آنها را بهینه کنیم . در نتیجه از یک برنامه کامپیوتری مناسب که قادر به بهینه یابی مسائل غیر خطی است استفاده می کنیم . در این بین ، برنامه کامپیوتری Solver بعلاوه دقت مطلوب آن در جوابهای بدست آمده ، تعداد تکرارهای کم و سرعت بالا در رسیدن به جواب و آسانی کاربردی انتخاب شده است . این برنامه قابل بهینه کردن مسائل برنامه ریزی خطی و غیر خطی می باشد که برای بهینه کردن مسائل خطی از روش سیمپلکس و برای مسائل غیر خطی از روش گرادیان تقلیل یافته استفاده می کند . این برنامه کامپیوتری حاصل تلاشهای دکتر جان واتسن و دن فیلسترا برای بهینه کردن مسائل خطی و دکترلئون لاسدون و آلن وارن برای مسائل غیر خطی می باشد . از آن جا که این برنامه تنها قابل استفاده در نرم افزار ریاضی Excel می باشد در نتیجه باید برنامه طراحی سقفها را که فلوچارت آن در فصل ۳ آورده شد ، در این محیط برنامه نویسی کرد . سپس با معرفی پارامترهای برنامه Solver یعنی متغیرها ، قیود و تابع هدف ، سقفها را بهینه نمود .

برای تأیید استفاده از برنامه بهینه یابی Solver جوابهای مساله برنامه ریزی زیر را با چند روش بهینه یابی از قبیل روشهای جهات امکان پذیر زوتندیک ، تصویر گرادیان روزن و تابع جریمه داخلی و خروجی برنامه مقایسه می شود :

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad f(x) = & -15x_1 - 27x_2 - 36x_3 - 18x_4 - 12x_5 \\ & + 30x_1^2 + 39x_2^4 + 10x_3^2 + 39x_4^2 + 30x_5^2 \\ & - 12x_2x_3 + 62x_2x_4 - 64x_2x_5 - 12x_3x_4 - 20x_3x_5 \\ & - 40x_4x_5 + 4x_1^3 + 8x_2^3 + 10x_3^3 + 6x_4^3 + 2x_5^3 \end{aligned}$$

s.t :

$$\begin{aligned} 16x_1 - 2x_2 - x_4 & \leq 40 \\ 2x_2 - 0.4x_4 - 2x_5 & \leq 2 \\ 3.5x_1 - 2x_3 & \leq 0.25 \\ 2x_2 + 4x_4 + x_5 & \leq 4 \\ 9x_2 + 2x_3 - x_4 + 2.8x_5 & \leq 4 \\ -2x_1 + 4x_3 & \leq 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 & \leq 40 \\ x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 2x_4 + x_5 & \leq 60 \\ -x_1 - 2x_2 - 3x_3 - 4x_4 - 5x_5 & \leq -5 \\ -x_1 - x_2 - x_3 - x_4 - x_5 & \leq -1 \\ -x & \leq 0, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \end{aligned}$$

برای همه روشها نقطه آغازین به صورت زیر در نظر گرفته شده است :

$$X_1 = \begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \quad f(X_1) = 20$$

الف - روش جهات امکان پذیر زوتندیک بعد از ۲۰ ارزیابی

$$X^* = \begin{cases} 0.3 \\ 0.33347 \\ 0.4 \\ 0.42831 \\ 0.22396 \end{cases} \quad f(X^*) = -24.68$$

ب - روش تصویر گرادیان روزن بعد از ۷۰ ارزیابی

$$X^* = \begin{cases} 0.3 \\ 0.33347 \\ 0.4 \\ 0.42831 \\ 0.22396 \end{cases} \quad f(X^*) = -24.68$$

پ - روش تابع جریمه داخلی بعد از ۳۱۵ ارزیابی

$$X^* = \begin{cases} 0.3 \\ 0.33347 \\ 0.4 \\ 0.42831 \\ 0.22396 \end{cases} \quad f(X^*) = -24.68$$

ت - برنامه Solver با استفاده از روش گرادیان تقلیل یافته بعد از ۱۲ بار تکرار

$$X^* = \begin{cases} 0.3 \\ 0.200748 \\ 0.4 \\ 0.464301 \\ 0.663419 \end{cases} \quad f(X^*) = -34.73$$

مشاهده می شود که برنامه Solver با تکرارهای کمتر به جواب مطلوب تری نسبت به روش های دستی بهینه یابی جهات امکان پذیر زوتندیک ، تصویر گرادیان روزن و تابع جریمه داخلی رسیده است . لذا استفاده از این برنامه برای سرعت بخشیدن به بهینه یابی سقفها و رسیدن به جواب مطلوبتر تائید می گردد .

فصل پنجم

بهینه یابی سقفها

مقدمه

با توجه به عملکرد سقف در سازه ساختمانی که وظیفه تحمل بارهای گرانشی، جانبی و انتقال آنها به اعضای سازه ای از قبیل تیرها، ستونها و اعضای مقاوم جانبی از قبیل بادبند و دیوارهای برشی را دارد اگر بتوان وزن سقف را کاهش داد، جرم طبقات و وزن اسکلت کاهش می یابد و در نهایت به عملکرد بهتری در سازه دست می یابیم و از آن جا که در طراحی سقفها به علت وجود متغیرها، کنترلهای آیین نامه ای و محاسبات متعدد تمام توجه طراح به این امر است که متغیرهای انتخاب شده جوابگوی طرح و کنترلهای آیین نامه ای باشد، در نتیجه در اغلب موارد طراحی انجام شده دارای حداقل وزن یا هزینه نمی باشد به همین علت باید سعی کنیم با بهینه کردن سقفها متغیرها را به سمت کاهش وزن و هزینه سوق دهیم تا به به عملکرد بهتر و در نهایت هزینه کمتری دست یابیم. همانطور که در فصل گذشته توضیح دادیم برای سرعت بخشیدن به فرایند طراحی و رسیدن به طرح بهینه از برنامه Solver برای بهینه یابی سقفها استفاده می شود که در ادامه به معرفی پارامترهای برنامه فوق برای بهینه کردن وزن یا هزینه سقفها می پردازیم.

۵-۱- بهینه یابی سقف طاق ضربی

۵-۱-۱- بهینه یابی وزن سقف طاق ضربی

برای بهینه یابی وزن سقف طاق ضربی، برنامه طراحی سقف را مطابق فلوچارت های ارائه شده

در فصل سوم در محیط Excel نوشته و بعد به صورت زیر عمل می کنیم:

گام اول: اطلاعات اولیه سقف را به عنوان ورودی وارد می کنیم:

$$F_y, E_s, L, DL, LL, Beam, n$$

گام دوم: برای متغیرهای سقف مقدار دلخواهی اختیار می کنیم:

$$b_0, b_{pb}, t_{pb}, b_{pt}, t_{pt}$$

گام سوم : برنامه Solver را فعال می کنیم و پارامترهای آن را که متغیرها ، قیود و تابع هدف می باشد ، وارد می کنیم . تابع هدف و قیود به صورت زیر می باشد :

$$W = \frac{G + 0.785 \times ((b_{pt} \times t_{pt}) + (b_{pb} \times t_{pb}))}{b_0} + DL \quad \text{تابع هدف :}$$

قیود :

$$0 \leq \frac{f_{ts}}{F_{ts}} \leq 1 \quad -1$$

$$0 \leq \frac{f_v}{F_v} \leq 1 \quad -2$$

$$\omega_1 \geq 5 \text{ hz} \quad -3$$

$$0 \leq b_0 \leq 1 \text{ m} \quad -4$$

$$0 \leq b_{pt} \leq \alpha_1 \quad -5$$

$$0 \leq t_{pt} \leq \alpha_2 \quad -6$$

$$0 \leq b_{pb} \leq \alpha_3 \quad -7$$

$$0 \leq t_{pb} \leq \alpha_4 \quad -8$$

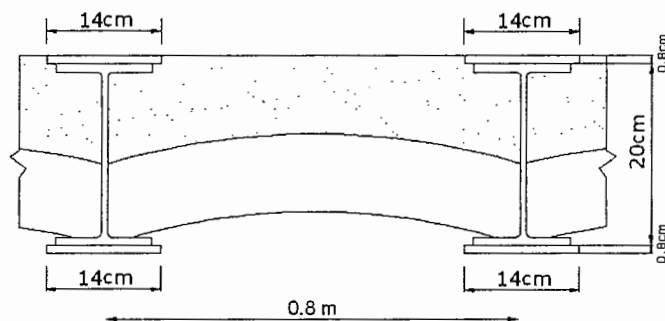
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ با توجه شرایط اجرا تعیین می شود .

گام چهارم : برنامه Solver را اجرا می کنیم بعد از اجرای برنامه مقادیر متغیرها به سمت ایجاد کمترین وزن ممکن تغییر می کند .

تذکر : از آن جا که در برنامه های بهینه یابی متغیرها به صورت پیوسته تغییر می کنند بنابراین متغیرهایی که مقادیر گسسته دارند مثل نمره تیر فولادی و تعداد تیر فولادی را نمی توانیم به عنوان متغیر به برنامه Solver معرفی کنیم .

مثال : برای سقف طاق ضربی با دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی وزن داریم :

الف - قبل از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, L = 6m$$

$$DL = 500 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}, Beam = IPE20, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 0.8 m \quad b_{pb} = 14 cm \quad t_{pb} = 0.8 cm \quad b_{pt} = 14 cm \quad t_{pt} = 0.8 cm$$

قیود :

$$\frac{f_{ts}}{F_{ts}} = 0.46 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.17 \leq 1 \quad -2$$

$$\omega_1 = 5.25 \geq 5 \quad -3$$

$$0.75 \leq b_0 = 0.8 \leq 1 \quad -4$$

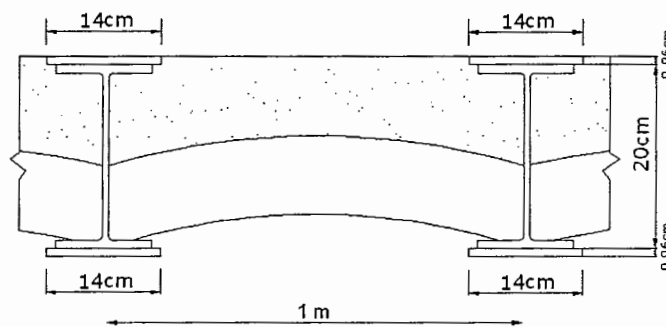
$$b_{pb} = b_{pt} = b_f + 4 \quad -5$$

$$0 \leq t_{pb} = t_{pt} = 0.8 \leq 1.2 \quad -6$$

تابع هدف :

$$W = \frac{23.9 + 0.785 \times (14 \times 0.8 + 14 \times 0.8)}{0.8} + 500 = 551.86 \frac{kg}{m^2}$$

ب - بعد از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, L = 6 m$$

$$DL = 500 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}, Beam = IPE20, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 1 m \quad b_{pb} = 14 cm \quad t_{pb} = 0.96 cm \quad b_{pt} = 14 cm \quad t_{pt} = 0.96 cm$$

قیود :

$$\frac{f_{ls}}{F_{ls}} = 0.52 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.21 \leq 1 \quad -2$$

$$\omega_1 = 5 \geq 5 \quad -3$$

$$0.75 \leq b_0 = 1 \leq 1 \quad -4$$

$$b_{pb} = b_{pt} = b_f + 4 \quad -5$$

$$0 \leq t_{pb} = t_{pt} = 0.96 \leq 1.2 \quad -6$$

تابع هدف :

$$W = \frac{23.9 + 0.785 \times (14 \times 0.96 + 14 \times 0.96)}{1} + 500 = 545 \frac{kg}{m^2}$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی وزن ، وزن سقف از $\frac{kg}{m^2}$ ۵۵۱/۸۶ به $\frac{kg}{m^2}$ ۵۴۵ کاهش

می یابد .

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۱ آمده است .

۵-۱-۲- بهینه یابی هزینه سقف طاق ضربی

در روند بهینه یابی هزینه سقف طاق ضربی ، تنها بهاء مصالحی در تابع هزینه در نظر گرفته شده است که با تغییر متغیرهای طراحی سقف در پروسه بهینه یابی هزینه ، مقادیر آنها تغییر کند . بنابر این هزینه سایر عوامل ثابت مانند کف سازی ، نازک کاری ، طاق زنی با ملات گچ و خاک به عنوان یک ثابت با هزینه سقف جمع می شود . در نتیجه در این بهینه یابی ، تابع هزینه به صورت زیر می باشد :

$$P = \frac{P_1 \times G \times n + P_2 \times 0.785 \times ((b_{pt} \times t_{pt}) + (b_{pb} \times t_{pb}))}{b_0} + P_3$$

P_1 : شامل تهیه ، ساخت و کار گذاشتن تیر ساده از یک تیر آهن (ردیف ۰۹۰۲۰۱ فهرست

بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴) یا تهیه ، ساخت و کار گذاشتن تیر ساده از دو یا چند تیر آهن با اتصالات

مربوطه یا به طریق جوشکاری مستقیم (ردیف ۰۹۰۲۰۲ فهرست بهاء ابنیه سال ۸۴)

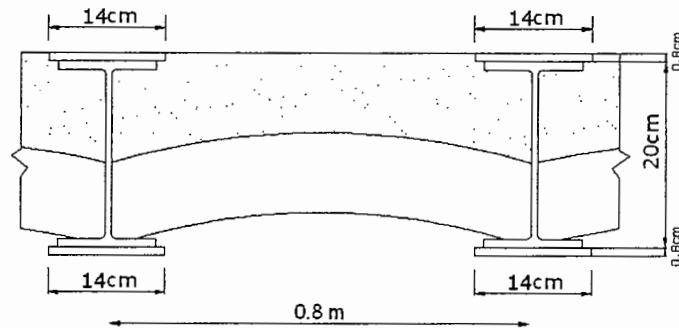
P_2 : شامل تهیه ، ساخت و به کار بردن قطعات اتصالی از نبشی ، سپری ، ورق ، تسمه و مانند

آن با جوشکاری ، برشکاری و ساییدن (ردیف ۰۹۰۷۰۲ فهرست بهاء ابنیه ۱۳۸۴)

P_3 : شامل اجرای طاق آجری ، کف سازی و نازک کاری

مثال : برای سقف طاق ضربی با دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی هزینه داریم :

الف - قبل از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, L = 6 m$$

$$DL = 500 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}, Beam = IPE20, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 0.8 m \quad b_{pb} = 14 cm \quad t_{pb} = 0.8 cm \quad b_{pt} = 14 cm \quad t_{pt} = 0.8 cm$$

قیود :

$$\frac{f_{ts}}{F_{ts}} = 0.46 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.17 \leq 1 \quad -2$$

$$\omega_i = 5.25 \geq 5 \quad -3$$

$$0.75 \leq b_0 = 0.8 \leq 1 \quad -4$$

$$b_{pb} = b_{pt} = b_f + 4 \quad -5$$

$$0 \leq t_{pb} = t_{pt} = 0.8 \leq 1.2 \quad -6$$

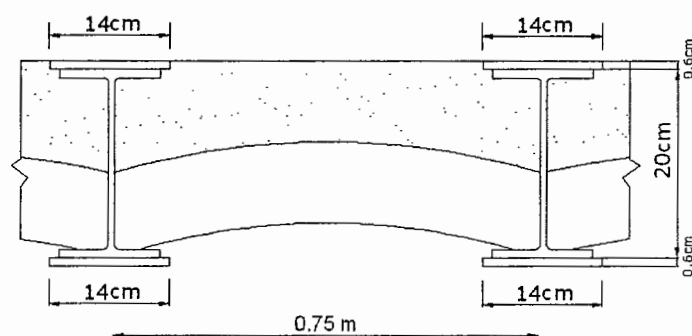
تابع هدف :

$$P = \frac{P_1 \times G \times n + P_2 \times 0.785 \times ((b_{pt} \times t_{pt}) + (b_{pb} \times t_{pb}))}{b_0} + P_3$$

$$= \frac{4490 \times 23.9 \times 1 + 14900 \times 14 \times 0.8 \times 2 \times 0.785}{0.8} + P_3 = 461641 + P_3$$

ریال

ب - بعد از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, L = 6 m$$

$$DL = 500 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}, Beam = IPE 20, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 0.75 m \quad b_{pb} = 14 cm \quad t_{pb} = 0.6 cm \quad b_{pt} = 14 cm \quad t_{pt} = 0.6 cm$$

قيود :

$$\frac{f_{ts}}{F_{ts}} = 0.5 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.16 \leq 1 \quad -2$$

$$\omega_1 = 5.01 \geq 5 \quad -3$$

$$0.75 \leq b_0 = 0.75 \leq 1 \quad -4$$

$$b_{pb} = b_{pt} = b_f + 4 \quad -5$$

$$0 \leq t_{pb} = t_{pt} = 0.6 \leq 1.2 \quad -6$$

تابع هدف : ریال

$$P = \frac{P_1 \times G \times n + P_2 \times 0.785 \times ((b_{pt} \times t_{pt}) + (b_{pb} \times t_{pb}))}{b_0} + P_3$$

$$= \frac{4490 \times 23.9 \times 1 + 14900 \times 0.785 \times (14 \times 0.6 + 14 \times 0.6)}{0.75} + P_3 = 405083 + P_3$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی هزینه ، هزینه سقف از $P_3 + 461641$ ریال به $P_3 + 405083$ ریال کاهش می یابد .

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۲ آمده است .

۵-۲- بهینه یابی سقف تیرچه بلوک

۵-۲-۱- بهینه یابی وزن سقف تیرچه بلوک

برای بهینه یابی وزن سقف تیرچه بلوک ، برنامه طراحی سقف را مطابق فلوجارت های ارائه

شده در فصل سوم در محیط Excel نوشته و بعد به صورت زیر عمل می کنیم :

گام اول : اطلاعات اولیه سقف را به عنوان ورودی وارد می کنیم :

$$F_y, E_s, f'_c, w_c, \overline{\delta_a}, L, SDL, LL$$

گام دوم : برای متغیرهای سقف مقدار دلخواهی اختیار می کنیم .

$$H, h_c, b_0, b_w$$

گام سوم : برنامه Solver را فعال می کنیم و اطلاعات آن را که متغیرها ، قیود و تابع هدف

می باشد وارد می کنیم . تابع هدف و قیود به صورت زیر می باشد :

تابع هدف :

$$W = \frac{(b_w \times (H - h_c)) \times w_c}{b_0} + h_c \times w_c + SDL + W_{block} + G_s$$

G_s : شامل وزن میلگردهای تیرچه خربایی (کششی ، برشی ، فشاری) ، میلگرد منفی ،

میلگرد کلاف عرضی ، میلگرد شبکه جمع شدگی و حرارتی می باشد .

قیود :

۱- محدودیت ارتفاع سقف با توجه به ابعاد بلوک پرکننده تعیین می شود .

۲- محدودیت فاصله بین تیرچه ها با توجه به ابعاد بلوک پرکننده تعیین می شود.

$$h_c \geq \max\left(\frac{b_0}{12}, 5\right) \quad -3$$

$$b_w \geq \max\left(\frac{H}{3.5}, 10\right) \quad -4$$

$$\omega_1 \geq 5 \quad -5$$

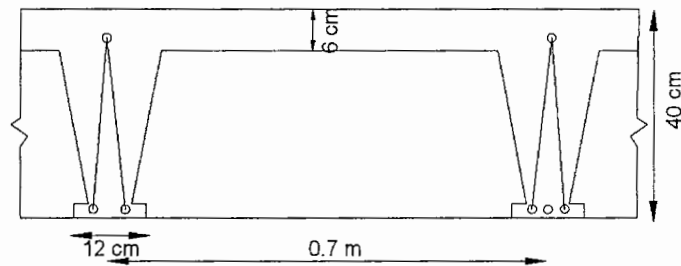
گام چهارم : برنامه Solver را اجرا می کنیم بعد از اجرای برنامه مقادیر متغیرها به سمت

ایجاد کمترین وزن ممکن تغییر می کند .

مثال : برای سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی برای دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی وزن

داریم :

الف - قبل از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$\bar{\delta}_a = 2000 \frac{kg}{cm^2}, L = 6m, SDL = 250 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}$$

متغیرها:

$$b_0 = 70 \text{ cm} \quad H = 40 \text{ cm} \quad h_c = 6 \text{ cm} \quad b_w = 12 \text{ cm}$$

قیود :

$$20 \leq H = 40 \leq 40 \quad -1$$

$$50 \leq b_0 = 70 \leq 70 \quad -2$$

$$h_c = 6 \geq \max\left(\frac{70}{12}, 5\right) = 5.8 \quad -3$$

$$b_w = 12 \geq \max\left(\frac{40}{3.5}, 10\right) = 11.4 \quad -4$$

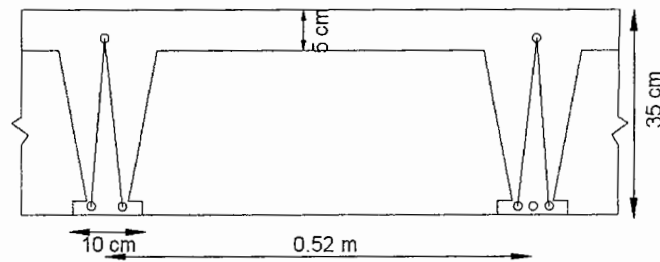
$$\omega_1 = 5.01 \geq 5 \quad -5$$

تابع هدف :

$$W = \frac{(0.12 \times (0.4 - 0.06)) \times 2350}{0.7} + 0.06 \times 2350 + 250 + 138.2$$

$$+ 11.4 = 677.57 \frac{kg}{m^2}$$

ب - بعد از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$\bar{\delta}_a = 2000 \frac{kg}{cm^2}, L = 6 m, SDL = 250 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}$$

متغیرها :

$$b_0 = 52 cm \quad H = 35 cm \quad h_c = 5 cm \quad b_w = 10 cm$$

قیود :

$$20 \leq H = 35 \leq 40 \quad -1$$

$$50 \leq b_0 = 60 \leq 70 \quad -2$$

$$h_c = 5 \geq \max\left(\frac{60}{12}, 5\right) = 5 \quad -3$$

$$b_w = 10 \geq \max\left(\frac{35}{3.5}, 10\right) = 10 \quad -4$$

$$\omega_1 = 5 \geq 5 \quad -5$$

تابع هدف :

$$W = \frac{(0.1 \times (0.35 - 0.05)) \times 2350}{0.52} + 0.05 \times 2350 + 250 + 120$$

$$+ 14.21 = 637.29 \frac{kg}{m^2}$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی وزنی ، وزن سقف از $\frac{kg}{m^2}$ ۶۷۷/۵۷ به

$$\frac{kg}{m^2} ۶۳۷/۲۹ کاهش می یابد .$$

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۳ آمده است .

۵-۲-۲- بهینه یابی هزینه سقف تیرچه بلوک

در روند بهینه یابی هزینه سقف تیرچه بلوک ، تنها بهاء مصالحی در تابع هزینه در نظر گرفته شده است که با تغییر متغیرهای طراحی سقف در پروسه بهینه یابی ، مقادیر آنها تغییر کند . بنابر این هزینه سایر عوامل ثابت مانند کف سازی ، نازک کاری ، به عنوان یک ثابت با هزینه بهینه سقف جمع می شود . در نتیجه در این بهینه یابی ، تابع هزینه به صورت زیر می باشد :

$$P = P_1 + G_s \times P_s + P_2$$

G_s : شامل وزن میلگردهای تیرچه خرپایی (کششی ، برشی ، فشاری) ، میلگرد منفی ،

میلگرد کلاف عرضی ، میلگرد شبکه جمع شدگی و حرارتی می باشد .

P_1 : شامل اجرای سقف سبک بتنی با ضخامت ۲۱ cm تا ۴۰ cm با تیرچه و بلوک بتنی به

استثنای میلگرد (ردیف ۱۰۰۱۰۱ تا ۱۰۰۱۰۵ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴) یا اجرای سقف سبک

بتنی با ضخامت ۲۱ cm تا ۴۰ cm با تیرچه و بلوک سفالی به استثنای میلگرد (ردیف ۱۰۰۲۰۱ تا

۱۰۰۲۰۵ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

P_s : شامل تهیه ، بریدن ، خم کردن و کار گذاشتن میلگرد آجدار برای بتن مسلح با سیم پیچی

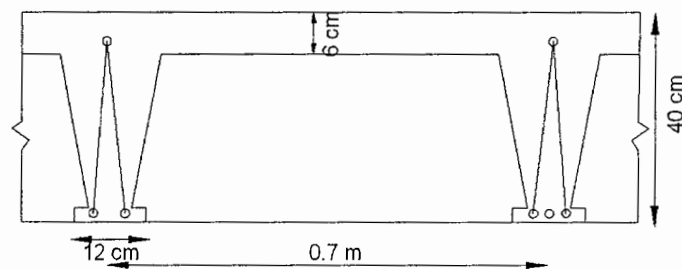
لازم قیمت میلگرد (ردیف ۰۷۰۲۰۱ تا ۰۷۰۲۰۶ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

P_2 : شامل کف سازی و نازک کاری

مثال : برای سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی برای دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی هزینه

داریم :

الف - قبل از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$\bar{\delta}_a = 2000 \frac{kg}{cm^2}, L = 6 m, SDL = 250 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}$$

متغیرها :

$$b_0 = 70 \text{ cm} \quad H = 40 \text{ cm} \quad h_c = 6 \text{ cm} \quad b_w = 12 \text{ cm}$$

قیود :

$$20 \leq H = 40 \leq 40 \quad -1$$

$$50 \leq b_0 = 70 \leq 70 \quad -2$$

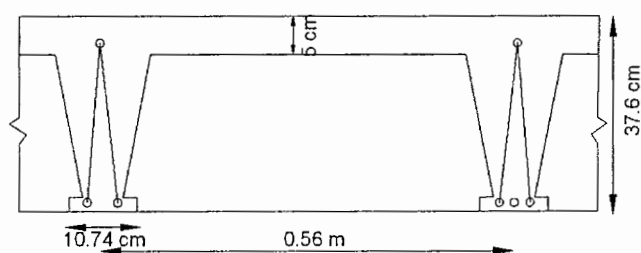
$$h_c = 6 \geq \max\left(\frac{70}{12}, 5\right) = 5.8 \quad -3$$

$$b_w = 10 \geq \max\left(\frac{40}{3.5}, 5\right) = 11.4 \quad -4$$

$$\omega_1 = 5.01 \geq 5 \quad -5$$

$$P = P_1 + G_s \times P_s + P_2 = 108000 + 54996 + P_2 = 162996 + P_2 \quad \text{تابع هدف : ریال}$$

ب - بعد از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$\bar{\delta}_a = 2000 \frac{kg}{cm^2}, L = 6m, SDL = 250 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}$$

متغیرها :

$$b_0 = 56cm \quad H = 37.6cm \quad h_c = 5cm \quad b_w = 10.74cm$$

قيود :

$$20 \leq H = 37.6 \leq 40 \quad -1$$

$$50 \leq b_0 = 56 \leq 70 \quad -2$$

$$h_c = 5 \geq \max\left(\frac{56}{12}, 5\right) = 5 \quad -3$$

$$b_w = 10.74 \geq \max\left(\frac{37.6}{3.5}, 10\right) = 10.74 \quad -4$$

$$\omega_1 = 5.19 \geq 5 \quad -5$$

$$P = P_1 + G_s \times P_s + P_2 = 101711 + 57847 + P_2 = 159558 + P_2 \quad \text{تابع هدف : ریال}$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی هزینه ، هزینه سقف از ریال $P_2 + 162996$ به ریال $P_2 + 159558$ کاهش می یابد .

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۴ آمده است .

۵-۳- بهینه یابی سقف کامپوزیت

۵-۳-۱- بهینه یابی سقف کامپوزیت بدون شمع بندی

۵-۳-۱-۱- بهینه یابی وزن سقف کامپوزیت بدون شمع بندی

برای بهینه یابی وزن سقف کامپوزیت بدون شمع بندی ، برنامه طراحی سقف را مطابق فلوچارت های ارائه شده در فصل سوم در محیط Excel نوشته و بعد به صورت زیر عمل می کنیم :

گام اول : اطلاعات اولیه سقف را به عنوان ورودی وارد می کنیم :

$$F_y, E_s, f_c', w_c, \varepsilon_{sh}, L, SDL, LL$$

گام دوم : برای متغیرهای سقف مقدار دلخواهی اختیار می کنیم .

$$b_0, b_{pb}, t_{pb}, h_c$$

گام سوم : برنامه Solver را فعال می کنیم و اطلاعات آن را که متغیرها ، قیود و تابع هدف

می باشد وارد می کنیم . تابع هدف و قیود به صورت زیر می باشد :

تابع هدف :

$$W = \frac{G + 0.785 \times (b_{pb} \times t_{pb}) + G_{s1}}{b_0} + w_c \times h_c + SDL + G_s$$

G_{s1} وزن برشگیر و G_s وزن شبکه جمع شدگی و حرارتی می باشد .

قیود :

$$0 \leq \frac{f_{cs}}{F_{cs}} \leq 1$$

-۱

$$0 \leq \frac{f_{cc}}{F_{cc}} \leq 1 \quad -2$$

$$0 \leq \frac{f_{tc}}{F_{tc}} \leq 1 \quad -3$$

$$0 \leq \frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{ts}}}{0.9F_y} \leq 1 \quad -4$$

$$0 \leq \frac{f_v}{F_v} \leq 1 \quad -5$$

$$\omega_1 \geq 5 \text{ hz} \quad -6$$

$$h_c \geq \max(h_{\text{cover}} + H_s, d_m) \quad -7$$

در این رابطه h_{cover} حداقل ارتفاع بتن پوششی برشگیر ، H_s ارتفاع برشگیر ، d_m حداقل ضخامت مورد نیاز دال بتنی تشکیل یافته بین دو تیر مرکب می باشند .

$$0 \leq b_{pb} \leq \alpha_1 \quad -8$$

$$0 \leq t_{pb} \leq \alpha_2 \quad -9$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ با توجه به شرایط اجرا تعیین می شود .

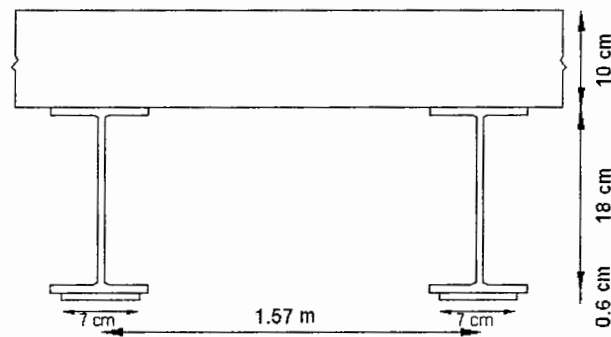
گام چهارم : برنامه Solver را اجرا می کنیم بعد از اجرای برنامه مقادیر متغیرها به سمت

ایجاد کمترین وزن سقف تغییر می کند .

مثال : برای سقف کامپوزیت بدون شمع بندی با دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی وزن

داریم :

الف - قبل از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f'_c = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$L = 6 m, SDL = 270 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}, Beam = IPE18, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 1.57 m \quad b_{pb} = 7 cm \quad t_{pb} = 0.6 cm \quad h_c = 10 cm$$

قیود :

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 0.88 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_{cc}}{F_{cc}} = 0.27 \leq 1 \quad -2$$

$$\frac{f_{tc}}{F_{tc}} = 0.78 \leq 1 \quad -3$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{Is}}}{0.9F_y} = 0.89 \leq 1 \quad -4$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.35 \leq 1 \quad -5$$

$$\omega_1 = 5.48 \geq 5 \text{ Hz} \quad -6$$

$$h_c = 10 \geq \max(3 + 5, \frac{600}{28} = 5.36) = 8 \quad -7$$

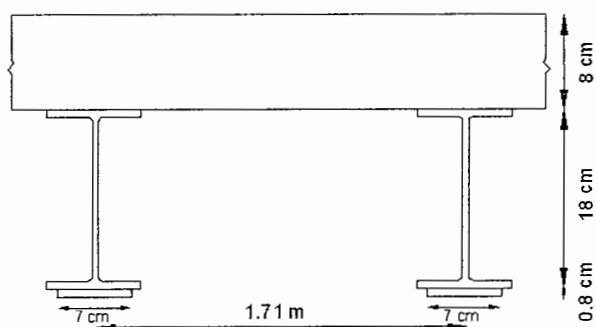
$$0 \leq b_{pb} \leq b_f - 2 \quad -8$$

$$0 \leq t_{pb} \leq t_f \quad -9$$

تابع هدف :

$$W = \frac{18.8 + 0.785 \times (7 \times 0.6) + 15 \times 0.19}{1.57} + 2350 \times 0.1 + 270 + 4 \times 0.62 = 524.11 \frac{kg}{m^2}$$

ب - بعد از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$L = 6m, SDL = 270 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}, Beam = IPE18, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 1.71 \text{ m} \quad b_{pb} = 7 \text{ cm} \quad t_{pb} = 0.8 \text{ cm} \quad h_c = 8 \text{ cm}$$

قیود :

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 0.8 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_{cc}}{F_{cc}} = 0.32 \leq 1 \quad -2$$

$$\frac{f_{tc}}{F_{tc}} = 0.86 \leq 1 \quad -3$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{ts}}}{0.9F_y} = 0.91 \leq 1 \quad -4$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.38 \leq 1 \quad -5$$

$$\omega_1 = 5 \geq 5 \text{ hz} \quad -6$$

$$h_c = 8 \geq \max(3 + 5, \frac{600}{28} = 5.36) = 8 \quad -7$$

$$0 \leq b_{pb} \leq b_f - 2 \quad -8$$

$$0 \leq t_{pb} \leq t_f \quad -9$$

تابع هدف :

$$W = \frac{18.8 + 0.785 \times (7 \times 0.8) + 15 \times 0.19}{1.71} + 2350 \times 0.08 + 270 + 4 \times 0.39 = 475.79 \frac{kg}{m^2}$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی وزن ، وزن سقف از $524/11 \frac{kg}{m^2}$ به $475/79 \frac{kg}{m^2}$

کاهش می یابد .

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۵ آمده است .

۵-۳-۱-۲- بهینه یابی هزینه سقف کامپوزیت بدون شمع بندی

در روند بهینه یابی هزینه سقف کامپوزیت ، تنها بهاء مصالحی در تابع هزینه در نظر گرفته شده است که با تغییر متغیرهای طراحی سقف در پروسه بهینه یابی ، مقادیر آنها تغییر کند . بنابر این هزینه سایر عوامل ثابت مانند قالب بندی فلزی ، کف سازی ، نازک کاری و سقف کاذب به عنوان یک ثابت در با هزینه سقف جمع می شود . در نتیجه در این بهینه یابی ، تابع هزینه به صورت زیر می باشد :

$$P = \frac{P_1 \times G \times n + P_2 \times (0.785 \times (b_{pb} \times t_{pb}) + N \times G_{s1})}{b_0} + P_3 \times \omega_c \times h_c + G_s \times P_s + P_4$$

G_{s1} وزن برشگیر و G_s وزن شبکه جمع شدگی و حرارتی می باشد .

P_1 : شامل تهیه ، ساخت و کار گذاشتن تیر ساده از یک تیر آهن (شماره ۰۹۰۲۰۱ از فهرست

بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴) یا تهیه ، ساخت و کار گذاشتن تیر ساده از دو یا چند تیر آهن با اتصالات

مربوطه یا به طریق جوشکاری مستقیم (ردیف ۰۹۰۲۰۲ فهرست بهاء ابنیه سال ۸۴)

P_2 : شامل تهیه ، ساخت و به کار بردن قطعات اتصالی از نبشی ، سپری ، ورق ، تسمه و مانند

آن با جوشکاری ، برشکاری و ساییدن (ردیف ۰۹۰۷۰۲ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

P_3 : شامل تهیه و اجرای بتن با شن و ماسه شسته طبیعی (شماره ۸۰۱۰۱ تا ۸۰۱۰۷) از

فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴) به همراه اضافه بهاء مربوطه (ردیف ۰۸۰۳۰۲ ، ۰۸۰۳۰۴ ، ۰۸۰۳۱۰ ،

۰۸۰۴۰۱ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

P_s : شامل تهیه ، بریدن ، خم کردن و کار گذاشتن میلگرد آجدار برای بتن مسلح با سیم پیچی

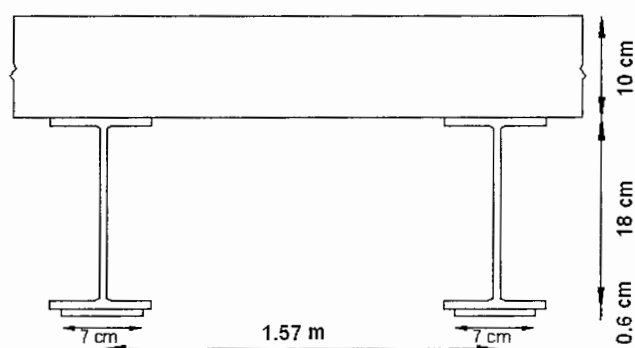
لازم قیمت میلگرد (ردیف ۰۷۰۲۰۱ تا ۰۷۰۲۰۶ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

P_4 : شامل اجرای قالب فلزی ، کف سازی و نازک کاری

مثال : برای سقف کامپوزیت بدون شمع بندی با دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی هزینه

داریم :

الف - قبل از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$L = 6m, SDL = 270 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}, Beam = IPE18, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 1.57 m \quad b_{pb} = 7 cm \quad t_{pb} = 0.6 cm \quad h_c = 10 cm$$

قیود :

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 0.88 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_{cc}}{F_{cc}} = 0.27 \leq 1 \quad -2$$

$$\frac{f_{tc}}{F_{tc}} = 0.78 \leq 1 \quad -3$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{ts}}}{0.9F_y} = 0.89 \leq 1 \quad -4$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.35 \leq 1 \quad -5$$

$$\omega_1 = 5.48 \geq 5 \text{ hz} \quad -6$$

$$h_c = 10 \geq \max(3 + 5, \frac{600}{28} = 5.36) = 8 \quad -7$$

$$0 \leq b_{pb} \leq b_f - 2 \quad -8$$

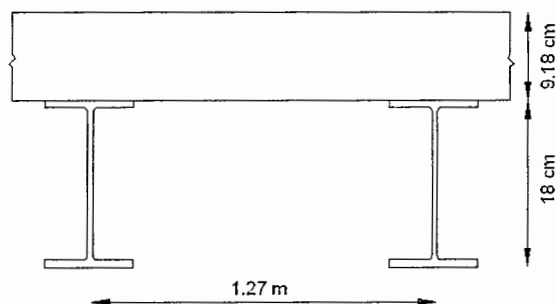
$$0 \leq t_{pb} \leq t_f \quad -9$$

$$P = \frac{4490 \times 18.8 \times 1 + 14900 \times (0.785 \times (7 \times 0.6) + 15 \times 0.19)}{1.57}$$

تابع هدف : ریال

$$+ 32632 + 15430 + P_4 = 160165 + P_4$$

ب- بعد از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, f_c' = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, w_c = 2350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$L = 6 \text{ m}, SDL = 270 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}, LL = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}, Beam = IPE18, n = 1$$

متغیرها :

$$b_0 = 1.27 \text{ m} \quad b_{pb} = 0 \quad t_{pb} = 0 \quad h_c = 9.18 \text{ cm}$$

قيود :

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 0.95 \leq 1 \quad -1$$

$$\frac{f_{cc}}{F_{cc}} = 0.3 \leq 1 \quad -2$$

$$\frac{f_{tc}}{F_{tc}} = 0.9 \leq 1 \quad -3$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{cs}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{ts}}}{0.9F_y} = 1 \leq 1 \quad -4$$

$$\frac{f_v}{F_v} = 0.29 \leq 1 \quad -5$$

$$\omega_1 = 5 \geq 5 \text{ hz} \quad -6$$

$$h_c = 9.18 \geq \max(3 + 5, \frac{600}{28} = 5.36) = 8 \quad -7$$

$$0 \leq b_{pb} \leq b_f - 2 \quad -8$$

$$0 \leq t_{pb} \leq t_f \quad -9$$

تابع هدف : ريال

$$P = \frac{4490 \times 18.8 \times 1 + 14900 \times (15 \times 0.19)}{1.27} + 30276 + 9875 + P_4 = 140054 + P_4$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی هزینه ، هزینه سقف از ريال $P_4 + 160165$ به

ريال $P_4 + 140054$ کاهش می یابد .

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۶ آمده است .

تذکر : از آن جا که در برنامه های بهینه سازی متغیرها به صورت پیوسته تغییر می کند ، بنابراین متغیرهایی که مقادیر گسسته دارند مثل نمره تیر فولادی و تعداد تیر فولادی را نمی توانیم به عنوان متغیر به برنامه Solver معرفی کنیم .

۵-۳-۲- بهینه یابی سقف کامپوزیت با شمع بندی

بهینه یابی سقف کامپوزیت با استفاده از شمع بندی مشابه حالت بدون شمع بندی است با این

$$\text{تفاوت که قید } 0 \leq \frac{f_{cs}}{F_{cs}} \leq 1 \text{ حذف می شود .}$$

مثال : برای سقف کامپوزیت با شمع بندی اگر اطلاعات اولیه و متغیرها قبل از بهینه یابی همانند مثال قبل (بدون شمع بندی) باشد ، در این حالت (با شمع بندی) بعد از بهینه یابی وزن و هزینه ، نتایج یکسانی با حالت بدون استفاده از شمع بندی بدست آمد .

علت در این است که در سقف کامپوزیت برای دهانه های ۶ متر و بالاتر ، کنترل فرکانس از کنترلهای دیگر بحرانی تر است و چون این کنترل در هر دو حالت بدون استفاده از شمع بندی و با استفاده از شمع بندی دارای فرمول یکسانی است . لذا برای دهانه های ۶ متر و بالاتر، نتایج بهینه هر دو حالت بدون استفاده از شمع بندی و با استفاده از شمع بندی بر هم منطبق می باشد .

۵-۴- بهینه یابی سقف تیرچه فولادی با جان باز

۵-۴-۱- بهینه یابی وزن سقف تیرچه فولادی با جان باز

برای بهینه یابی وزن سقف تیرچه فولادی با جان باز ، برنامه طراحی سقف را مطابق فلوچارت

های ارائه شده در فصل سوم در محیط Excel نوشته و بعد به صورت زیر عمل می کنیم :

گام اول : اطلاعات اولیه سقف را به عنوان ورودی وارد می کنیم :

$$F_y, E_s, f_c', w_c, L, SDL, LL$$

گام دوم : برای متغیرهای سقف مقدار دلخواهی اختیار می کنیم .

$$H, h_c, b_0, b_{pb}, t_{pb}, \phi_b, b_{pt}, t_{pt}, \phi_t$$

گام سوم : برنامه Solver را فعال می کنیم و اطلاعات آن را که متغیرها ، قیود و تابع هدف

می باشد وارد می کنیم . تابع هدف و قیود به صورت زیر می باشد :

تابع هدف :

$$W = \frac{(b_{pb} \times (H - h_c)) \times w_c + 0.785 \times ((b_{pb} \times t_{pb}) + A_{\phi_b} + (b_{pt} \times t_{pt}) + A_{\phi_t} + G_{s1})}{b_0} + h_c \times w_c + SDL + G_s$$

G_s : شامل وزن میلگرد کلاف میانی ، شبکه جمع شدگی و حرارتی و G_{s1} شامل میلگرد

برشی و ورق نری می باشد .

قیود :

$$\frac{L_r}{r_y} \leq 145 \quad -1$$

$$0 \leq \frac{f_{cs}}{F_{cs}} \leq 1 \quad -2$$

$$0 \leq \frac{f_{tc}}{F_{tc}} \leq 1 \quad -3$$

$$0 \leq \frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}} \leq 0.9F_y \quad -4$$

$$0 \leq \frac{V_{\max(D1)}}{V_j} \leq 1 \quad -5$$

$$0 \leq \frac{V_{\max}}{V_c + V_j} \leq 1 \quad -6$$

$$\omega_1 \geq 5 \quad -7$$

$$0 \leq b_0 \leq a_1 \text{ or } a_2 \quad -8$$

در سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک $a_1 = 75 \text{ cm}$ و در سقف تیرچه فولادی با جان باز

کامپوزیت $a_1 = 100 \text{ cm}$

$$h_c \geq \max\left(\frac{b_0}{12}, 5\right) \quad -9$$

$$b_{pb} \geq \max\left(\frac{2L}{7}, a\right) \quad a = 10 \text{ cm} \text{ آنگاه } L > 4 \text{ m} \text{ و اگر } a = 8 \text{ cm} \text{ ، آنگاه } L \leq 4 \text{ m} \quad -10$$

$$t_{pb} \geq 0.3 \quad -11$$

$$t_{pt} \geq 0.3 \quad -12$$

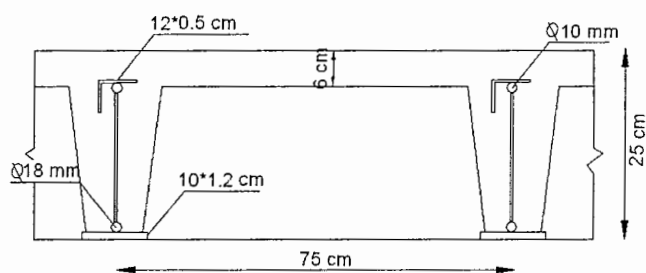
گام چهارم : برنامه Solver را اجرا می کنیم بعد از اجرای برنامه مقادیر متغیرها به سمت

ایجاد کمترین وزن سقف تغییر می کند .

مثال : برای سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی با دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی

وزن داریم :

الف - قبل از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, f_c' = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, w_c = 2350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$L = 6 \text{ m}, SDL = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}, LL = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

متغیرها :

$$b_0 = 75 \text{ cm} \quad H = 25 \text{ cm} \quad h_c = 6 \text{ cm} \quad b_{pb} = 10 \text{ cm}$$

$$t_{pb} = 1.2 \text{ cm} \quad \phi_b = 18 \text{ mm} \quad b_{pt} = 12 \text{ cm} \quad t_{pt} = 0.5 \text{ cm} \quad \phi_t = 10 \text{ mm}$$

قيود :

$$\frac{L_r}{r_y} = 11.35 \leq 145 \quad -١$$

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 0.84 \leq 1 \quad -٢$$

$$\frac{f_{tc}}{F_{tc}} = 0.55 \leq 1 \quad -٣$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}}}{0.9F_y} = 0.66 \leq 1 \quad -٤$$

$$\frac{V_{\max(D1)}}{V_J} = 1 \leq 1 \quad -٥$$

$$\frac{V_{\max}}{V_c + V_J} = 1 \leq 1 \quad -٦$$

$$\omega_1 = 5.88 \geq 5 \quad -٧$$

$$b_0 = 0.75 \leq 0.75 \quad -٨$$

$$h_c = 6 \geq 5 \quad -٩$$

$$b_{pb} = 10 \geq \max\left(\frac{2 \times 6}{7}, 10\right) = 10 \quad -١٠$$

$$t_{pb} = 1.2 \geq 0.3 \quad -١١$$

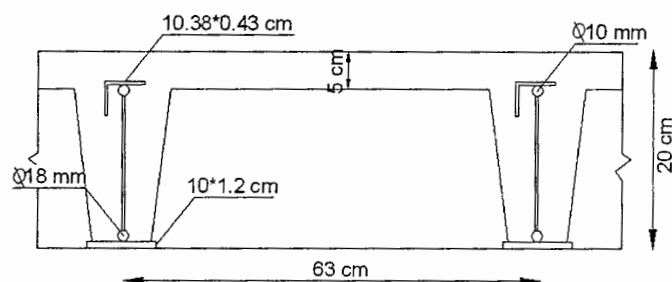
$$t_{pt} = 0.5 \geq 0.3 \quad -١٢$$

تابع هدف :

$$W = \frac{(0.1 \times 0.19) \times 2350 + 0.785 \times (10 \times 1.2 + 2.54 + 12 \times 0.5 + 0.79) + 3.86}{0.75}$$

$$+ 0.06 \times 2350 + 250 + 2.05 + 109 = 589.05 \frac{kg}{m^2}$$

ب - بعد از بهینه یابی وزن :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$L = 6 m, SDL = 250 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}$$

متغیرها :

$$b_0 = 63 \text{ cm} \quad H = 20 \text{ cm} \quad h_c = 5 \text{ cm} \quad b_{pb} = 10 \text{ cm}$$

$$t_{pb} = 1.2 \text{ cm} \quad \phi_b = 18 \text{ mm} \quad b_{pt} = 10.38 \text{ cm} \quad t_{pt} = 0.43 \text{ cm}$$

$$\phi_t = 10 \text{ mm}$$

قيود :

$$\frac{L_r}{r_y} = 12.07 \leq 145 \quad -1$$

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 1 \leq 1 \quad -2$$

$$\frac{f_{tc}}{F_{tc}} = 0.56 \leq 1 \quad -3$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}}}{0.9F_y} = 0.67 \leq 1 \quad -4$$

$$\frac{V_{\max(D1)}}{V_j} = 1 \leq 1 \quad -5$$

$$\frac{V_{\max}}{V_c + V_j} = 1 \leq 1 \quad -6$$

$$\omega_1 = 5 \geq 5 \quad -7$$

$$b_0 = 0.64 \leq 0.75 \quad -8$$

$$h_c = 5 \geq 5 \quad -9$$

$$b_{pb} = 10 \geq \max\left(\frac{2 \times 6}{7}, 10\right) = 10 \quad -10$$

$$t_{pb} = 1.2 \geq 0.3 \quad -11$$

$$t_{pt} = 0.43 \geq 0.3 \quad -12$$

تابع هدف :

$$W = \frac{(0.1 \times 0.15) \times 2350 + 0.785 \times (10 \times 1.2 + 2.54 + 10.38 \times 0.43) + 4.71}{0.63} \\ + 0.05 \times 2350 + 250 + 2.05 + 83 = 539.7 \frac{kg}{m^2}$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی وزن، وزن سقف از $589/0.5 \frac{kg}{m^2}$ به $539/7 \frac{kg}{m^2}$ کاهش

می یابد .

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۷ آمده است .

۵-۴-۲- بهینه یابی هزینه سقف تیرچه فولادی با جان باز

در روند بهینه یابی هزینه سقف تیرچه فولادی با جان باز ، تنها بهاء مصالحی در تابع هزینه در نظر گرفته می شود که با تغییر متغیرهای طراحی سقف در پروسه بهینه یابی ، مقادیر آنها تغییر کند . بنابر این هزینه سایر عوامل ثابت ماندکف سازی ، نازک کاری به عنوان یک ثابت با هزینه سقف جمع می شود . در نتیجه در این بهینه یابی ، تابع هزینه به صورت زیر می باشد :

$$P = P_1 + G_s \times P_s + G_{s2} \times P_{s2} + P_2$$

G_s شامل وزن میلگرد کلاف میانی ، شبکه جمع شدگی و حرارتی و G_{s2} شامل وزن تیرچه فولادی می باشد .

P_1 : شامل اجرای سقف سبک بتنی با ضخامت ۲۱ cm تا ۳۰ cm با تیرچه فولادی و بلوک بتنی به استثنای میلگرد (ردیف ۱۰۰۴۰۱ تا ۱۰۰۴۰۳ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴) یا تهیه وسایل و قالب بندی برای سقفهای مرکب (ردیف ۰۶۰۴۰۵ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴) به همراه اضافه بهاء برای سطوح منحنی (ردیف ۰۶۰۸۰۳ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

P_s : شامل تهیه ، بریدن ، خم کردن و کار گذاشتن میلگرد آجدار برای بتن مسلح با سیم پیچی لازم قیمت میلگرد (ردیف ۲۰۱ تا ۰۷۰۲۰۶ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

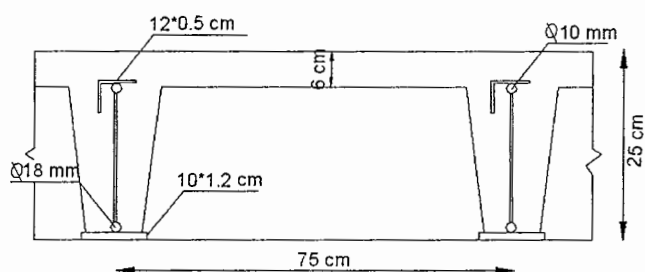
P_{s2} : شامل تهیه ، بریدن ، خم کردن و کار گذاشتن تیرچه فولادی (ردیف ۰۹۰۲۰۷ فهرست بهاء ابنیه سال ۱۳۸۴)

P_2 : شامل اجرای کف سازی و نازک کاری

مثال : برای سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی با دهانه ۶ متر قبل و بعد از بهینه یابی

هزینه داریم :

الف - قبل از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$L = 6m, SDL = 250 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}$$

متغیرها :

$$b_0 = 75 \text{ cm} \quad H = 25 \text{ cm} \quad h_c = 6 \text{ cm} \quad b_{pb} = 10 \text{ cm}$$

$$t_{pb} = 1.2 \text{ cm} \quad \phi_b = 18 \text{ mm} \quad b_{pt} = 12 \text{ cm} \quad t_{pt} = 0.5 \text{ cm}$$

$$\phi_t = 10 \text{ mm}$$

قیود :

$$\frac{L_r}{r_y} = 11.35 \leq 145 \quad -1$$

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 0.84 \leq 1 \quad -2$$

$$\frac{f_{ic}}{F_{ic}} = 0.55 \leq 1 \quad -3$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}}}{0.9F_y} = 0.66 \leq 1 \quad -۴$$

$$\frac{V_{\max(D1)}}{V_j} = 1 \leq 1 \quad -۵$$

$$\frac{V_{\max}}{V_c + V_j} = 1 \leq 1 \quad -۶$$

$$\omega_1 = 5.88 \geq 5 \quad -۷$$

$$b_0 = 0.75 \leq 0.75 \quad -۸$$

$$h_c = 6 \geq 5 \quad -۹$$

$$b_{pb} = 10 \geq \max\left(\frac{2 \times 6}{7}, 10\right) = 10 \quad -۱۰$$

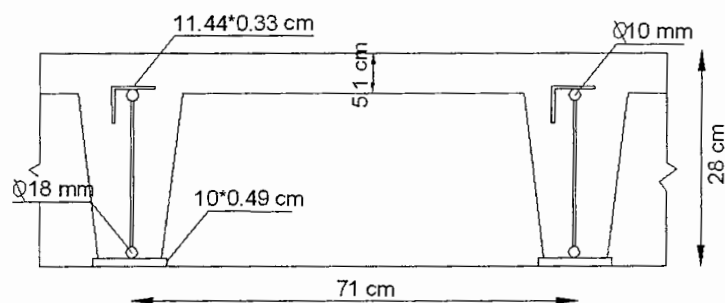
$$t_{pb} = 1.2 \geq 0.3 \quad -۱۱$$

$$t_{pt} = 0.5 \geq 0.3 \quad -۱۲$$

تابع هدف :

$$P = P_1 + G_s \times P_s + G_{s2} \times P_{s2} + P_2 = 63200 + 9658 + 163952 + P_2 = 236721 + P_2$$

ب- بعد از بهینه یابی هزینه :



اطلاعات اولیه :

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}, E_s = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}, f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}, w_c = 2350 \frac{kg}{m^3}$$

$$L = 6m, SDL = 250 \frac{kg}{m^2}, LL = 200 \frac{kg}{m^2}$$

متغیرها :

$$b_0 = 71 \text{ cm} \quad H = 28 \text{ cm} \quad h_c = 5.1 \text{ cm} \quad b_{pb} = 10 \text{ cm}$$

$$t_{pb} = 0.49 \text{ cm} \quad \phi_b = 18 \text{ mm} \quad b_{pt} = 11.44 \text{ cm} \quad t_{pt} = 0.33 \text{ cm}$$

$$\phi_t = 10 \text{ mm}$$

قيود :

$$\frac{L_r}{r_y} = 12.08 \leq 145 \quad -1$$

$$\frac{f_{cs}}{F_{cs}} = 0.98 \leq 1 \quad -2$$

$$\frac{f_{tc}}{F_{tc}} = 0.85 \leq 1 \quad -3$$

$$\frac{\frac{M_{\max(D1)}}{S_{ts}} + \frac{M_{\max(D2)} + M_{\max(L)}}{S_{tc}}}{0.9F_y} = 1 \leq 1 \quad -4$$

$$\frac{V_{\max(D1)}}{V_j} = 1 \leq 1 \quad -5$$

$$\frac{V_{\max}}{V_c + V_j} = 1 \leq 1 \quad -6$$

$$\omega_1 = 5 \geq 5 \quad -7$$

$$b_0 = 0.71 \leq 0.75 \quad -8$$

$$h_c = 5.3 \geq 5 \quad -9$$

$$t_{pb} = 0.49 \geq 0.3 \quad -10$$

$$b_{pb} = 10 \geq \max\left(\frac{2 \times 6}{7}, 10\right) = 10 \quad -11$$

$$t_{pt} = 0.33 \geq 0.3 \quad -12$$

تابع هدف :

$$P = P_1 + G_s \times P_s + G_{s2} \times P_{s2} + P_2 = 68862 + 9763 + 104263 + P_2 = 182888 + P_2$$

مشاهده می شود که پس از بهینه یابی هزینه ، هزینه سقف از ریال $236721 + P_2$ به ریال $182888 + P_2$ کاهش می یابد .

خروجی برنامه بهینه یابی Solver این مثال در پیوست ۸ آمده است .

فصل ششم

نتایج بهینه یابی سقفها

مقدمه

همانطور که در فصول گذشته شرح دادیم در سقفها با ایجاد هماهنگی لازم بین عملیات طراحی و بهینه یابی ، نهایتا طرحی ارائه می شود که دارای تمامی کنترلهای آیین نامه ای و حداقل وزن یا هزینه است و از آن جا که برای پوشش سقف سازه ساختمانی عوامل متعددی از قبیل کم کردن وزن ، کم کردن هزینه ، کم کردن ارتعاش ، کم کردن خیز و ... در انتخاب نوع پوشش موثر است لذا در این فصل ابتدا سقفهای طاق ضربی ، تیرچه بلوک ، کامپوزیت و تیرچه فولادی با جان باز را برای دهانه های رایج در ساختمانهای ایران از ۴ تا ۸ متر بهینه وزنی می کنیم سپس سقفهای بهینه را از نظر وزن ، ارتعاش و خیز با یکدیگر مقایسه می کنیم .

۶-۱- نتایج طراحی بهینه وزن سقف طاق ضربی

سقف طاق ضربی برای دهانه های رایج از ۴ تا ۸ متر با استفاده از روش ارائه شده در فصل پنجم و با در نظر گرفتن فرضیات زیر طراحی بهینه شده است . دراین بررسی اطلاعات اولیه ، متغیرها و تابع هدف به صورت زیر می باشد :

اطلاعات اولیه : $F_y, E_s, L, DL, LL, Beam, n$

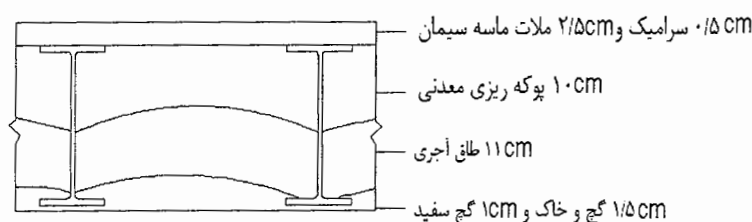
متغیر: b_0

تابع هدف : $W = \frac{G \times n}{b_0} + DL$

فرضیات :

الف- بار زنده وارد بر سقف معادل $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .

ب- بار مرده مطابق دتایل زیر معادل $500 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سرامیک}$$

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{kg}{m^2} \quad \text{ملات ماسه سیمان}$$

$$0.1 \times 600 = 60 \frac{kg}{m^2} \quad \text{پوکه ریزی معدنی}$$

$$0.11 \times 1850 = 204 \frac{kg}{m^2} \quad \text{طاق آجری}$$

$$0.01 \times 1300 + 0.015 \times 1600 = 37 \frac{kg}{m^2} \quad \text{گچ و خاک و گچ سفید}$$

$$120 \frac{kg}{m^2} \quad \text{تیغه بندی}$$

$$\Sigma = 484 / 4 \approx 500 \frac{kg}{m^2}$$

پ- تیرهای فولادی از نوع IPE از سایز ۱۴ تا ۳۰ بصورت تک یا دابل بدون ورق تقویت می باشد .

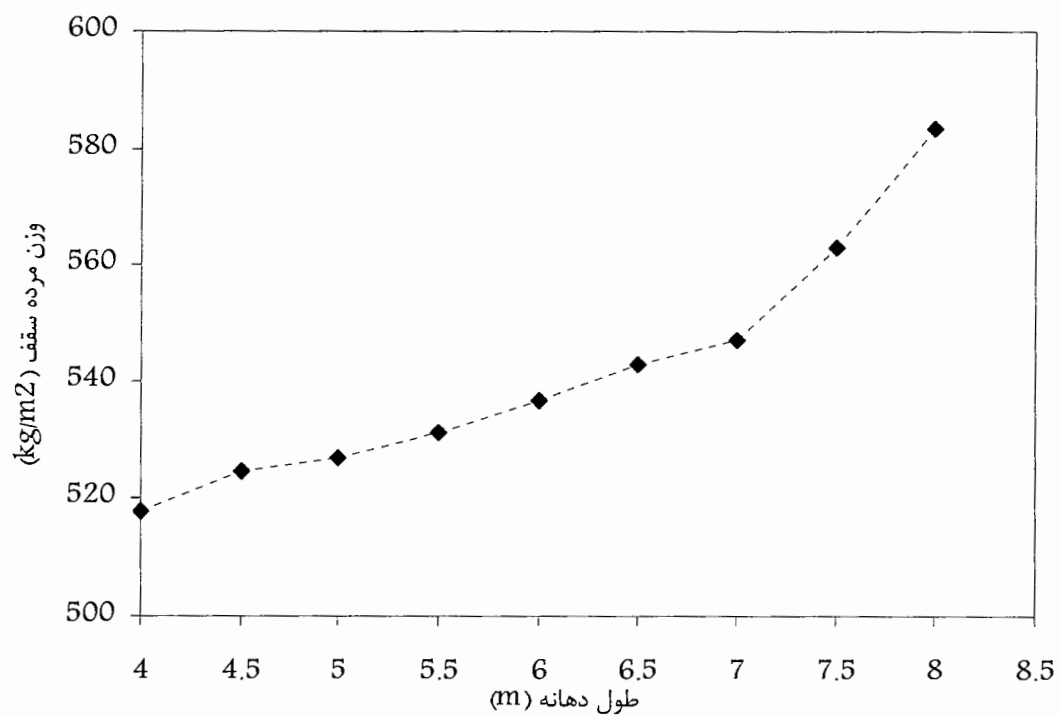
ت- فولاد نیمرخها از نوع ST ۳۷ با تنش جاری شدن $2400 \frac{kg}{cm^2}$ می باشد .

نتایج طراحی بهینه سقف طاق ضربی برای دهانه های ۴ تا ۸ متر مطابق جدول ۶-۱ می باشد .

وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیر (cm)	فرکانس مود اول تیر (hz)	فاصله بین تیرها (m)	تعداد تیر	نوع تیر	دهانه (m)
518	1.22	5	0.93	1	IPE16	4
525	0.95	5.66	1	1	IPE20	4.5
527	1.02	5.47	1	1	IPE22	5
531	1.07	5.34	1	1	IPE24	5.5
537	1.02	5.45	1	1	IpE27	6
543	1.22	5	0.86	1	IpE27	6.5
547	1.22	5	0.91	1	IpE30	7
563	1.22	5	0.68	1	IpE30	7.5
583	1.22	5	0.51	1	IpE30	8

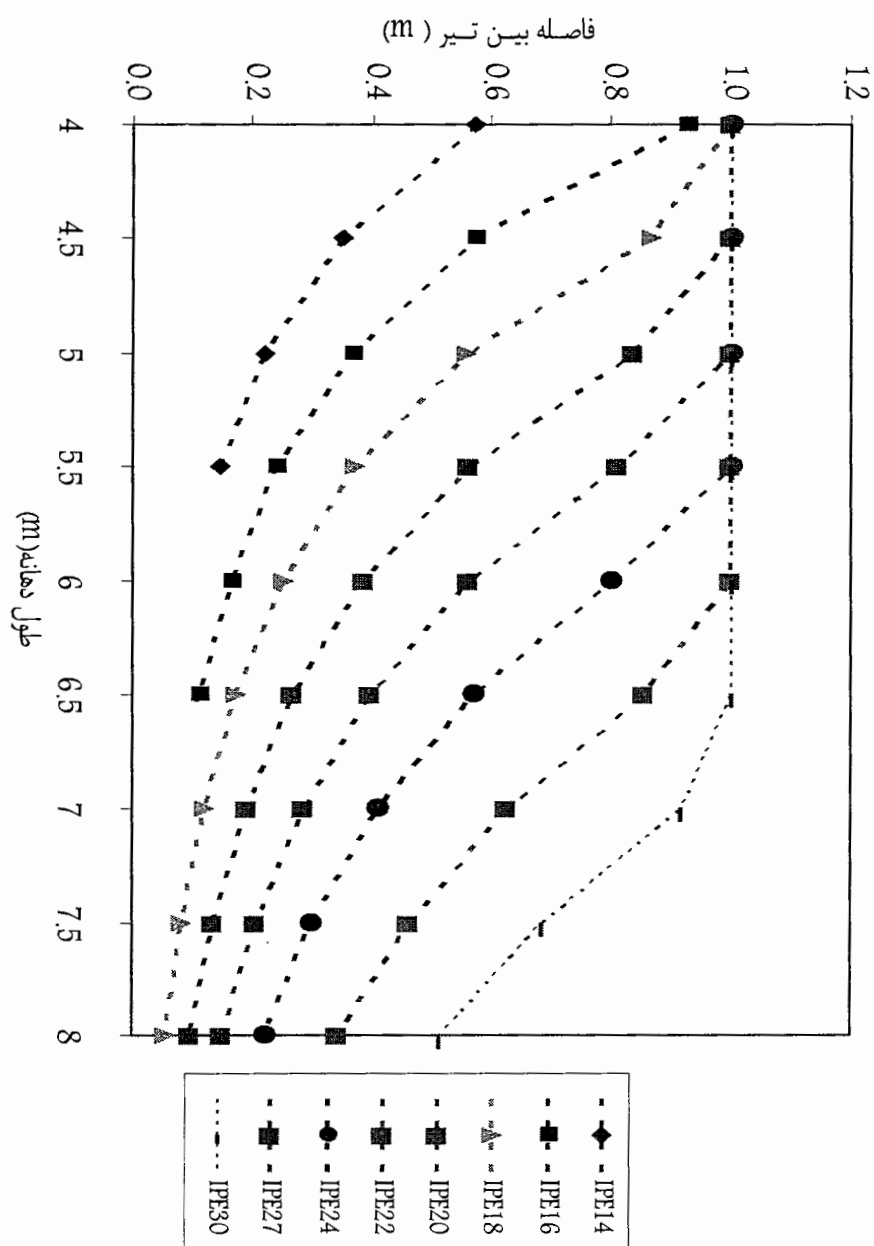
جدول ۶-۱- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف طاق ضربی

منحنی وزن بهینه به دهانه سقف طاق ضربی برای دهانه های ۴ تا ۸ متر مطابق شکل زیر می باشد :



شکل ۶-۱- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف طاق ضربی

با استخراج فاصله بهینه بین تیرها از نتایج بهینه یابی سقف طاق ضربی ، منحنی فاصله بهینه بین تیرها به دهانه برای هر یک از تیرهای تک فولادی IPE از سایز ۱۴ تا ۳۰ مطابق شکل زیر می باشد :



شکل ۶-۲- منحنی فاصله بهینه تیرهای سقف طاق ضربی برای دهانه های مختلف

۶-۲- نتایج طراحی بهینه وزن سقف تیرچه بلوک

سقف تیرچه بلوک با بلوکهای بتنی ، سفالی و پلی استایرن برای دهانه های رایج از ۴ تا ۸ متر با استفاده از روش ارائه شده در فصل پنجم و با در نظر گرفتن فرضیات زیر طراحی بهینه شده است . دراین بررسی اطلاعات اولیه ، متغیرها و تابع هدف به صورت زیر می باشد :

اطلاعات اولیه : $F_y, E_s, f_c', w_c, \delta_a, L, SDL, LL$

متغیر: H, h_c

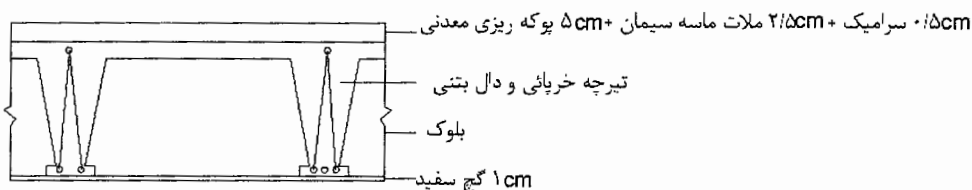
تابع هدف: $W = \frac{(b_w \times (H - h_c)) \times w_c}{b_0} + h_c \times w_c + SDL + W_{block} + G_s$

G_s : شامل وزن میلگرد ها تیرچه خرابایی (کششی ، برشی ، فشاری) ، میلگرد منفی ، میلگرد کلاف عرضی ، میلگرد شبکه جمع شدگی و حرارتی می باشد .

فرضیات :

الف- بار زنده سقف معادل $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .

ب- بار مرده بعد گیرش بتن مطابق دتایل زیر معادل $250 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سرامیک}$$

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{kg}{m^2} \quad \text{ملات ماسه سیمان}$$

$$0.05 \times 600 = 30 \frac{kg}{m^2} \quad \text{پوکه ریزی با پوکه معدنی}$$

$$0.01 \times 1300 + 0.15 \times 1600 = 37 \frac{kg}{m^2} \quad \text{گچ و خاک و گچ سفید}$$

$$120 \frac{kg}{m^2}$$

$$\sum = 250 \frac{kg}{m^2}$$

پ- بتن دارای $f'_c = 250 \frac{kg}{cm^2}$ می باشد .

ت- میلگردها از نوع AII با تنش جاری شدن $2000 \frac{kg}{cm^2}$ می باشد .

ث- فاصله بین تیرچه ها 50 cm و 70 cm در نظر گرفته شده است .

د- ارتفاع سقف بین 20 cm تا 50 cm تغییر می کند .

ذ- وزن بلوکهای بتنی و سفالی مطابق جداول زیر در نظر گرفته شده است :

وزن بلوک (kg)	ابعاد بلوک (ارتفاع × عرض × طول) (cm)	نوع بلوک
14	66*20*24	بلوک سفالی
9.7	40*24*24	بلوک سفالی
8.25	40*24*20	بلوک سفالی
11.13	40*20*15	بلوک بتنی
12.2	40*20*22	بلوک بتنی
12.55	40*20*25	بلوک بتنی

ر- وزن بلوک پلی استایرن معادل صفر است .

نتایج طراحی بهینه سقف تیرچه بلوک با بلوکهای بتنی ، سفالی و پلی استایرن برای دهانه

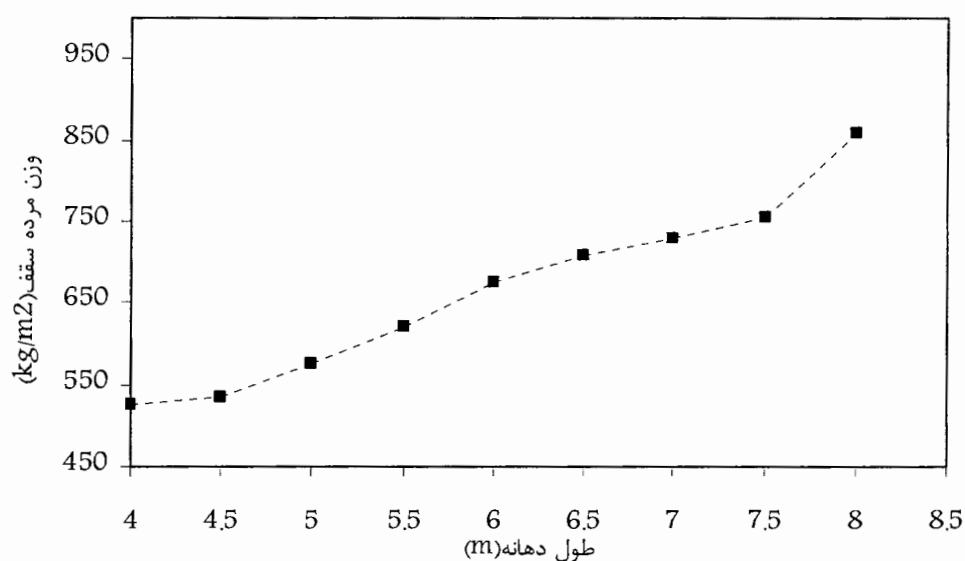
های ۴ تا ۸ متر مطابق جدول ۲-۶ ، جدول ۳-۶ ، جدول ۴-۶ می باشد .

الف - سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی :

وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیرچه (cm)	فرکانس مود اول تیرچه (hz)	عرض جان تیرچه (cm)	ارتفاع دال بتنی (cm)	ارتفاع سقف (cm)	تعداد تیرچه	فاصله بین تیرچه ها (cm)	طول دهانه (m)
524	1.24	5.66	10	5.83	20	1	70	4
534	1.58	5	10	5.83	21	1	70	4.5
574	1.57	5	10	5.83	25	1	70	5
618	1.57	5.01	10	5.83	30	1	70	5.5
674	1.56	5	10.3	5.83	36	1	70	6
710	1.55	5.02	10.6	5	37	1	50	6.5
739	1.59	4.97	11.1	5	39	1	50	7
778	1.58	5.01	12.7	5.83	44	1	70	7.5
859	1.57	4.99	13.5	5	47	1	50	8

جدول ۲-۶- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی

منحنی وزن بهینه به دهانه تیرچه بلوک با بلوک بتنی برای دهانه های ۴ تا ۸ متر مطابق شکل زیر می باشد :

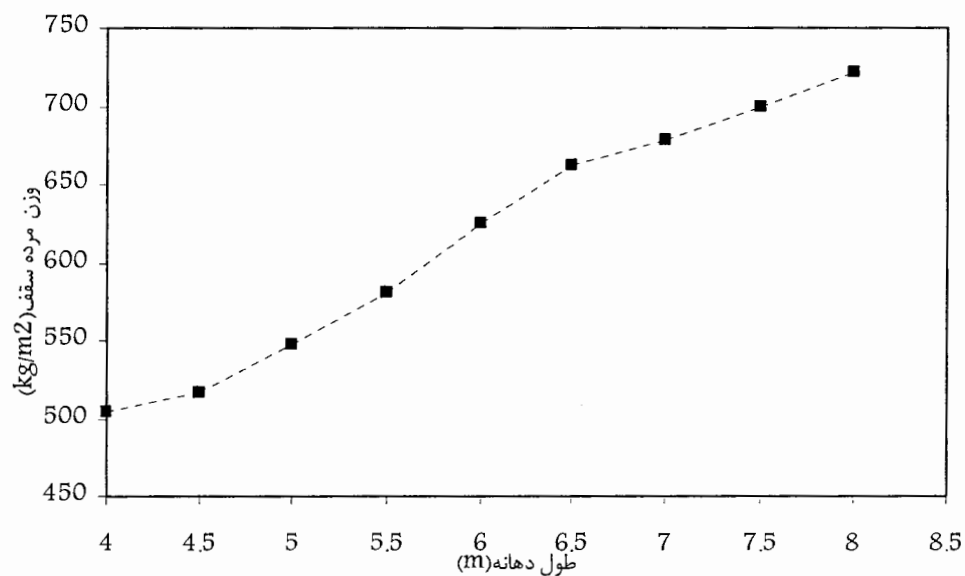


شکل ۳-۶- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی

ب- سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی :

وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیرچه (cm)	فرکانس مود اول تیرچه (hz)	عرض جان تیرچه (cm)	ارتفاع دال بتنی (cm)	ارتفاع سقف (cm)	تعداد تیرچه	فاصله بین تیرچه ها (cm)	طول دهانه (m)
503	1.30	5.51	10	5.83	20	1	70	4
516	1.57	5	10	5.83	21	1	70	4.5
546	1.57	5.01	10	5.83	25	1	70	5
579	1.57	5.01	10	5.83	30	1	70	5.5
624	1.57	5	10.1	5.83	35	1	70	6
665	1.57	5	10.5	5	37	1	50	6.5
686	1.57	5.03	11.0	5	38	1	50	7
724	1.58	5.01	12.7	5.83	44	1	70	7.5
756	1.65	4.90	13.5	5.83	47	1	70	8

جدول ۶-۳- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی

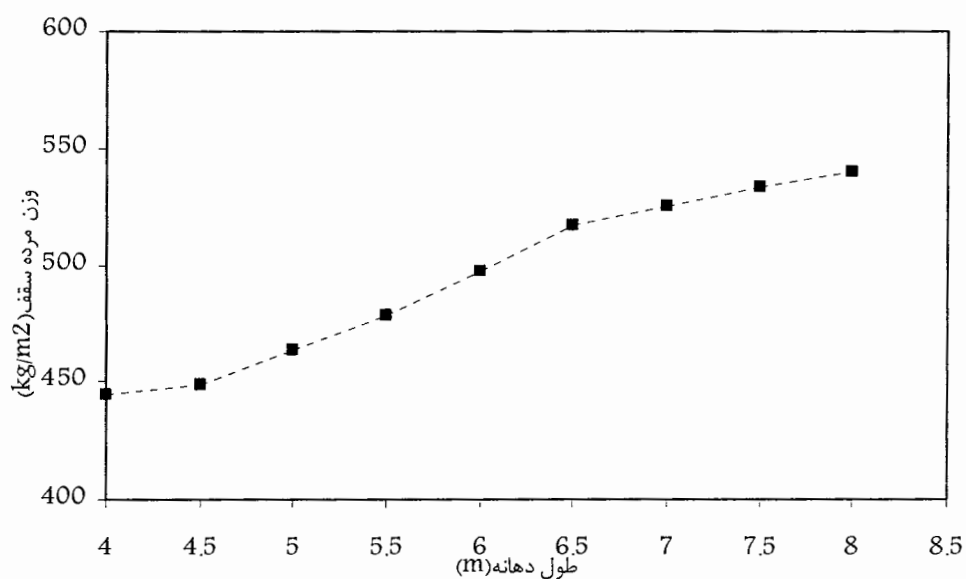


شکل ۶-۴- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی

پ- سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن :

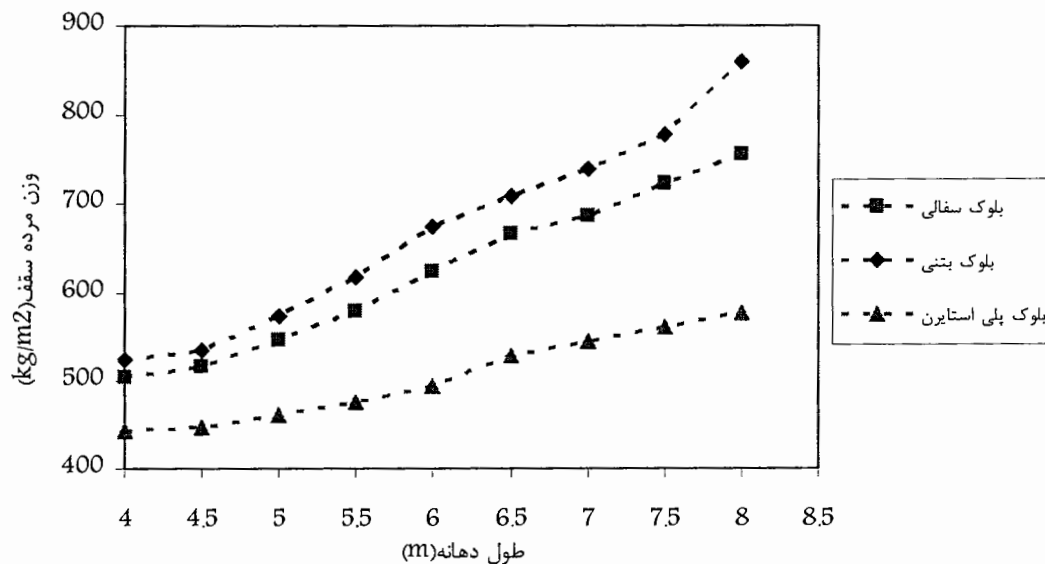
وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیرچه (cm)	فرکانس مود اول تیرچه (hz)	عرض جان تیرچه (cm)	ارتفاع دال بتنی (mc)	ارتفاع سقف (cm)	تعداد تیرچه	فاصله بین تیرچه ها (cm)	طول دهانه (m)
443	1.21	5.76	10	5.83	20	1	70	4
447	1.58	5.01	10	5.83	21	1	70	4.5
461	1.58	5.01	10	5.83	25	1	70	5
476	1.59	5.01	10	5.83	29	1	70	5.5
494	1.58	5.01	10	5.83	34	1	70	6
529	1.61	4.96	11.4	5.83	40	1	70	6.5
545	1.62	4.95	12	5.83	42	1	70	7
562	1.62	4.98	12.6	5.83	44	1	70	7.5
576	1.66	4.94	13	5.83	46	1	70	8

جدول ۴-۶- نتایج طراحی بهینه وزنی سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن



شکل ۴-۵- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن

منحنی وزن بهینه به دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوکهای مختلف با استفاده از نتایج بدست آمده از هر سه بلوک مطابق شکل زیر می شود :



شکل ۶-۶- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه بلوک با بلوک های مختلف

۶-۳- نتایج طراحی بهینه وزن سقف کامپوزیت

سقف کامپوزیت در دو حالت بدون استفاده از شمع بندی و با استفاده از شمع بندی برای دهانه های رایج از ۴ تا ۸ متر با استفاده از روش ارائه شده در فصل پنجم و با در نظر گرفتن فرضیات زیر طراحی بهینه شده است. در این بررسی اطلاعات اولیه، متغیرها و تابع هدف به صورت زیر می باشد:

$$F_y, E_s, f'_c, w_c, \epsilon_{sh}, L, SDL, LL$$

اطلاعات اولیه:

$$b_0, h_c$$

متغیر:

$$W = \frac{G + G_{s1}}{b_0} + w_c \times h_c + SDL + G_s$$

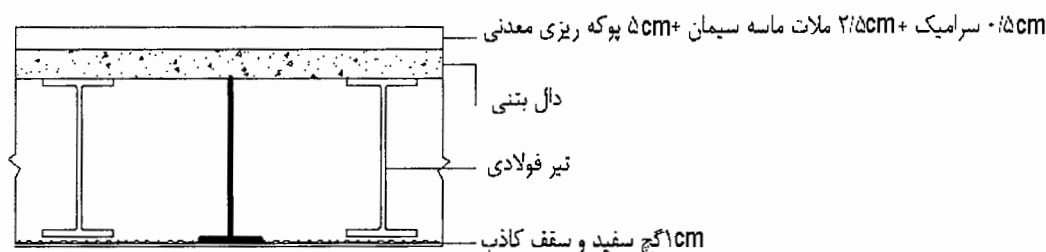
تابع هدف:

G_{s1} وزن برشگیر و G_s وزن شبکه جمع شدگی و حرارتی می باشد.

فرضیات:

الف- بار زنده وارد بر سقف معادل $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .

ب- بار مرده وارد بر سقف بعد گیرش بتن مطابق دتایل زیر معادل $270 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سرامیک}$$

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{kg}{m^2} \quad \text{مالات ماسه سیمان}$$

$$0.05 \times 600 = 30 \frac{kg}{m^2} \quad \text{پوکه ریزی با پوکه معدنی}$$

$$0.01 \times 1300 + 30 \approx 50 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سقف کاذب و گچ سفید}$$

$$120 \frac{kg}{m^2} \quad \text{تیغه بندی}$$

$$\Sigma = 265 \approx 270 \frac{kg}{m^2}$$

پ- در سقف کامپوزیت بدون شمع بندی برای اعمال بار ناشی از بتن ریزی با پمپ مقدار $80 \frac{kg}{m^2}$ به بارهای سقف اضافه می شود .

ت- تیرهای فولادی از نوع IPE از سایز ۱۴ تا ۳۰ بصورت تک یا دابل بدون ورق تقویت می باشد .

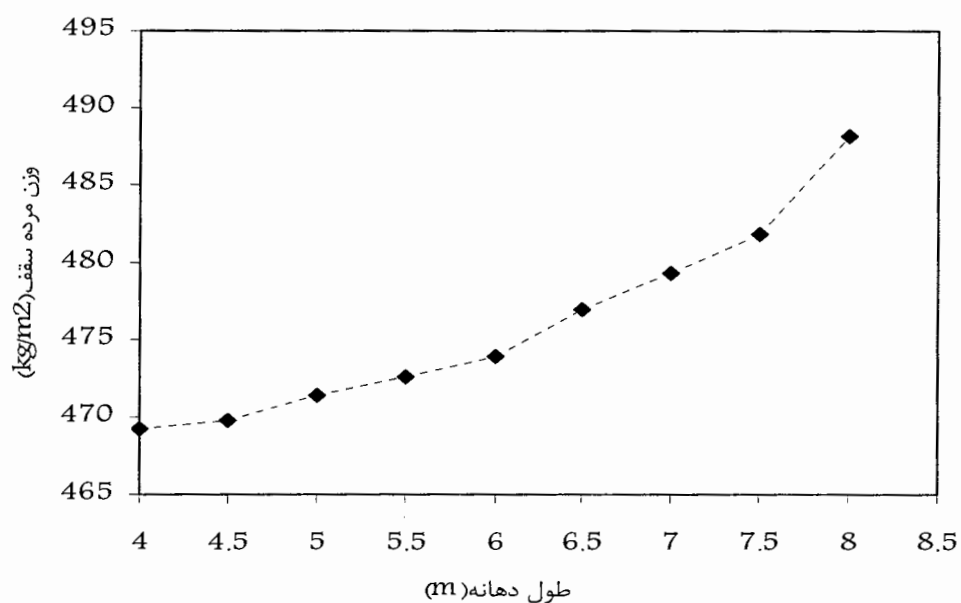
ث- فولاد نیمرخها از نوع ST ۳۷ با تنش جاری شدن $2400 \frac{kg}{cm^2}$ می باشد .

نتایج طراحی بهینه و منحنی وزن بهینه به دهانه آن برای دهانه های ۴ تا ۸ متر مطابق زیر می باشد .

الف - سقف کامپوزیت بدون استفاده از شمع بندی :

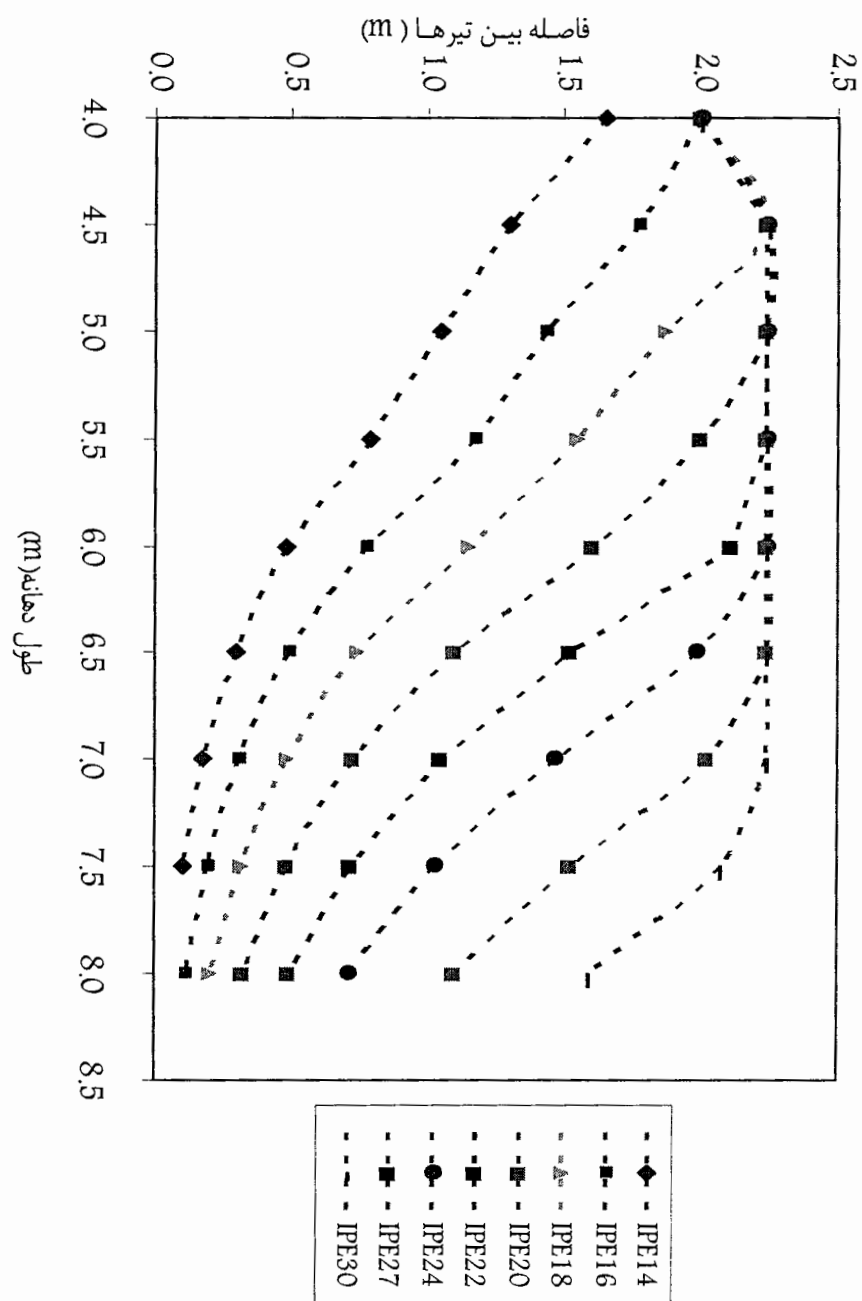
وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیر (cm)	فرکانس مود اول تیر (hz)	ضخامت دال بتنی (cm)	فاصله بین تیرها (m)	تعداد تیر	نوع تیر	طول دهانه (m)
469	2.62	6.77	8	1.65	1	IPE14	4
470	2.69	6.39	8	2.24	1	IPE18	4.5
471	2.82	6.04	8	2.24	1	IPE20	5
473	3.41	5.33	8	2.00	1	IPE20	5.5
474	3.72	5	8	2.11	1	IPE22	6
477	3.60	5	8	1.98	1	IPE24	6.5
479	3.50	5	8	2.02	1	IPE27	7
482	3.43	5	8	2.07	1	IPE30	7.5
488	3.32	5	8	1.59	1	IPE30	8

جدول ۶-۵- نتایج بهینه وزنی سقف کامپوزیت بدون شمع بندی



شکل ۶-۷- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف کامپوزیت بدون شمع بندی

با استخراج فاصله بهینه بین تیرها از نتایج بهینه یابی سقف کامپوزیت بدون استفاده از شمع بندی ، منحنی فاصله بهینه بین تیرها به دهانه برای هر یک از تیرهای تک فولادی IPE از سایز ۱۴ تا ۳۰ مطابق شکل زیر می باشد :

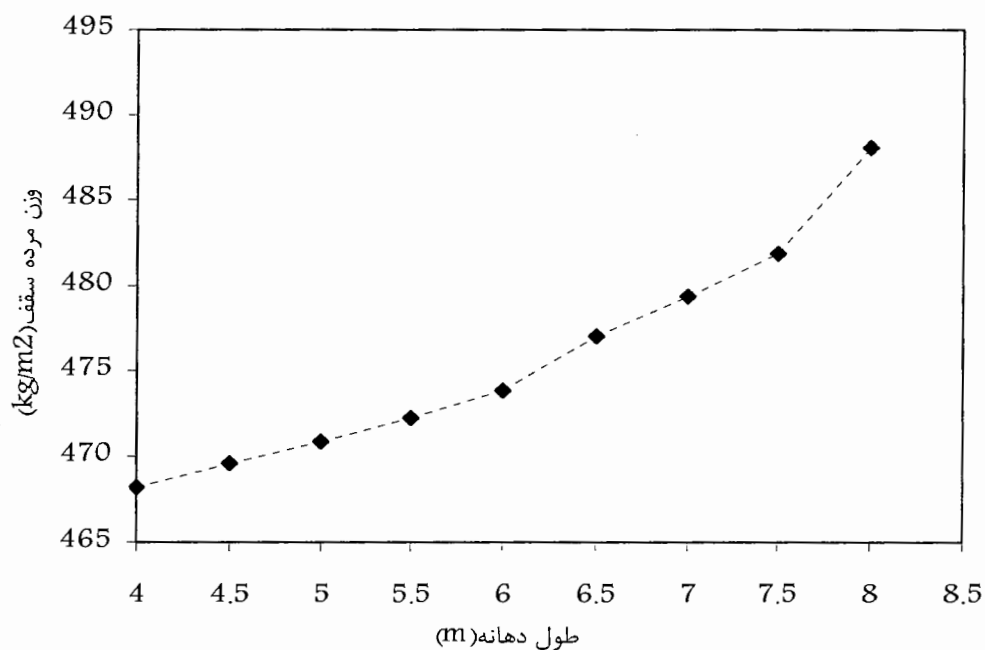


شکل ۶-۸- منحنی فاصله بهینه تیرهای سقف کامپوزیت بدون شمع بندی

ب- سقف کامپوزیت با استفاده از شمع بندی :

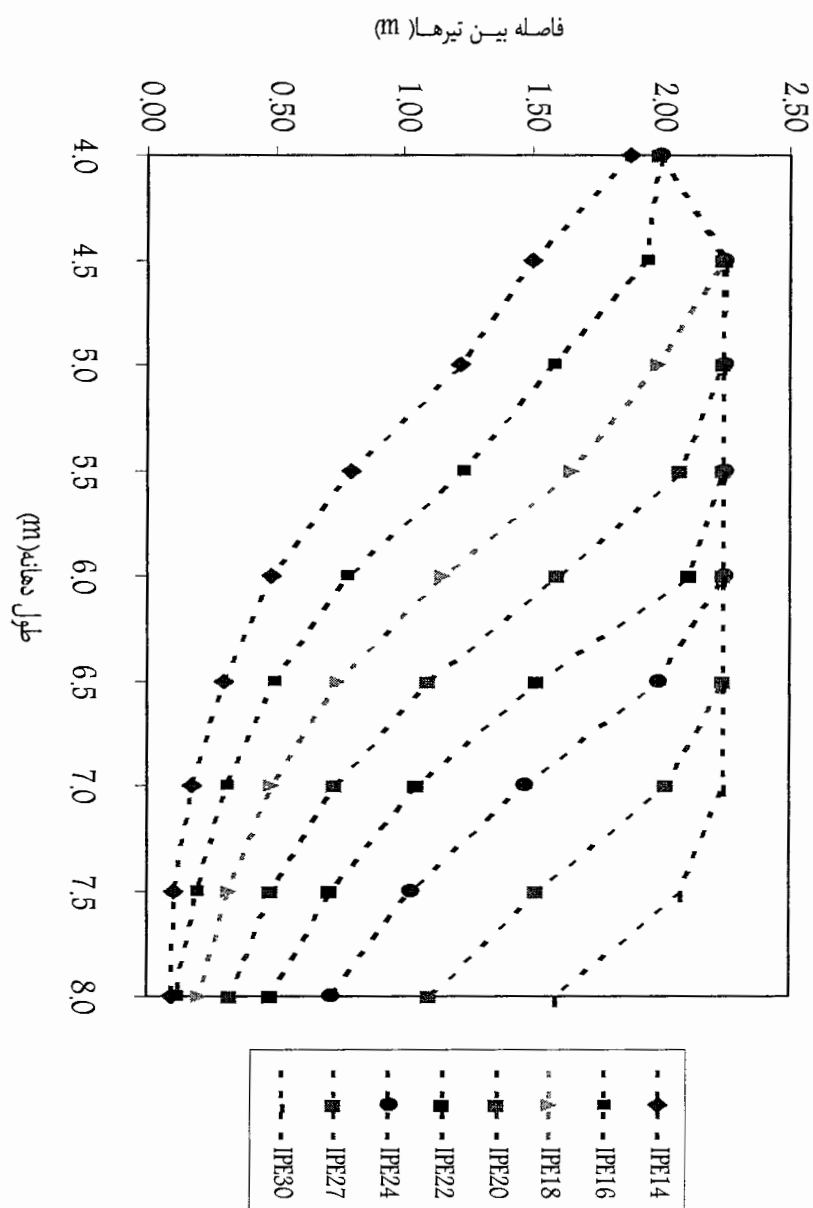
وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیر (cm)	فرکانس مود اول تیر (hz)	ضخامت دال بتی (cm)	فاصله بین تیرها (m)	تعداد تیر	نوع تیر	طول دهانه (m)
468	1.76	6.35	8	1.88	1	IPE14	4
470	1.93	5.9	8	1.94	1	IPE18	4.5
471	2.1	5.55	8	1.99	1	IPE20	5
472	2.28	5.24	8	2.08	1	IPE20	5.5
474	2.49	5	8	2.11	1	IPE22	6
477	2.49	5	8	1.98	1	IPE24	6.5
479	2.5	5	8	2.02	1	IPE27	7
482	2.52	5	8	2.07	1	IPE30	7.5
488	2.4	5	8	1.59	1	IPE30	8

جدول ۶-۶- نتایج بهینه وزنی سقف کامپوزیت با شمع بندی



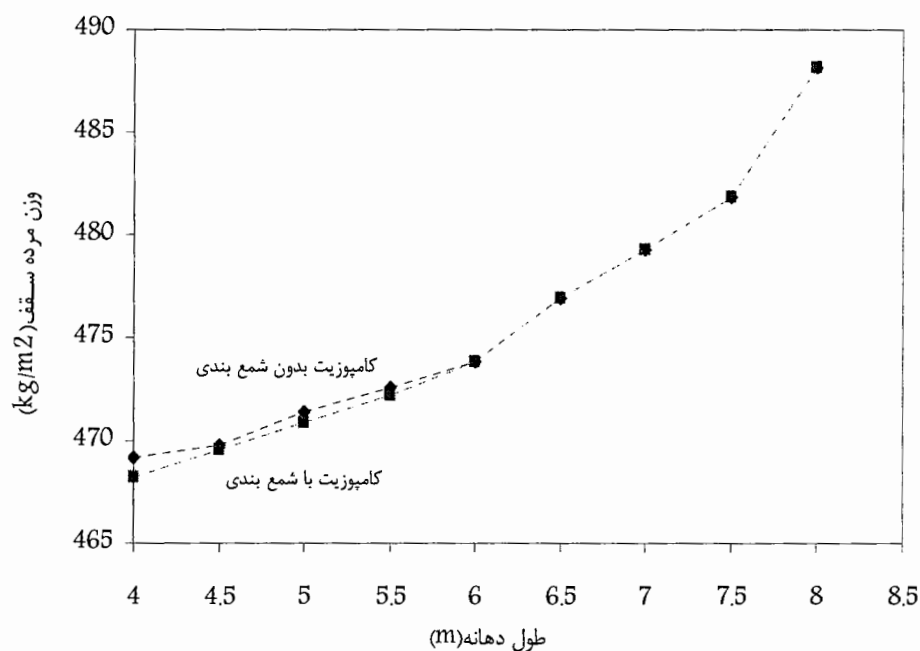
شکل ۶-۹- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف کامپوزیت با شمع بندی

با استخراج فاصله بهینه بین تیرها از نتایج بهینه یابی سقف کامپوزیت بدون استفاده از شمع بندی ، منحنی فاصله بهینه بین تیرها به دهانه برای هر یک از تیرهای تک فولادی IPE از ساینز ۱۴ تا ۳۰ مطابق شکل زیر می باشد :



شکل ۶-۱۰- منحنی فاصله بهینه تیرهای سقف کامپوزیت با شمع بندی

منحنی وزن بهینه به دهانه سقف کامپوزیت با استفاده از نتایج بدست آمده از هر دو حالت بدون استفاده از شمع بندی و با استفاده از شمع بندی مطابق شکل زیر می شود :



شکل ۶-۱۱- منحنی وزن بهینه سقف کامپوزیت

۶-۴- نتایج طراحی بهینه وزن سقف تیرچه فولادی با جان باز

این سقف با بلوکهای بتنی ، سفالی و پلی استایرن برای دهانه های رایج از ۴ تا ۸ متر با استفاده از روش ارائه شده در فصل پنجم و با در نظر گرفتن فرضیات زیر طراحی بهینه شده است . دراین بررسی اطلاعات اولیه ، متغیرها و تابع هدف به صورت زیر می باشد :

اطلاعات اولیه : $F_y, E_s, f_c', w_c, \delta_a, L, SDL, LL$

متغیر: $H, h_c, b_{pb}, t_{pb}, b_{pt}, t_{pt}$

تابع هدف :

$$W = \frac{(b_{pb} \times (H - h_c)) \times w_c + 0.785 \times ((b_{pb} \times t_{pb}) + (b_{pt} \times t_{pt}) + G_{s1})}{b_0} + h_c \times w_c + SDL + G_s$$

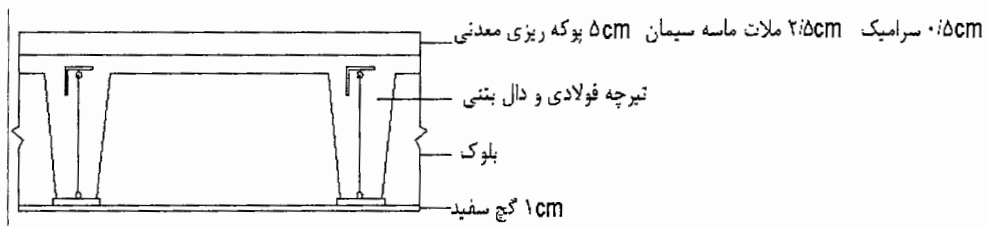
G_s : شامل وزن میلگرد کلاف میانی ، شبکه جمع شدگی و حرارتی و G_{s1} شامل میلگرد

برشی و ورق نری می باشد .

فرضیات :

الف- بار زنده وارد بر سقف معادل $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .

ب- بار مرده وارد بر سقف بعد گیرش بتن مطابق دتایل زیر معادل $250 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .



$$0.005 \times 2100 = 10.8 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سرامیک}$$

$$0.025 \times 2100 = 52.6 \frac{kg}{m^2} \quad \text{ملات ماسه سیمان}$$

$$0.05 \times 600 = 30 \frac{kg}{m^2} \quad \text{پوکه ریزی با پوکه معدنی}$$

$$0.01 \times 1300 + 0.025 \times 1600 = 37 \frac{kg}{m^2} \quad \text{سقف کاذب و گچ سفید}$$

$$120 \frac{kg}{m^2} \quad \text{تیغه بندی}$$

$$\sum = 250 \frac{kg}{m^2}$$

پ- برای اعمال بار ناشی از بتن ریزی با پمپ مقدار $80 \frac{kg}{m^2}$ به بارهای سقف اضافه می شود .

ت- میلگرد تقویتی در یال فوقانی و تختانی در نظر گرفته نشده است .

ث - - فاصله بین تیرچه ها ۵۰ cm و ۷۰ cm در نظر گرفته می شود .

د- فاصله بین تیرچه ها در سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت ۱۰۰cm در نظر گرفته می شود .

ذ- ارتفاع سقف بین ۲۰ cm تا ۵۰ cm تغییر می کند .

ر- وزن بلوکهای بتنی و سفالی مطابق جداول زیر در نظر گرفته شده است :

نوع بلوک	ابعاد بلوک (ارتفاع×عرض×طول) (cm)	وزن بلوک (kg)
بلوک سفالی	66*20*24	14
بلوک سفالی	40*24*24	9.7
بلوک سفالی	40*24*20	8.25
بلوک بتنی	40*20*15	11.13
بلوک بتنی	40*20*22	12.2
بلوک بتنی	40*20*25	12.55

ز- وزن بلوک پلی استایرن معادل صفر است .

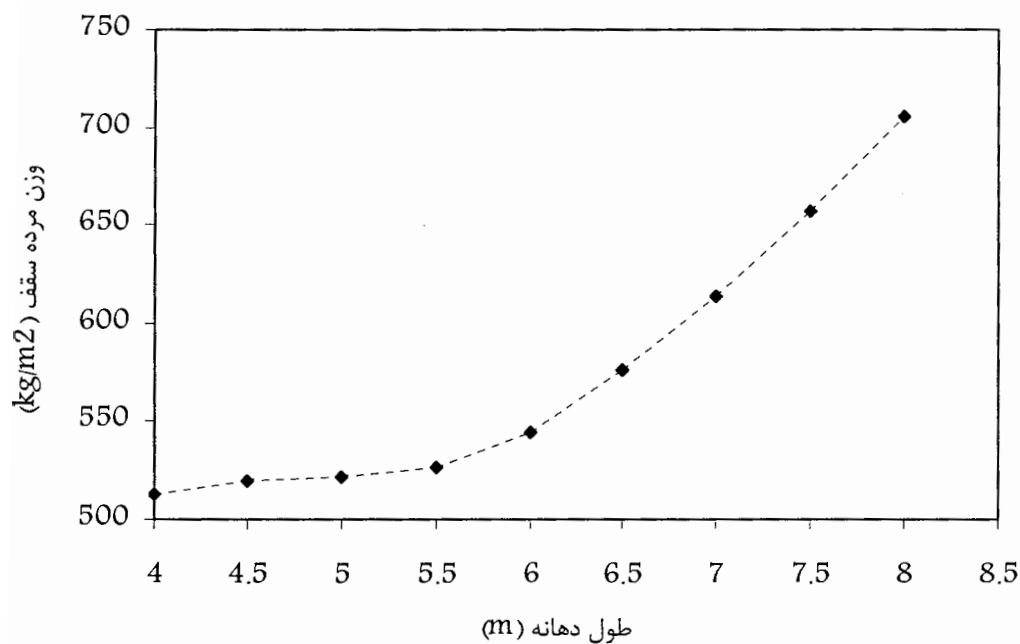
ژ- ضخامت یال تحتانی بین ۰ تا ۱/۲ cm وضخامت یال فوقانی بین ۰ تا ۵/۵ cm تغییر می کند .

و- طول یال تحتانی بین ۸ تا ۱۶ cm و طول یال فوقانی بین ۶ cm تا ۱۲ cm تغییر می کند .

الف - سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی :

وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیرچه (cm)	یال تحتانی (cm)	یال فوقانی (cm)	فرکانس مود اول تیرچه (hz)	ارتفاع دال بتنی (cm)	ارتفاع سقف (cm)	تعداد تیرچه	فاصله بین تیرچه ها (cm)	دهانه تیر (m)
513	1.91	8*0.53	6*0.46	6.70	5.58	20	1	0.75	4
519	2.44	10*0.55	7.12*0.5	5.87	5.42	20	1	0.75	4.5
522	3.07	10*0.7	8.96*0.5	5.22	5.42	20	1	0.75	5
526	3.58	10*1.03	11.27*0.5	5	5.42	20	1	0.75	5.5
545	3.99	10*1.1	11.24*0.4	5	5	20	1	0.5	6
576	3.97	10*1.2	11.98*0.4	5	5	23	1	0.5	6.5
614	3.84	10*1.2	9.85*0.5	5	5	27	1	0.5	7
657	3.74	10*1.2	10.3*0.5	5	5	31	1	0.5	7.5
705	3.64	10.11*1.2	10.87*0.5	5	5	35	1	0.5	8

جدول ۶-۷- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی

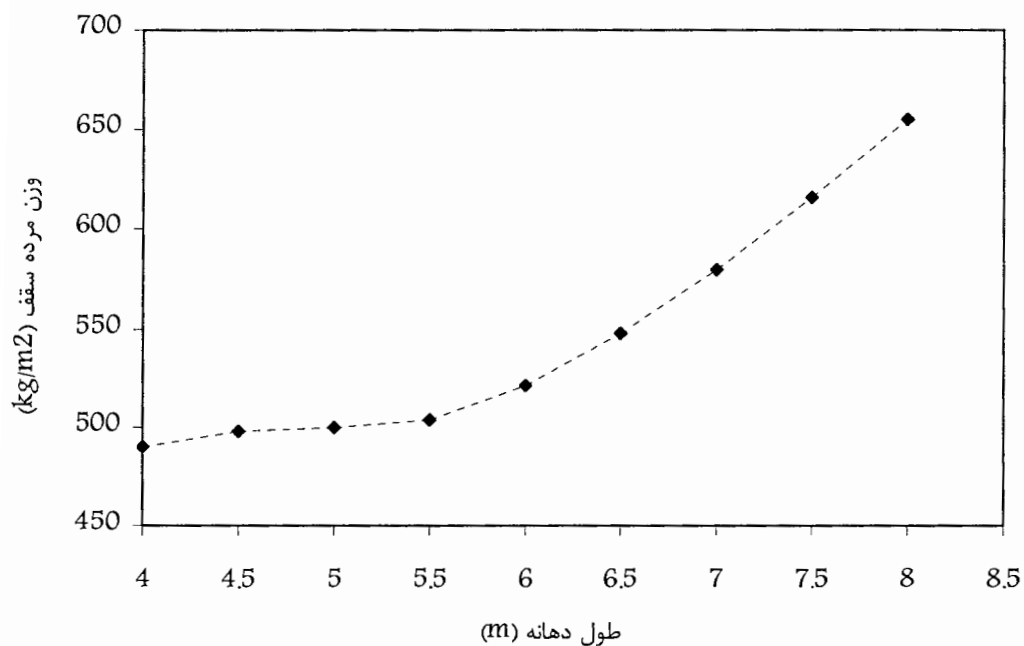


شکل ۶-۱۲- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی

ب- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی :

وزن مرده سقف (kg/m ²)	خیز تیرچه (cm)	پال تحتانی (cm)	پال فوقانی (cm)	فرکانس مود اول تیرچه (hz)	ارتفاع دال بتنی (cm)	ارتفاع سقف (cm)	تعداد تیرچه	فاصله بین تیرچه ها (cm)	دهانه تیر (m)
490	1.93	8*0.5	7.16*0.35	6.68	5.58	20	1	0.75	4
497	2.46	10*0.52	6.66*0.5	5.85	5.42	20	1	0.75	4.5
500	3.08	10*0.66	8.33*0.5	5.20	5.42	20	1	0.75	5
504	3.59	10*0.99	10.43*0.5	5	5.42	20	1	0.75	5.5
521	3.80	10.94*1.2	12*0.5	5	5.34	21	1	0.75	6
548	4.03	10*1.2	8.96*0.5	5	5	22	1	0.5	6.5
580	3.92	10*1.2	9.26*0.5	5	5	26	1	0.5	7
616	3.83	10*1.2	10.74*0.45	5	5	30	1	0.5	7.5
655	3.73	10*1.2	10.23*0.49	5	5	35	1	0.5	8

جدول ۶-۸- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی

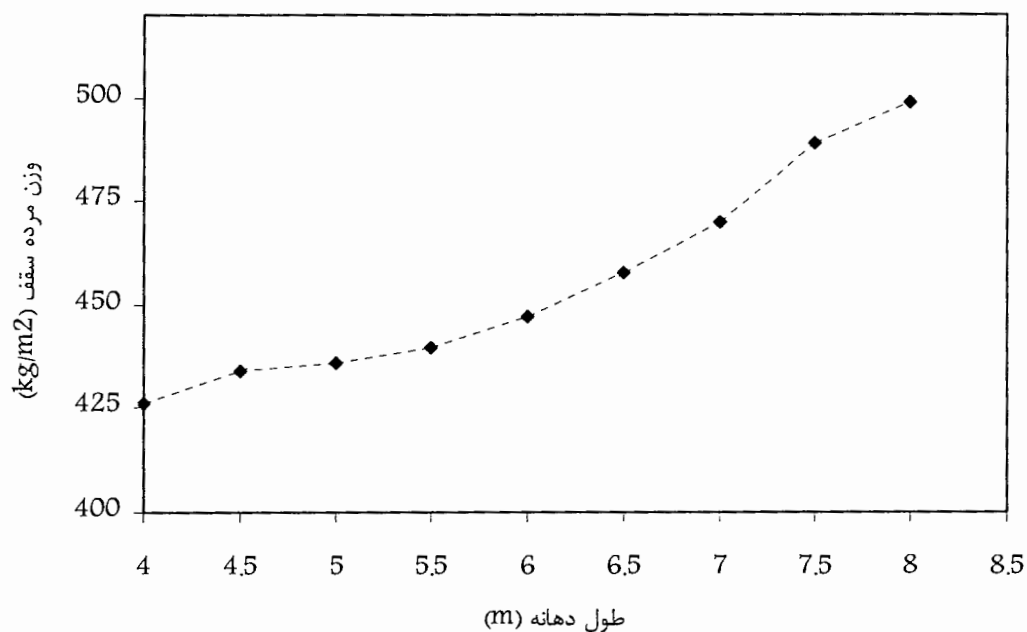


شکل ۶-۱۳- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی

پ- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن :

وزن مرده سقف (kg/m²)	خیز تیرچه (cm)	بال تحتانی (cm)	بال فوقانی (cm)	فرکانس مود اول تیرچه (hz)	ارتفاع دال بتنی (cm)	ارتفاع سقف (cm)	تعداد تیرچه	فاصله بین تیرچه ها (m)	دهانه تیر (m)
426	2.20	8*0.35	6*0.3	6.08	5.58	20	1	0.75	4
434	2.50	10*0.45	6*0.44	5.77	5.42	20	1	0.75	4.5
436	3.14	10*0.57	6.63*0.5	5.13	5.42	20	1	0.75	5
440	3.61	10*0.87	8.17*0.5	5	5.42	20	1	0.75	5.5
447	3.89	10*1.2	9.37*0.5	5	5.42	21	1	0.75	6
458	3.83	10*1.2	9.31*0.5	5	5.42	24	1	0.75	6.5
470	3.78	10*1.2	9.35*0.5	5	5.42	28	1	0.75	7
489	3.50	10*0.96	8.71*0.5	5	5.42	35	1	0.75	7.5
499	3.72	10.34*1.2	9.82*0.5	5	5.39	36	1	0.75	8

جدول ۶-۹- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن

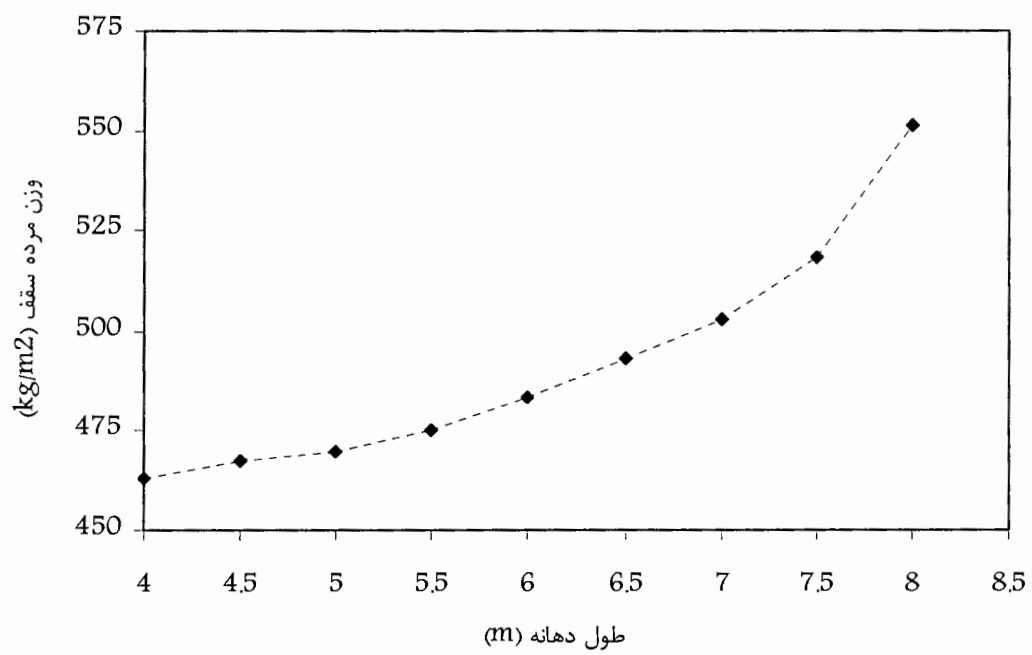


شکل ۶-۱۴- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن

ت- سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت :

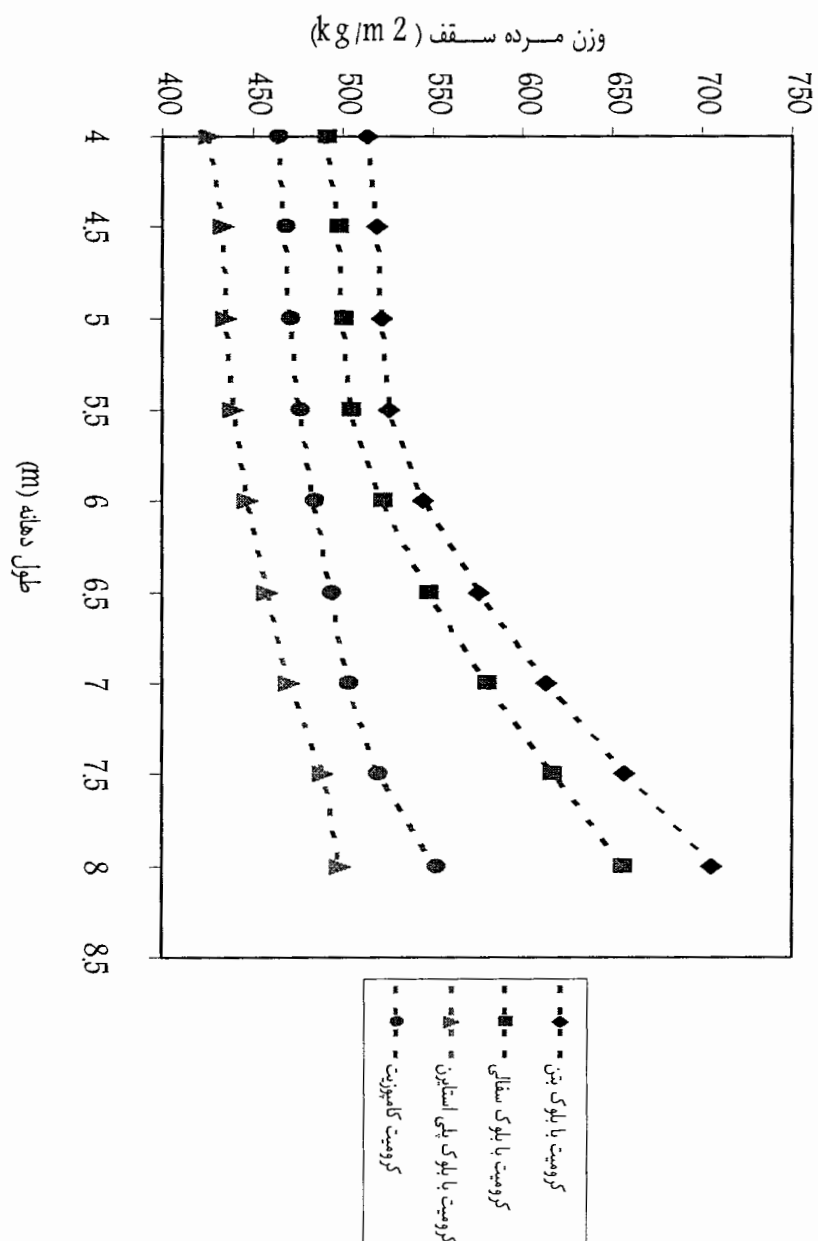
وزن مرده سقف (kg/m²)	خیز تیرچه (cm)	یال تحتانی (cm)	یال فوقانی (cm)	فرکانس مود اول تیرچه (hz)	ارتفاع دال بتنی (cm)	ارتفاع سقف (cm)	تعداد تیرچه	فاصله بین تیرچه ها (m)	دهانه تیر (m)
463	1.97	8*0.58	11.7*0.3	6.90	7.67	20	1	1	4
467	2.55	10*0.63	8.17*0.5	5.93	7.50	20	1	1	4.5
470	3.18	10*0.83	10.44*0.5	5.24	7.50	20	1	1	5
475	3.49	10*1.05	12*0.5	5	7.50	21	1	1	5.5
484	3.47	10*1.13	12*0.5	5	7.50	25	1	1	6
493	3.44	10*1.17	12*0.5	5	7.50	28	1	1	6.5
503	3.40	10*1.18	12*0.5	5	7.50	32	1	1	7
519	3.33	10.68*1.08	12*0.5	5	7.44	37	1	1	7.5
551	3.17	12.79*0.81	12*0.5	5.01	7.27	45	1	1	8

جدول ۶-۱۰- نتایج بهینه وزنی سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت



شکل ۶-۱۵- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت

منحنی وزن بهینه به دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوکهای مختلف با استفاده از نتایج بدست آمده از هر سه بلوک مطابق شکل زیر می شود :



شکل ۶-۱۶- منحنی وزن بهینه - دهانه سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک های مختلف

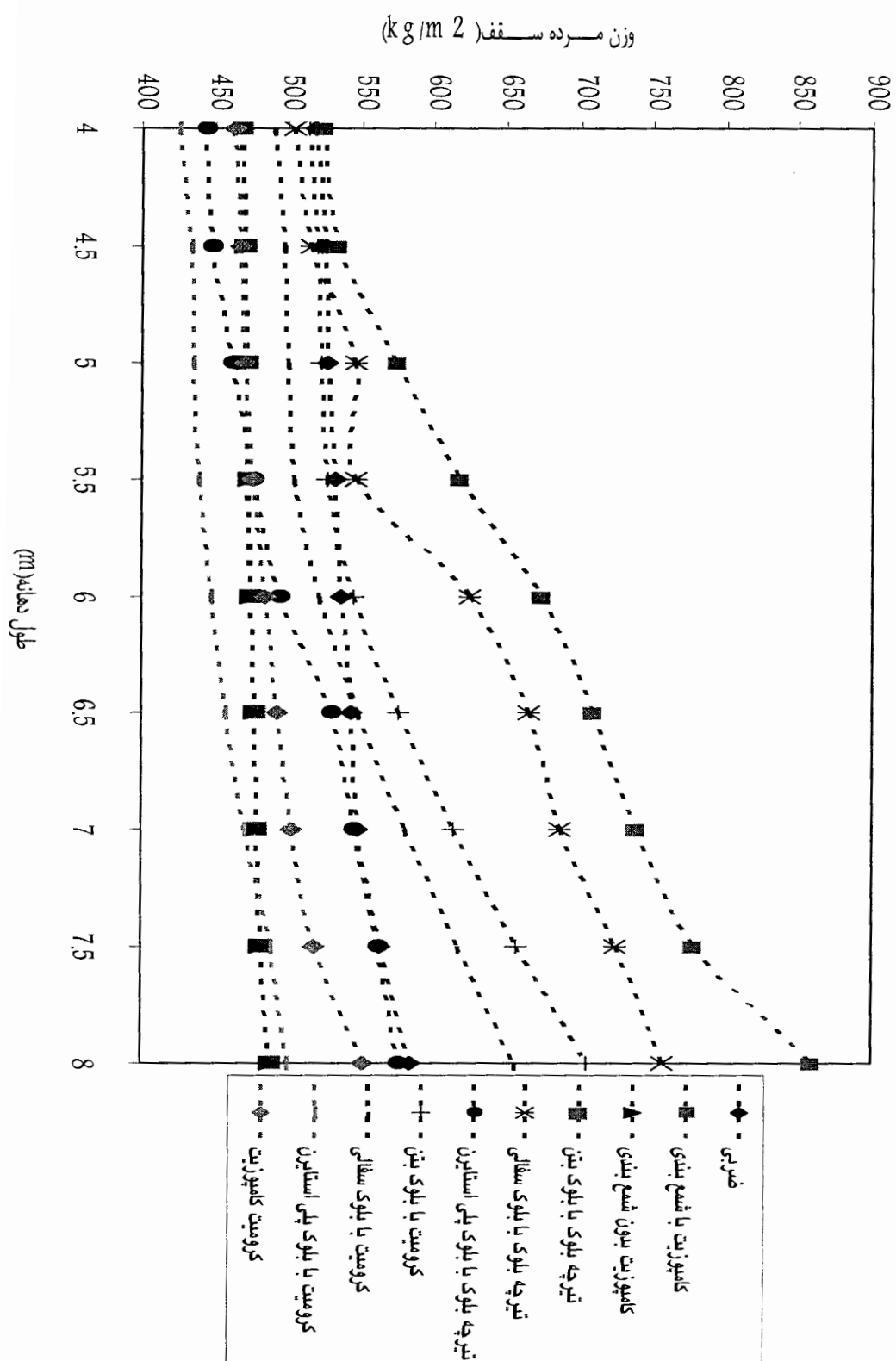
۵-۶- مقایسه نتایج طراحی بهینه وزنی سقفها

با استفاده از نتایج بهینه یابی سقفها ، سقفهای بهینه طاق ضربی ، تیرچه بلوک ، کامپوزیت و تیرچه فولادی با جان باز را از نظر وزن ، خیز و فرکانس با یکدیگر مقایسه می کنیم .

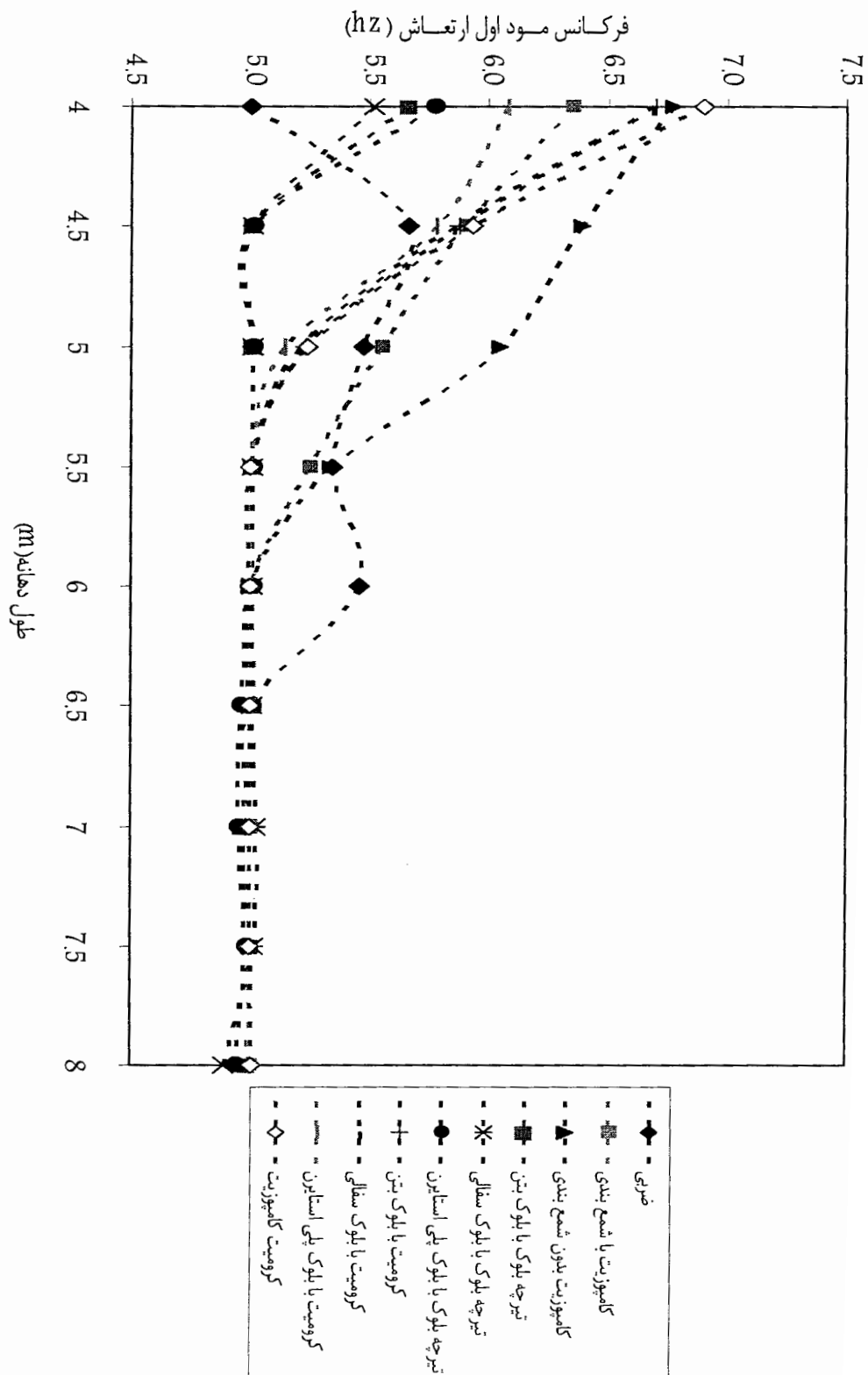
شکل ۶-۱۷ منحنی وزن بهینه به دهانه سقفهای بهینه را با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده نشان می دهد .

شکل ۶-۱۸ منحنی فرکانس تیر به دهانه سقفهای بهینه را با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده نشان می دهد :

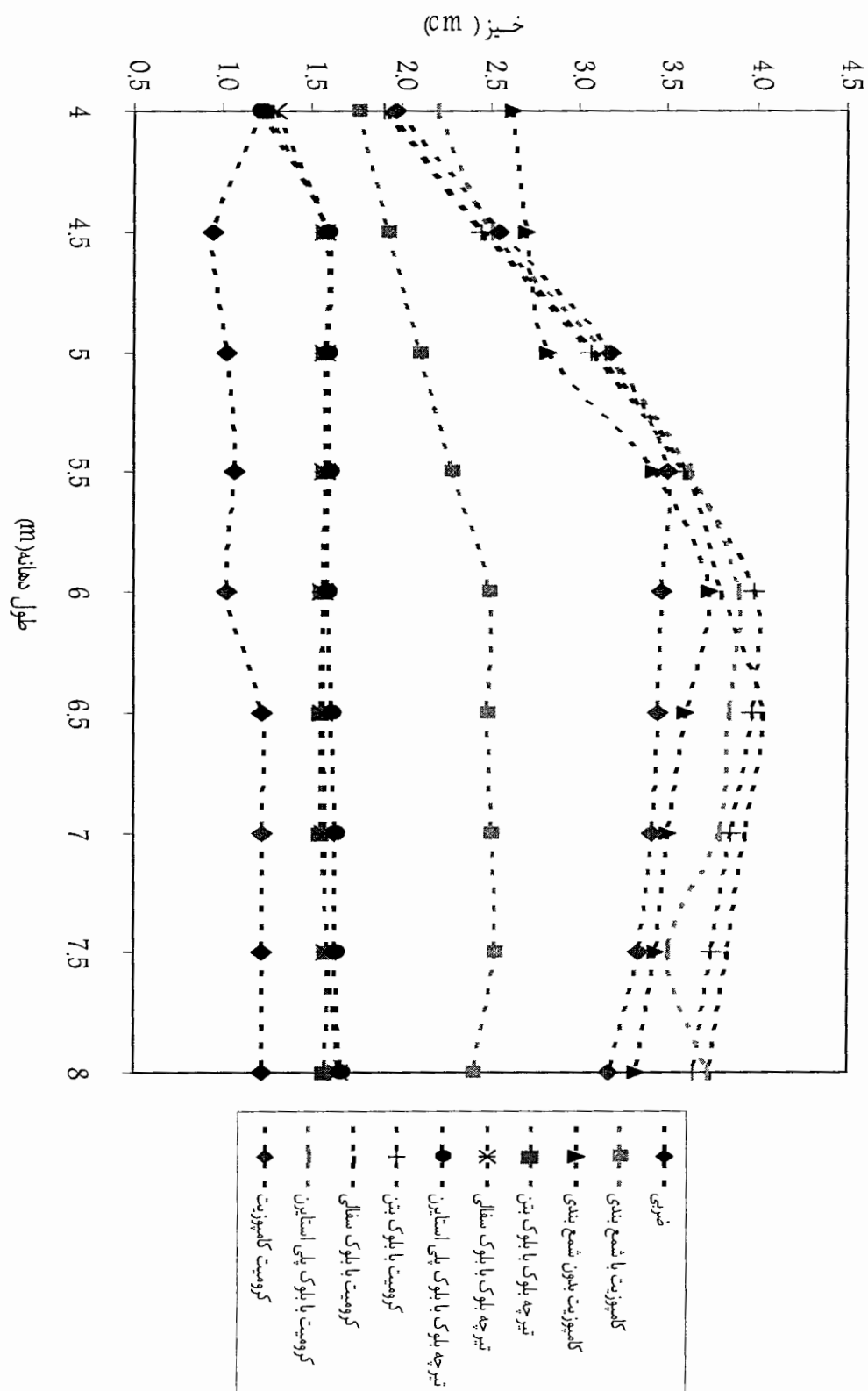
شکل ۶-۱۹ منحنی خیز تیر به دهانه سقفهای بهینه با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده نشان می دهد :



شکل ۶-۱۷ منحنی وزن بهینه به دهانه سقفهای بهینه



شکل ۶-۱۸ منحنی فرکانس سقف به دهانه سقفهای بهینه



شکل ۶-۱۹ منحنی خیز سقف به دهانه سقفهای بهینه

فصل هفتم

مقایسه قاب مدل با سقفهای بهینه

مقدمه

طراحی ساختمان باید به گونه ای باشد که اعضای آن تحت تاثیر بارهای قائم و جانبی از خود مقاومت کافی نشان دهند. بارهای ناشی از مصالح به کار رفته در سقف، بارتیغه بندی و ... به صورت قائم و بارهای ناشی از باد و زلزله به صورت افقی به سقف اعمال می شود سپس سقف این بارها را بین دیگر اعضای ساختمان از قبیل تیرها، ستونها، دیوارها، بادبندها یا دیگر اعضای مقاوم جانبی توزیع می کند و در نهایت این بارها به پی و از آن به زمین منتقل می شود. بنابراین سقف باید به تنهائی توانائی تحمل بارهای قائم و افقی وارده را داشته باشد و در ضمن بتواند آنها را به نسبت سهم هر یک از اعضای قائم مقاوم در برابر بار جانبی بین آنها توزیع کند. هر چه وزن سقف کاهش پیدا کند بارها و نیروهای وارد به اعضای ساختمان کاهش می یابد و در نتیجه اسکلت ساختمان از قبیل تیرها و ستونها دارای مقطع ضعیفتر و وزن کمتری می شوند. با کاهش وزن سقف و اسکلت نیروی افقی طبقات ناشی از نیروی جانبی کاهش می یابد و در نتیجه نیروی کمتری بین اعضای مقاوم جانبی توزیع می شود و در نهایت به عملکرد بهتری در ساختمان دست می یابیم. در فصلهای گذشته با بهینه یابی سقفها طرحی ارائه کردیم که دارای تمامی کنترل‌های آیین نامه ای و حداقل وزن ممکن می باشد. در این فصل به بررسی اسکلت ساختمان که در آن برای پوشش سقف از سقفهای بهینه استفاده شده است می پردازیم.

۷-۲- صلبیت سقفها

در طراحی ساختمان بعد از مشخص شدن طرح معماری محل ستونها، تیرهای اصلی و سیستم مهاربند جانبی در اسکلت تعیین می شود. سپس با توجه به جهت بارگذاری، سقف طراحی می شود و نتایج طراحی آن به اسکلت منتقل می شود. نتایجی از طراحی سقف که به اسکلت منتقل می شود وزن واحد سطح سقف و چگونگی عملکرد آن در برابر نیروهای جانبی، که صلبیت نام دارد، می باشد. تعیین صلبیت در مورد سیستمهای مختلف سقف که عمدتاً به منظور تحمل بارهای

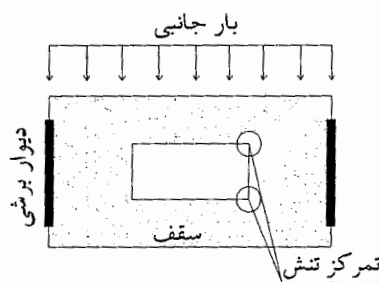
گرانشی ابداع شده اند ، کار آسانی نیست . تعیین دقیق برشهای داخل صفحه ، لنگرهای خمشی که بر دیافراگم سقف عمل می کند و توزیع نیروی افقی نظیر بین اجزای قائم مقاوم جانبی نیاز به یک تحلیل سه بعدی دارد که در برگیرنده صلبیت نسبی اجزای مختلف می باشد . همچنین بدلیل عدم اطلاع دقیق از خصوصیات مصالح به کار رفته در سقفها از قبیل بتن ، بلوک ، میلگرد ، ... و همچنین نحوه اندرکنش آنها با یکدیگر در برابر نیروهای جانبی ، امکان مدلسازی و تحلیل رفتار دقیق سیستمهای مختلف سقف وجود ندارد ، لذا عموماً فرضهای ساده کننده ای در مورد صلبیت سقف به عمل می آید . بدیهی است که دقت نتایج حاصل به صحت فرضهای انجام شده بستگی دارد [۲۱] .

برای تعیین صلبیت سقف استفاده از فرضیات ساده کننده در دیافراگمهایی که در برابر بار جانبی دارای حساسیت بیشتری هستند نیاز به دقت بیشتری دارد . بعضی از دیافراگمهای حساس عبارتند از [۱۶] :

- ساختمانهای دارای حفره های وسیع در سقفها
- ساختمانهای بلندی که بر روی یک سازه وسیع کم ارتفاع بنا می شوند .

۱-۲-۷- تاثیر حفره های بزرگ بر صلبیت سقف

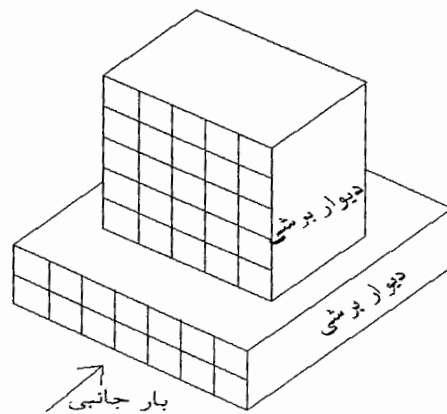
حفره های بزرگ در سقفها مطابق شکل ۱-۷ باعث کاهش سختی جانبی آنها و تمرکز تنشها بالا در گوشه های حفره می شود که با صلب فرض نمودن چنین سقفی از اینگونه تمرکز تنشها صرفنظر می شود . یک راه حل مناسب برای افزایش سختی سقف و کاهش تمرکز تنشها در گوشه های حفره این است که دیوارهای برشی در اطراف حفره مستقر گردد ، البته نباید کاهش مقاومت پیچشی را که ناشی از نزدیک شدن دیوارها به یکدیگر می باشد را فراموش کرد .



شکل ۱-۷- حفره های وسیع در سقفها و نقاط تمرکز تنش

۷-۲-۲- تاثیر ساختمانهای بلند بر روی سازه وسیع کم ارتفاع

در این گونه ساختمانها اغلب ، دیوارهای برشی در قسمت کم ارتفاع در دو انتهای سازه قرار می گیرند . بنابراین دیوارهای مذکور قسمت اعظم نیروهای برشی طبقات فوقانی را از طریق دیافراگم مشترک بین دو سازه بالا و پایین دریافت کرده و به زمین منتقل می کنند . در چنین شرایطی باید صلبیت یا عدم صلبیت سقفی که در مرز مشترک قسمت فوقانی و تحتانی می باشد مورد توجه بیشتری قرار بگیرد .

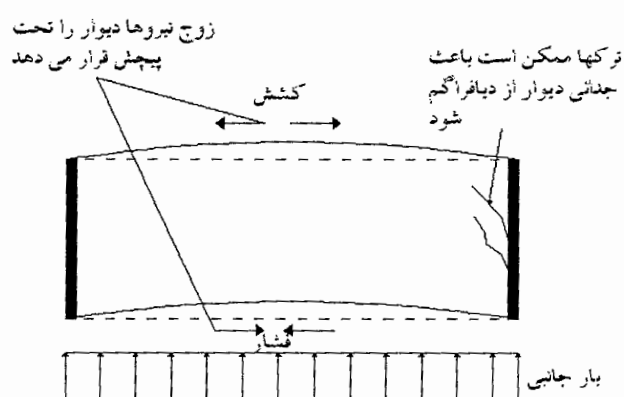


شکل ۷-۲- سقف مشترک بین دو سازه بالا و پائین از حساسیت خاصی برخوردار است .

۷-۲-۳- خطای فرض دیافراگم صلب [۱۶]

عمده خطاهایی که با صلب فرض کردن دیافراگمها در پاسخ سازه پیش می آید عبارتند از :

- ۱- هنگامی که دیافراگم انعطاف پذیر تحت اثر بار جانبی قرار می گیرد پیچش قابل ملاحظه ای در دیوارهای برشی واقع در انتهای سازه بوجود می آید که اگر این دیافراگمها در مدل صلب در نظر گرفته شوند ، چنین پیچشی در دیوارها حذف شده و در بعضی مواقع باعث خسارت جبران ناپذیری در سازه می شود .



شکل ۷-۳- پیچش دیوارهای انتهائی ناشی از نیروی جانبی

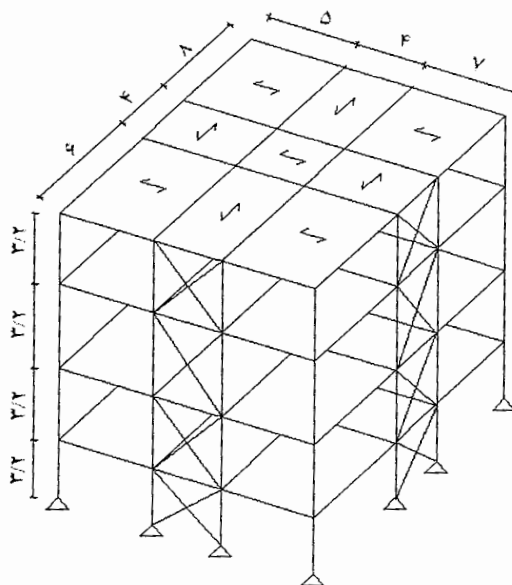
- ۲- انعطاف پذیری دیافراگم باعث تغییر مکان نقاط میانی دیافراگم نسبت به نقاط نزدیک به تکیه گاه شده و بدنبال آن تغییر مکان نسبی بین دو انتهای ستون ها در این نواحی افزایش می یابد که در نتیجه نیروهای داخلی ستونها شامل محوری ، برشی و خمشی در این ستونها افزایش قابل ملاحظه ای را نسبت به حالت سازه با دیافراگم صلب نشان می دهد .

با توجه به مطالب گفته شده جهت بررسی چگونگی رفتار دیافراگمها و میزان صلیت جانبی آنها ، سقفها را به روش اجزای محدود با معرفی المان *Shell* همراه با اجزای تیر ، ستون و سیستمهای مهاربند جانبی در یک مدل سه بعدی با در نظر گرفتن رفتار غشائی و خمشی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتایج زیر بدست آمد [۱۶] :

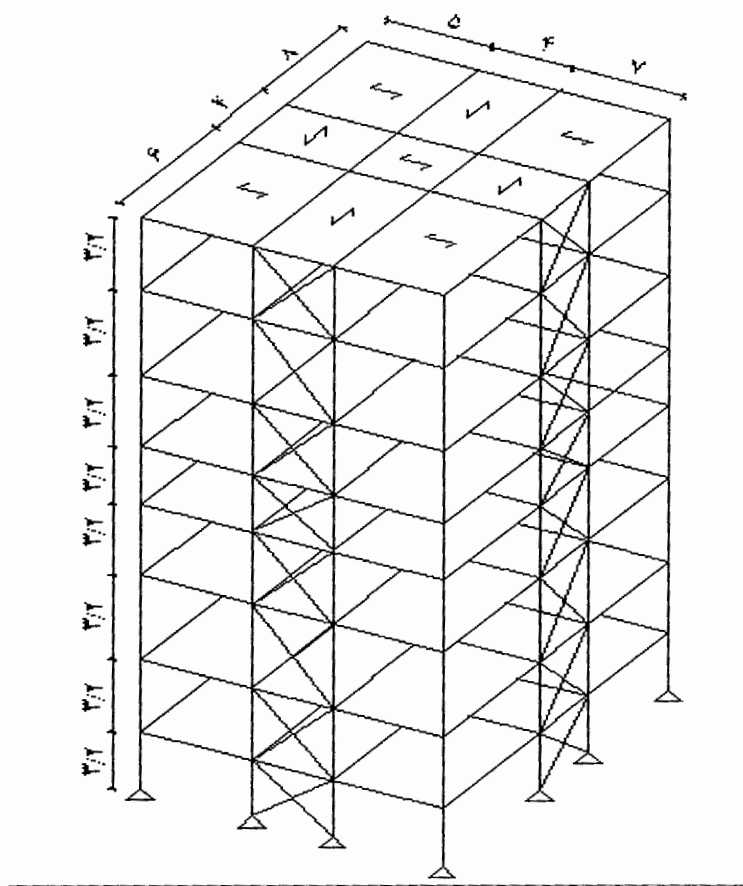
- ۱- سقفهایی که دارای دال بتنی با ضخامت حداقل ۵ cm هستند می توان در صورتی که جزء دیافراگمهای حساس نباشند ، صلب در نظر گرفت . بنابراین سقفهای تیرچه بلوک ، کامپوزیت ، تیرچه فولادی با جان باز با ضخامت دال حداقل ۵ cm صلب می باشند .
- ۲- سقف طاق ضربی با مهاربندهای افقی ضربدری را می توان صلب در نظر گرفت .

۳-۷- تاثیر سقفهای بهینه در قاب مدل

به منظور بررسی تاثیر استفاده از سقفهای بهینه طاق ضربی ، تیرچه بلوک ، کامپوزیت و تیرچه فولادی با جان باز در ساختمانهای مسکونی ، ساختمان نمونه ۴ و ۸ طبقه ای مطابق با اشکال ۴-۷ و ۷-۵ جهت انجام برخی مقایسه ها انتخاب شده است . در انتخاب این ساختمان سعی شده است که تا حد امکان از نظر مشخصات با بیشتر ساختمانهای رایج در کشور مطابقت داشته باشد . برای پوشش این ساختمان از سقفهای بهینه استفاده شده است و برای هر پوشش با استفاده از نرم افزار Etabs ۸/۵ تحلیل و طراحی می شود . در ادامه پس از تحلیل و طراحی قابهای فوق تاثیر هر پوشش بهینه در قابهای مذکور بر روی هر یک از اجزای اسکلت از قبیل تیرها ، ستونها ، سیستم مهاربند جانبی و همچنین وزن کل ساختمان بررسی می شود .



شکل ۴-۷- قاب مدل ۴ طبقه



شکل ۵-۷- قاب مدل ۸ طبقه

۱-۳-۷ قاب مدل با سقف بهینه طاق ضربی

به منظور بررسی تاثیر استفاده از سقف بهینه طاق ضربی در ساختمانهای مسکونی ، قاب ۴ و ۸ طبقه ای مطابق قابهای نشان داده شده در اشکال ۴-۷ و ۵-۷ در نرم افزار Etabs ۸/۵ بصورت زیر مدلسازی و سپس تحلیل و طراحی می شود .

۱- قاب مدل در اسکلت فولادی بررسی می شود .

۲- قاب مدل دارای دهانه های رایج در ساختمانهای مسکونی می باشد به طوری که در جهت

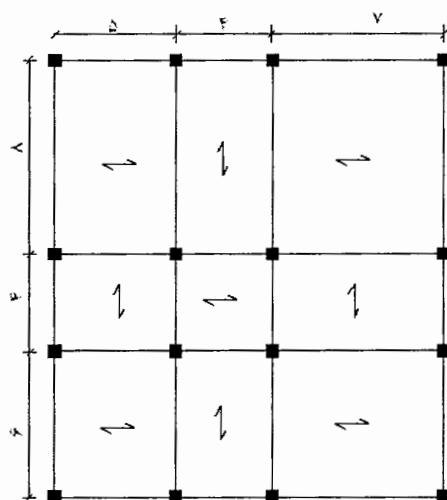
x دارای سه دهانه $5m, 4m, 7m$ و در جهت y دارای سه دهانه $6m, 4m, 8m$ می باشد .

۳- در قاب مدل ارتفاع طبقات $3.2m$ در نظر گرفته شده است .

۴- سربار زنده سقف $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .

۵- قاب مدل در دو جهت دارای سیستم مهاربندی (بادبند) می باشد .

۶- بارگذاری سقف به صورت شطرنجی مطابق با پلان زیر انتخاب شده است .



۷- اتصال ستونها به کف ستون به صورت مفصلی می باشد .

۸- مقاطع تیرها از بین مقاطع تک و دوبل IPE ، مقاطع ستونها از بین مقاطع دوبل و سوبل

IPE و مقاطع بادبندها از بین مقاطع دوبل ناودانی انتخاب شده اند .

۹- در مدلسازی سقف مدل نشده است و فقط وزن آن به صورت سطحی در پلان منظور شده

است .

۱۰- در مدلسازی بعلت استفاده از مهار ضربدری ، سقف صلب در نظر گرفته شده است .

۱۱- وزنه‌های به کار رفته برای سقف با توجه به جهت تیر ریزی مطابق وزنه‌های بدست آمده از

نتایج بهینه یابی سقف طاق ضربی می باشد که در جدول ۷-۱ تنظیم شده است . به عنوان مثال در

پانل ۵×۸ ، تیرهای فرعی دارای طول ۵m می باشند که از نتایج بهینه یابی سقف طاق ضربی برای

دهانه ۵m ، بار مرده معادل $527 \frac{kg}{m^2}$ لحاظ می شود .

وزن مرده سقف طاق ضربی (kg/m ²)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
527	5	5	8
583	8	4	8
547	7	7	8
518	4	5	4
518	4	4	4
518	4	7	4
527	5	5	6
537	6	4	6
547	7	7	6

جدول ۷-۱- وزن مرده و زنده سقف بهینه طاق ضربی برای مدل مفروض

پس از تحلیل و طراحی قابهای مدل با نرم افزار Etabs ۸/۵ ، نتایج به صورت زیر ارائه

می شود :

تعداد طبقات قاب مدل	۴ طبقه	۸ طبقه
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش طاق ضربی (kg)	۲۶۸۰۵	۵۳۲۰۵
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش طاق ضربی (kg)	۸۰۱۸	۲۴۰۶۰
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش طاق ضربی (kg)	۴۰۸۹	۷۲۲۹
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش طاق ضربی (kg)	۶۵۹۷۲۵	۱۳۲۶۰۳۰

جدول ۷-۲- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه طاق ضربی

۷-۳-۲- قاب مدل با سقف بهینه تیرچه بلوک

به منظور بررسی تاثیر استفاده از سقف بهینه تیرچه بلوک در ساختمانهای مسکونی ، قاب ۴ و

۸ طبقه ای مطابق قابهای نشان داده شده در اشکال ۷-۴ و ۷-۵ در نرم افزار Etabs ۸/۵ بصورت زیر

مدلسازی و سپس تحلیل و طراحی می شود .

۱- قاب مدل در اسکلت فولادی بررسی می شود .

۲- قاب مدل دارای دهانه های رایج در ساختمانهای مسکونی می باشد به طوری که در جهت

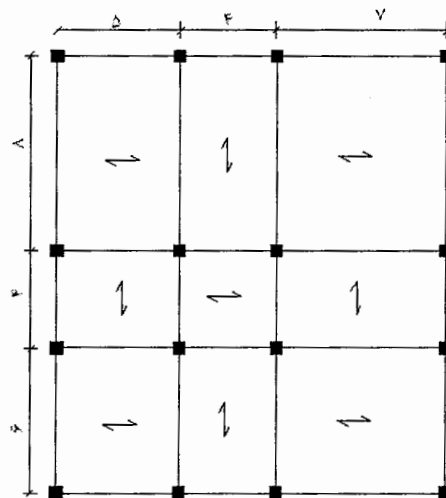
x دارای سه دهانه $5m, 4m, 7m$ و در جهت y دارای سه دهانه $6m, 4m, 8m$ می باشد .

۳- در قاب مدل ارتفاع طبقات $3.2m$ در نظر گرفته شده است .

۴- سر بار زنده سقف $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .

۵- قاب مدل در دو جهت دارای سیستم مهاربندی (بادبند) می باشد .

۶- بارگذاری سقف به صورت شطرنجی مطابق با پلان زیر انتخاب شده است .



۷- اتصال ستونها به کف ستون به صورت مفصلی می باشد .

۸- مقاطع تیرها از بین مقاطع تک و دابل IPE ، مقاطع ستونها از بین مقاطع دابل و سوبل

IPE و مقاطع بادبندها از بین مقاطع دابل ناودانی انتخاب شده اند .

۹- در مدلسازی سقف مدل نشده است و فقط وزن آن به صورت سطحی در پلان منظور شده

است .

۱۰- در مدلسازی سقف بعلت دارا بودن دال بتنی به ضخامت حداقل 5 cm صلب در نظر

گرفته شده است .

۱۱- وزنهای به کار رفته برای سقف با توجه به جهت تیر ریزی مطابق وزنهای بدست آمده از نتایج بهینه یابی سقف تیرچه بلوک می باشد که برای بلوکهای بتنی ، سفالی و پلی استایرن در جداول ۲-۷ ، ۳-۷ ، ۴-۷ تنظیم شده است . به عنوان مثال در پانل ۵×۸ ، تیرهای فرعی دارای طول ۵m می باشند که از نتایج بهینه یابی سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی برای دهانه ۵m ، بار مرده معادل $575 \frac{kg}{m^2}$ لحاظ می شود .

الف - سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی

وزن مرده سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی (kg/m ²)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
575	5	5	8
859	8	4	8
729	7	7	8
525	4	5	4
525	4	4	4
525	4	7	4
575	5	5	6
674	6	4	6
729	7	7	6

جدول ۳-۷- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه بلوک با بلوک بتنی برای مدل مفروض

ب - سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی

وزن مرده سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
548	5	5	8
721	8	4	8
678	7	7	8
504	4	5	4
504	4	4	4
504	4	7	4
548	5	5	6
625	6	4	6
678	7	7	6

جدول ۷-۴- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه بلوک با بلوک سفالی برای مدل مفروض

پ - سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن

وزن مرده سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
463	5	5	8
540	8	4	8
525	7	7	8
445	4	5	4
445	4	4	4
445	4	7	4
463	5	5	6
497	6	4	6
525	7	7	6

جدول ۷-۵- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن برای مدل مفروض

پس از تحلیل و طراحی قابهای مدل با نرم افزار Etabs ۸/۵ ، نتایج به صورت زیر ارائه

می شود :

تعداد طبقات قاب مدل	۴ طبقه	۸ طبقه
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی (kg)	۲۸۹۱۰	۵۷۷۵۶
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی (kg)	۸۹۱۶	۲۶۶۹۸
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی (kg)	۴۳۷۳	۷۵۹۰
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک بتنی (kg)	۷۹۸۰۲۳	۱۶۰۳۶۹۲
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی (kg)	۲۸۸۹۵	۵۷۶۰۳
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی (kg)	۸۷۸۲	۲۵۵۱۹
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی (kg)	۴۳۵۳	۷۵۹۰
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک سفالی (kg)	۷۴۲۵۵۸	۱۴۹۱۷۶۸
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن (kg)	۲۶۰۸۳	۵۱۴۵۰
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن (kg)	۷۷۴۹	۲۲۷۴۵
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن (kg)	۴۰۲۸	۷۰۹۴
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش سقف تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن (kg)	۶۰۴۰۵۲	۱۲۱۳۶۲۸

جدول ۷-۶- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه تیرچه بلوک

۷-۳-۳- قاب مدل با سقف بهینه کامپوزیت

به منظور بررسی تاثیر استفاده از سقفهای بهینه کامپوزیت در ساختمانهای مسکونی، قابهای ۴ و ۸ طبقه ای مطابق قاب نشان داده شده در اشکال ۷-۴ و ۷-۵ در نرم افزار Etabs ۸/۵ بصورت زیر مدلسازی و سپس تحلیل و طراحی می شود.

۱- قاب مدل در اسکلت فولادی بررسی می شود.

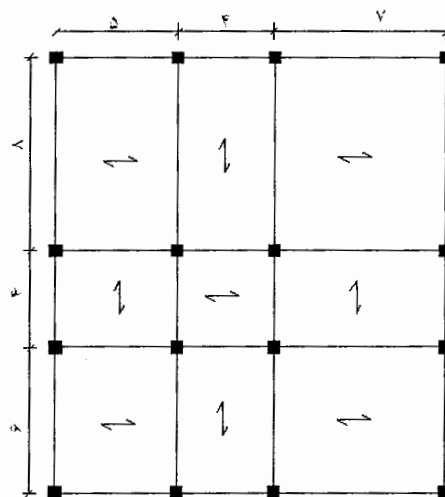
۲- قاب مدل دارای دهانه های رایج در ساختمانهای مسکونی می باشد به طوری که در جهت x دارای سه دهانه $5m, 4m, 7m$ و در جهت y دارای سه دهانه $6m, 4m, 8m$ می باشد.

۳- در قاب مدل ارتفاع طبقات $3.2m$ در نظر گرفته شده است.

۴- سر بار زنده سقف $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد.

۵- قاب مدل در دو جهت دارای سیستم مهاربندی (بادبند) می باشد.

۶- بارگذاری سقف به صورت شطرنجی مطابق با پلان زیر انتخاب شده است.



۷- اتصال ستونها به کف ستون به صورت مفصلی می باشد.

۸- مقاطع تیرها از بین مقاطع تک و دوبل IPE، مقاطع ستونها از بین مقاطع دوبل و سوبل

IPE و مقاطع بادبندها از بین مقاطع دوبل ناودانی انتخاب شده اند.

۹- در مدلسازی سقف مدل نشده است و فقط وزن آن به صورت سطحی در پلان منظور شده است .

۱۰- در مدلسازی سقف بعلت دارا بودن دال بتنی به ضخامت حداقل ۵ cm صلب در نظر گرفته شده است .

۱۱- وزنهای به کار رفته برای سقف با توجه به جهت تیر ریزی مطابق وزنهای بدست آمده از نتایج بهینه یابی سقف کامپوزیت می باشد که برای دو حالت بدون استفاده از شمع بندی و با استفاده از شمع بندی در جداول ۷-۷ و ۸-۷ تنظیم شده است . به عنوان مثال در پانل ۵×۸ ، تیرهای فرعی دارای طول ۵m می باشند که از نتایج بهینه یابی سقف کامپوزیت بدون شمع بندی برای دهانه ۵m ، بار مرده معادل $471 \frac{kg}{m^2}$ لحاظ می شود .

الف -سقف کامپوزیت بدون استفاده از شمع بندی

وزن مرده سقف کامپوزیت بدون شمع بندی (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
471	5	5	8
488	8	4	8
479	7	7	8
469	4	5	4
469	4	4	4
469	4	7	4
471	5	5	6
474	6	4	6
479	7	7	6

جدول ۷-۷ وزن مرده و زنده سقف بهینه کامپوزیت بدون شمع بندی برای مدل مفروض

الف - سقف کامپوزیت با استفاده از شمع بندی

وزن مرده سقف کامپوزیت با شمع بندی (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
471	5	5	8
488	8	4	8
479	7	7	8
468	4	5	4
468	4	4	4
468	4	7	4
471	5	5	6
474	6	4	6
479	7	7	6

جدول ۷-۸ وزن مرده و زنده سقف بهینه کامپوزیت با شمع بندی برای مدل مفروض

پس از تحلیل و طراحی قابهای مدل با نرم افزار Etabs ۸/۵ ، نتایج به صورت زیرارائه

می شود :

تعداد طبقات قاب مدل	۴ طبقه	۸ طبقه
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش کامپوزیت بدون شمع بندی (kg)	۲۶۰۸۳	۵۰۵۰۵
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش کامپوزیت بدون شمع بندی (kg)	۷۷۴۹	۲۲۲۲۷
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش کامپوزیت بدون شمع بندی (kg)	۴۰۲۸	۷۰۵۸
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش کامپوزیت بدون شمع بندی (kg)	۵۸۵۵۴۰	۱۱۷۵۱۵۰
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش کامپوزیت با شمع بندی (kg)	۲۶۰۸۳	۵۰۵۰۵
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش کامپوزیت با شمع بندی (kg)	۷۷۴۹	۲۲۲۲۷
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش کامپوزیت با شمع بندی (kg)	۴۰۲۸	۷۰۵۸
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش کامپوزیت با شمع بندی (kg)	۵۸۵۲۸۴	۱۱۷۵۶۳۸

جدول ۷-۹- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه کامپوزیت

۷-۳-۴- قاب مدل با سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز

به منظور بررسی تاثیر استفاده از سقفهای بهینه تیرچه فولادی با جان باز در ساختمانهای

مسکونی ، قابهای ۴ و ۸ طبقه ای مطابق قاب نشان داده شده در اشکال ۷-۴ و ۷-۵ در نرم افزار

Etabs ۸/۵ بصورت زیر مدلسازی و سپس تحلیل و طراحی می شود .

۱- قاب مدل در اسکلت فولادی بررسی می شود .

۲- قاب مدل دارای دهانه های رایج در ساختمانهای مسکونی می باشد به طوری که در جهت

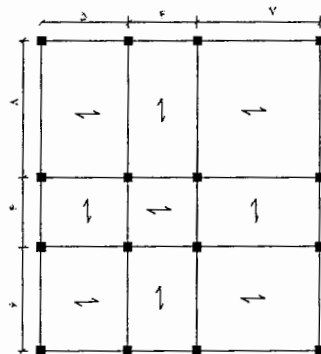
x دارای سه دهانه $5m, 4m, 7m$ و در جهت y دارای سه دهانه $6m, 4m, 8m$ می باشد .

۳- در قاب مدل ارتفاع طبقات $3.2m$ در نظر گرفته شده است .

۴- سر بار زنده سقف $200 \frac{kg}{m^2}$ می باشد .

۵- قاب مدل در دو جهت دارای سیستم مهاربندی (بادبند) می باشد .

۶- بارگذاری سقف به صورت شطرنجی مطابق با پلان زیر انتخاب شده است .



۷- اتصال ستونها به کف ستون به صورت مفصلی می باشد .

۸- مقاطع تیرها از بین مقاطع تک و دابل IPE ، مقاطع ستونها از بین مقاطع دابل و سوبل

IPE و مقاطع بادبندها از بین مقاطع دابل ناودانی انتخاب شده اند .

۹- در مدلسازی سقف مدل نشده و فقط وزن آن به صورت سطحی در پلان منظور شده است .

۱۰- در مدلسازی سقف بعلت دارا بودن دال بتنی به ضخامت حداقل ۵ cm صلب در نظر

گرفته شده است .

۱۱- وزنهای به کار رفته برای سقف با توجه به جهت تیر ریزی مطابق وزنهای بدست آمده از

نتایج بهینه یابی می باشد که برای بلوکهای بتنی ، سفالی ، پلی استایرن و تیرچه فولادی با جان باز

کامپوزیت در جداول ۷-۱۰ ، ۷-۱۱ ، ۷-۱۲ و ۷-۱۳ تنظیم شده است . به عنوان مثال در پانل 8×5 ،

تیرهای فرعی دارای طول ۵m می باشند که از نتایج بهینه یابی سقف تیرچه فولادی با جان باز با

بلوک بتنی برای دهانه ۵m ، بار مرده معادل $522 \frac{kg}{m^2}$ لحاظ می شود .

الف - سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی

وزن مرده سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
522	5	5	8
705	8	4	8
614	7	7	8
513	4	5	4
513	4	4	4
513	4	7	4
522	5	5	6
545	6	4	6
614	7	7	6

جدول ۷-۱۰- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتنی برای مدل مفروض

ب- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی

وزن مرده سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
500	5	5	8
655	8	4	8
580	7	7	8
490	4	5	4
490	4	4	4
490	4	7	4
500	5	5	6
521	6	4	6
580	7	7	6

جدول ۷-۱۱- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفالی برای مدل مفروض

پ- سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن

وزن مرده سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
436	5	5	8
499	8	4	8
470	7	7	8
426	4	5	4
426	4	4	4
426	4	7	4
436	5	5	6
447	6	4	6
470	7	7	6

جدول ۷-۱۲- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن برای مدل مفروض

ت- سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت

وزن مرده سقف تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت (kg/m^2)	جهت تیر ریزی در پانل (m)	عرض پانل (m)	طول پانل (m)
470	5	5	8
551	8	4	8
503	7	7	8
463	4	5	4
463	4	4	4
463	4	7	4
470	5	5	6
484	6	4	6
503	7	7	6

جدول ۷-۱۳- وزن مرده و زنده سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت برای مدل مفروض

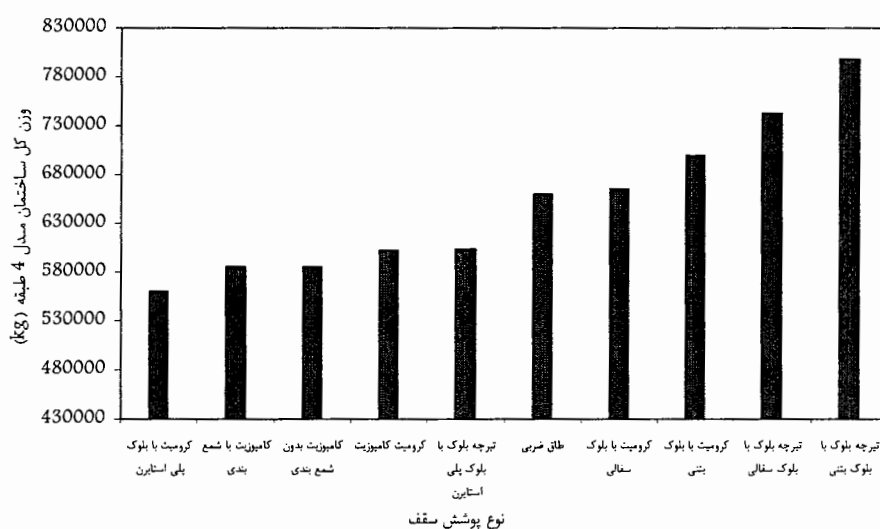
پس از تحلیل و طراحی قابهای مدل با نرم افزار Etabs ۸/۵، نتایج به صورت زیر ارائه می شود :

تعداد طبقات قاب مدل	۴ طبقه	۸ طبقه
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک بتنی	۲۶۹۶۸	۵۴۱۱۸
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک بتنی	۸۲۹۳	۲۵۱۱۰
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک بتنی	۴۱۲۸	۷۲۷۶
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) با بلوک بتنی	۷۰۰۱۲۵	۱۴۰۷۹۷۶
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک سفالی	۲۶۹۴۲	۵۳۳۰۸
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک سفالی	۸۰۹۲	۲۴۱۹۶
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک سفالی	۴۱۰۸	۷۲۲۹
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) با بلوک سفالی	۶۶۵۷۹۸	۱۳۳۸۰۴۵
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک پلی استایرن	۲۶۰۶۵	۵۱۳۴۳
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک پلی استایرن	۷۷۳۰	۲۱۷۰۸
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) بلوک سفالی	۴۰۲۸	۷۰۱۸
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) با بلوک پلی استایرن	۵۵۹۹۸۳	۱۱۲۴۳۸۹
وزن تیرهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) کامپوزیت	۲۶۰۸۳	۵۱۴۳۷
وزن ستونهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) کامپوزیت	۷۷۴۹	۲۲۶۳۲
وزن بادبندهای قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) کامپوزیت	۴۰۲۸	۷۰۹۴
وزن کل ساختمان قاب مدل با پوشش تیرچه فولادی با جان باز با (kg) کامپوزیت	۶۰۲۱۵۶	۱۲۰۹۷۵۵

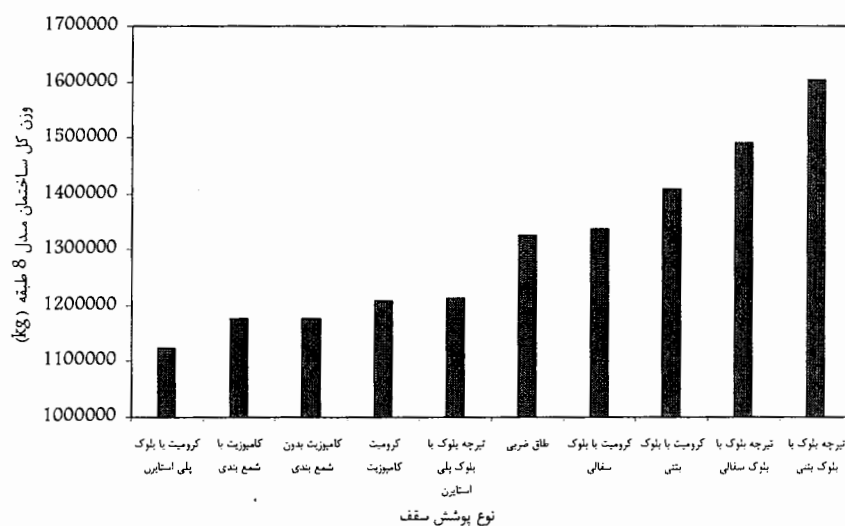
جدول ۷-۱۴- نتایج تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوشش سقف بهینه تیرچه فولادی با جان باز

۷-۴- مقایسه قابهای مدل با پوشش بهینه

پس از تحلیل و طراحی قابهای مدل با پوششهای بهینه برای مقایسه قاب ها با سقفهای بهینه ، منحنی وزن کل ساختمان و همچنین منحنی کاهش وزن اسکلت به ازای کاهش وزن سقف در ادامه آمده است .



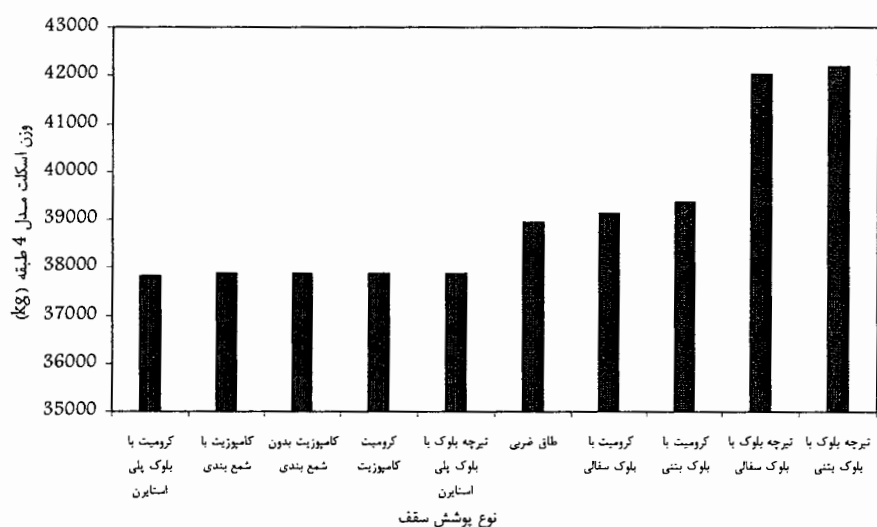
شکل ۷-۶- منحنی وزن کل ساختمان قاب مدل ۴ طبقه مدل با پوششهای بهینه



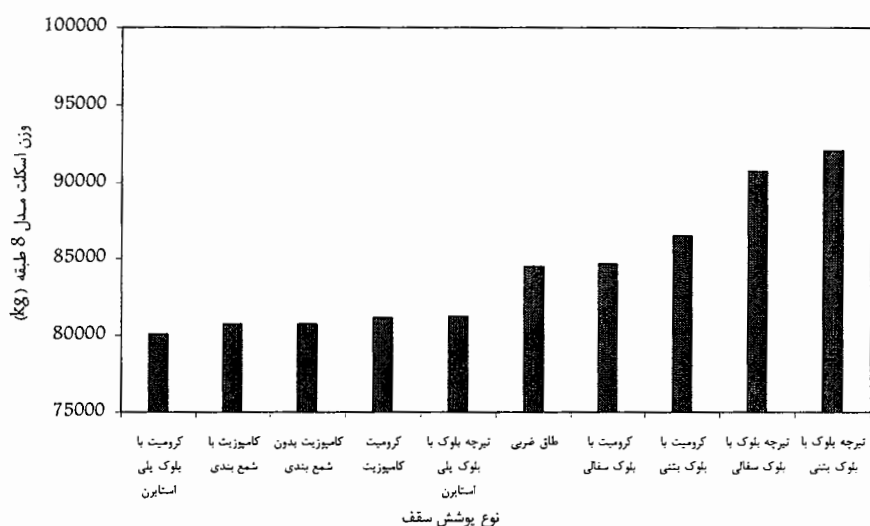
شکل ۷-۷- منحنی وزن کل ساختمان قاب مدل ۸ طبقه مدل با پوششهای بهینه

وزن اسکلت قاب ۴ و ۸ طبقه مدل ، شامل وزن تیرها ، ستوانه و بادبندها به صورت نمودار

میله ای زیر نشان داده می شود :



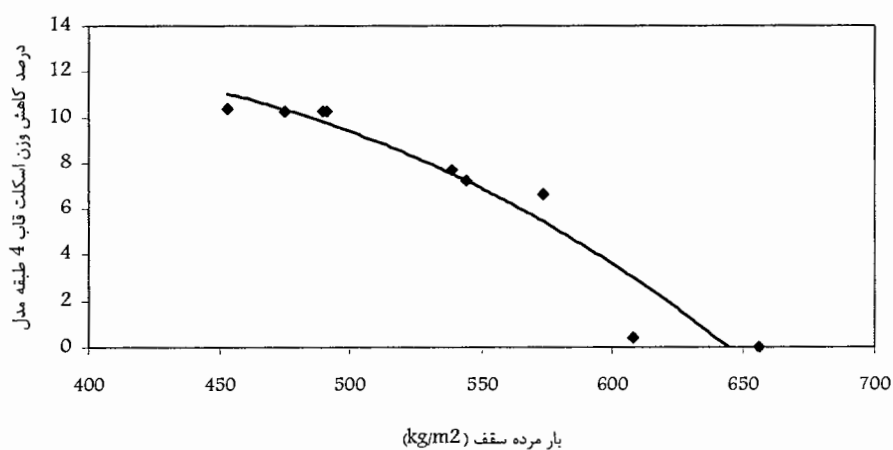
شکل ۷-۸- منحنی وزن اسکلت قاب ۴ طبقه مدل با پوششهای بهینه



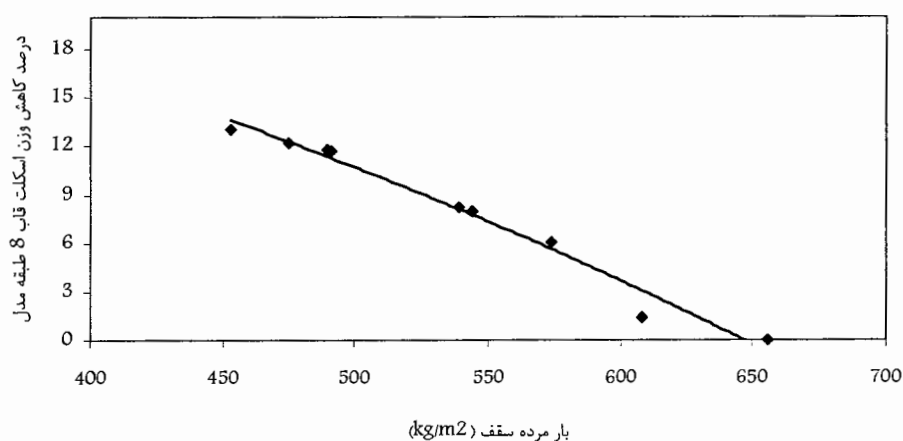
شکل ۷-۹- منحنی وزن اسکلت قاب ۸ طبقه مدل با پوششهای بهینه

با توجه به اینکه هر چه وزن سقف کاهش پیدا کند وزن اسکلت نیز کاهش پیدا می کند و همچنین بر اساس اطلاعات بدست آمده از تحلیل و طراحی قابهای مدل ، میزان کاهش وزن اجزای اسکلت شامل تیرها ، ستونها و بادبندها به ازای کاهش وزن سقف بصورت منحنی هایی در ادامه آمده است :

میزان کاهش وزن اسکلت قابهای مدل را به ازای کاهش وزن سقف در ادامه نشان داده شده است .



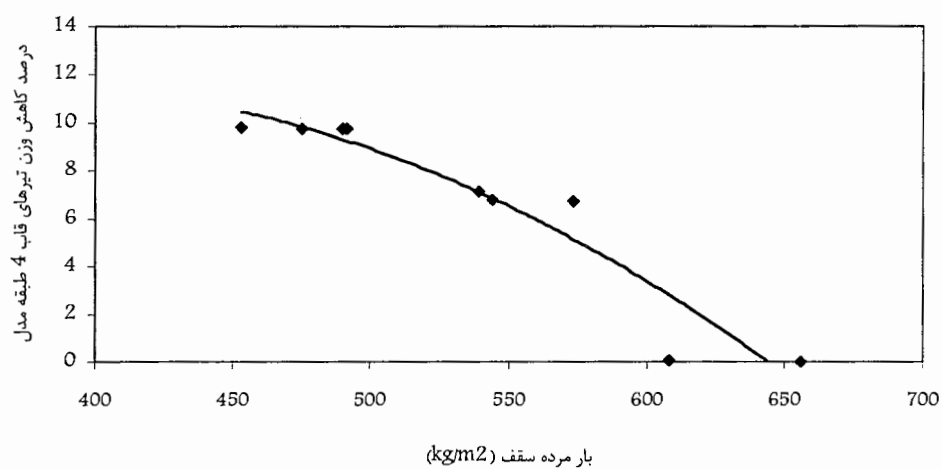
شکل ۷-۱۰- درصد کاهش وزن اسکلت قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف



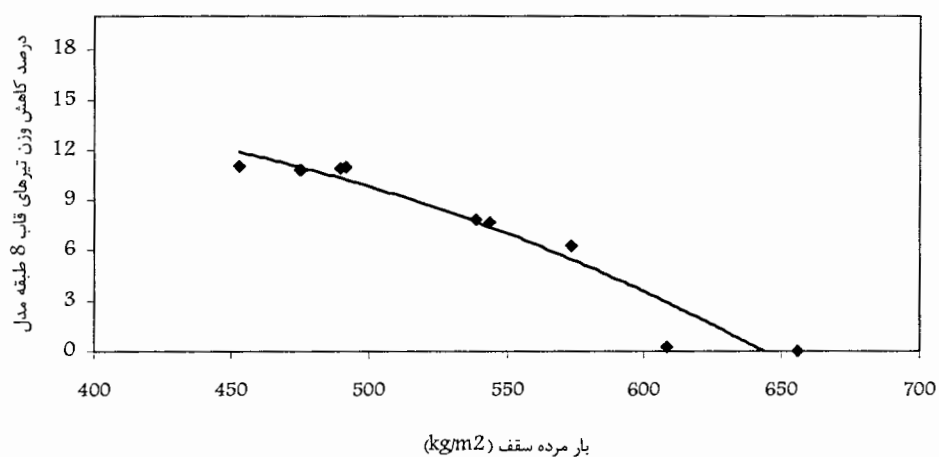
شکل ۷-۱۱- درصد کاهش وزن اسکلت قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف

میزان کاهش وزن تیرهای قابهای مدل را به ازای کاهش وزن سقف در ادامه نشان داده شده

است .



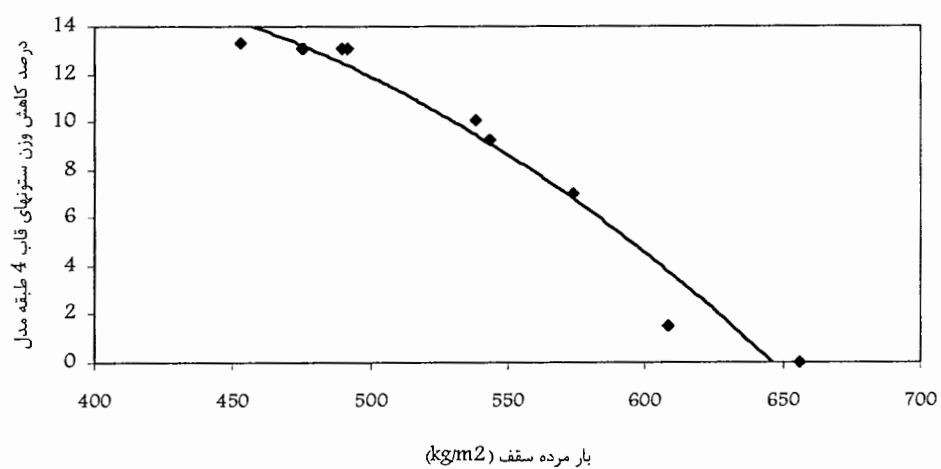
شکل ۷-۱۲- درصد کاهش وزن تیرهای قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف



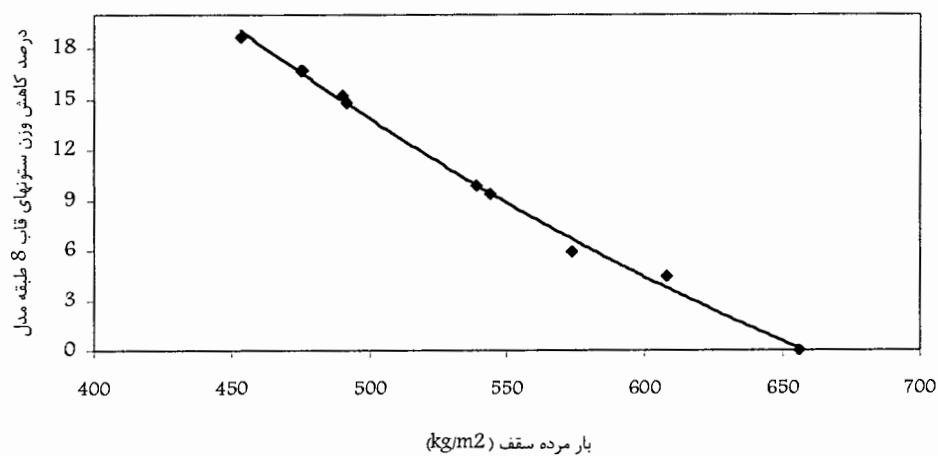
شکل ۷-۱۳- درصد کاهش وزن تیرهای قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف

میزان کاهش وزن ستونهای قابهای مدل را به ازای کاهش وزن سقف در ادامه نشان داده شده

است .



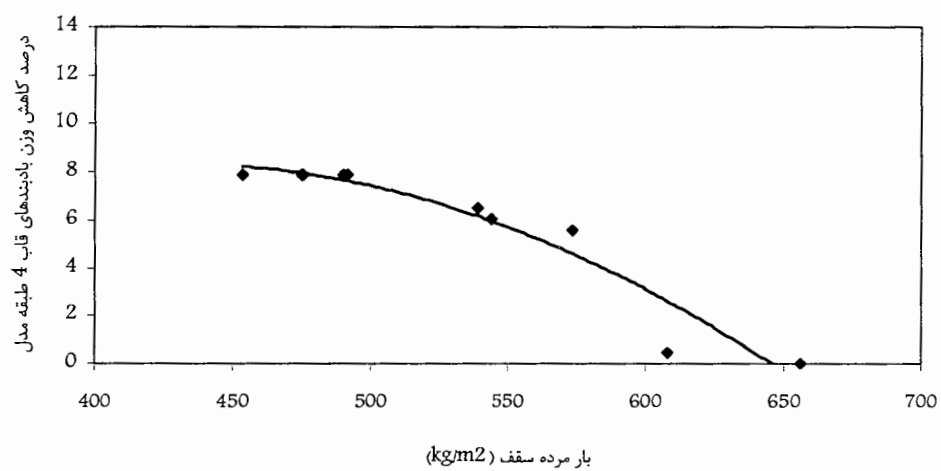
شکل ۷-۱۴- درصد کاهش وزن ستونهای قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف



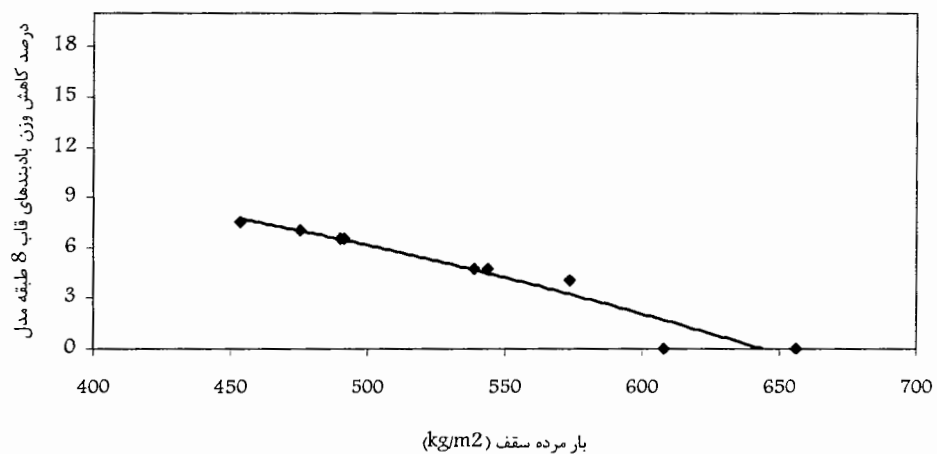
شکل ۷-۱۵- درصد کاهش وزن ستونهای قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف

میزان کاهش وزن بادبندهای قابهای مدل را به ازای کاهش وزن سقف در ادامه نشان داده شده

است .



شکل ۷-۱۶- درصد کاهش وزن بادبندهای قاب مدل ۴ طبقه به ازای کاهش وزن سقف



شکل ۷-۱۷- درصد کاهش وزن بادبندهای قاب مدل ۸ طبقه به ازای کاهش وزن سقف

فصل هشتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۸-۱- نتیجه گیری

با توجه به این که طراحی یک پروسه سعی و خطا است ممکن است گزینه های زیادی نیاز طرح را برآورده کند ولی از نظر وزن یا هزینه مناسب نباشد و بخصوص در طراحی سقف که تعداد متغیرهای طراحی زیاد است تمام توجه طراح به این امر است که متغیرهای انتخاب شده جوابگوی طرح و کنترل‌های آیین نامه ای باشد لذا در اغلب موارد این طراحی یک طراحی بهینه نمی باشد. به همین علت در این پایان نامه با استفاده از برنامه کامپیوتری طراحی سقف و یکی از روشهای پیشرفته بهینه یابی به نام روش گرادیان تقلیل یافته به طراحی و بهینه یابی این سقفها پرداخته شد و نتایج کلی زیر بدست آمد :

۱ - با استفاده از روش بهینه یابی سقف ، علاوه بر ایجاد سرعت و دقت و حذف محاسبات دستی نهایتاً طرحی ارائه می شود که می تواند نسبت به هر پارامتر طراحی از قبیل وزن آهن ، وزن ورق فولادی ، وزن میلگرد ، وزن بتن و ... و یا هزینه بهینه شود .

۲- با استفاده از روش بهینه یابی سقف ، پارامتر طراحی با تغییر متغیرهای طراحی می تواند ماکزیمم یا مینیمم شود و یا اینکه به یک مقدار مشخص برسد .

۳- اگر چه با انتخاب هر مقدار اولیه ای برای متغیرهای طراحی در محدوده قابل قبول یا غیر قابل قبول برنامه به سمت نقطه بهینه حرکت می کند اما انتخاب مناسب مقادیر اولیه متغیرهای طراحی تاثیر مستقیم بر کاهش حجم عملیات کامپیوتری دارد .

۴- با استفاده از روش بهینه یابی تنها متغیرهایی که مقادیرشان به صورت پیوسته تغییر می کند مانند ضخامت دال بتنی می تواند برای رسیدن به طرح بهینه تغییر کند و متغیرهایی که مقادیرشان به صورت گسسته تغییر می کند مانند نمره تیر فولادی باید به عنوان ثابت معرفی شود .

۵- هرچه تعداد متغیرهای طراحی زیاد باشد پارامتر طراحی با انجام عمل بهینه یابی بیشتر تغییر می کند .

بر اساس نتایج بررسیهای بدست آمده در فصول مختلف نتایج زیر در مورد طراحی سقفها بدست می آید .

۱- با توجه به منحنی های بدست آمده از بهینه یابی سقفها در فصل ششم در تیر ریزی سقف هرچه طول تیرهای فرعی کمتر باشد وزن سقف کمتر می شود ولی تاثیر آن بر روی اسکلت از قبیل تیر ، ستون و ... قابل تعیین نیست .

۲- با توجه به منحنی وزن بهینه به دهانه سقف کامپوزیت در فصل ششم چون برای دهانه $6m$ و بالاتر کنترل فرکانس به عنوان قید بهینه یابی از بقیه قیدها ، بحرانی تر است و همچنین از آن جا که این قید در هر دو حالت بدون شمع بندی و با شمع بندی دارای رابطه یکسانی است ، در نتیجه در این سقف بهینه یابی برای دهانه $6m$ و بالاتر در هر دو حالت دارای نتیجه یکسانی می باشد .

۳- با توجه به منحنی وزن بهینه سقفها به دهانه در فصل ششم نتایج زیر بدست آمد :

الف - تا دهانه $5.5m$ سبکترین سقفها به ترتیب سقف تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن ، تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن ، تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت ، کامپوزیت با شمع بندی ، کامپوزیت بدون شمع بندی ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفال ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتن ، طاق ضربی ، تیرچه بلوک با بلوک سفال ، تیرچه بلوک با بلوک بتن می باشند .

ب- برای بیشتر از $5.5m$ تا $6.5m$ سبکترین سقفها به ترتیب تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن ، کامپوزیت با شمع بندی ، کامپوزیت بدون شمع بندی ، تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت ، تیرچه بلوک با بلوک سفال ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفال ، طاق ضربی ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتن ، تیرچه بلوک با بلوک سفال - تیرچه بلوک با بلوک بتن می باشند .

پ- برای دهانه بیشتر از $6.5m$ سبکترین سقفها به ترتیب تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن ، کامپوزیت با شمع بندی ، کامپوزیت بدون شمع بندی ، تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت ، تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن ، طاق ضربی ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفال ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتن ، تیرچه بلوک با بلوک سفال - تیرچه بلوک با بلوک بتن می باشند .

۴- با توجه به منحنی فرکانس سقفها به دهانه در فصل ششم رفتار سقفهای کامپوزیت بدون شمع بندی ، کامپوزیت با شمع بندی ، طاق ضربی ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتن ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفال ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن ، تیرچه بلوک با بلوک بتن ، تیرچه بلوک با بلوک سفال در برابر ارتعاش مناسب تر هستند .

۵- با توجه به منحنی خیز به دهانه سقف در فصل ششم به ترتیب سقفهای طاق ضربی ، تیرچه بلوک با بلوک بتن ، تیرچه بلوک با بلوک سفال ، تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن ، کامپوزیت با شمع بندی ، تیرچه فولادی با جان باز کامپوزیت ، کامپوزیت بدون شمع بندی ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک پلی استایرن ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک بتن ، تیرچه فولادی با جان باز با بلوک سفال از نظر خیز مناسب هستند .

۶- بعد از تحلیل و طراحی سازه ساختمان مسکونی مدل با پوششهای بهینه و دهانه های رایج نتایج زیر بدست آمد :

الف - به ازای $100 \frac{kg}{m^2}$ کاهش وزن سقف وزن اسکلت سازه حدود 7% - 6% کاهش می یابد .

ب- به ازای $100 \frac{kg}{m^2}$ کاهش وزن سقف وزن تیرهای سازه حدود 6% - 5% کاهش می یابد .

پ - به ازای $100 \frac{kg}{m^2}$ کاهش وزن سقف وزن ستونهای سازه حدود 9% - 8% کاهش می یابد .

ت - به ازای $100 \frac{kg}{m^2}$ کاهش وزن سقف وزن بادبندها سازه مدل 5% - 4% کاهش می یابد .

لازم به تذکر است که مقایسه های انجام شده مربوط به قاب مدل می باشد و با تغییر موقعیت ستونها ، تغییر طول تیرها ، تغییر جهت بار گذاری ، تغییر نوع و موقعیت سیستم مهار بند جانبی ، تغییر تعداد طبقات و تغییر پروفیل های مصرفی و ... نتایج بدست آمده تغییر می کند .

۸-۲- پیشنهادات

۱- ساخت مدل های آزمایشگاهی از سقفهای مختلف و تعیین نحوه اندرکنش مواد در برابر نیروهای جانبی

۲- ساخت مدل های آزمایشگاهی و بررسی صلبیت سقفها

۳- بهینه یابی سقفهای طاق ضربی ، تیرچه بلوک ، کامپوزیت و کرومیت برای دهانه های بیشتر از ۸ متر و خرپا با استفاده از روش گرادیان تقلیل یافته

۴- بهینه یابی سقفهای طاق ضربی ، تیرچه بلوک ، کامپوزیت و کرومیت با روشهای دیگر بهینه یابی و مقایسه نتایج آنها با روش گرادیان تقلیل یافته

۵- بهینه یابی قاب با اسکلت فولادی و بتنی و سقف به طور همزمان و رسیدن به بهینه ترین سقف و اسکلت

۶- بسط بهینه یابی سقف کامپوزیت و ضریبی با روش گرادیان تقلیل یافته برای انواع پروفیلها از قبیل پروفیل لانه زنبوری

پیوست ها

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

Worksheet: [ضریبی با فرکانس.xls]سقف طاق ضریبی

Report Created: 2006/04/22 01:01:50 ق.ظ

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$BB\$2	ok وزن سقف (kg/m2)	551.86	545.00

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$F\$2	فاصله بین تیرهای فولادی (m)	0.80	1.00
\$X\$2	عرض پلیت تقویتی پائین تیر فولادی IPE20 (cm)	14	14
\$Y\$2	ضخامت پلیت تقویتی پائین تیر فولادی IPE20 (cm)	0.8	0.96078103

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$AO\$2	ok Ration	0.20787332	\$AO\$2<=1	Not Binding	0.79212668
\$AF\$2	IPE20 Ration	0.5180	\$AF\$2<=1	Not Binding	0.48198467
\$AK\$2	ok frequence	4.99999987	\$AK\$2>=5	Binding	0
\$X\$2	عرض پلیت تقویتی پائین تیر فولادی IPE20 (cm)	14	\$X\$2=\$W\$2+4	Not Binding	0
\$F\$2	فاصله بین تیرهای فولادی (m)	1.00	\$F\$2<=1	Binding	0
\$F\$2	فاصله بین تیرهای فولادی (m)	1.00	\$F\$2>=0.75	Not Binding	0.25
\$X\$2	عرض پلیت تقویتی پائین تیر فولادی IPE20 (cm)	14	\$X\$2>=0	Not Binding	14
\$Y\$2	ضخامت پلیت تقویتی پائین تیر فولادی IPE20 (cm)	0.96078103	\$Y\$2<=1.2	Not Binding	0.23921897
\$Y\$2	ضخامت پلیت تقویتی پائین تیر فولادی IPE20 (cm)	0.96078103	\$Y\$2>=0	Not Binding	0.96078103

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

Worksheet: ضریبی با فرکانس [سقف طاق ضریبی.xls]

Report Created: 2006/04/22 01:05:34 ق.ظ

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$BM\$2	ok (م2/ قیمت سقف) ریال	461641	405083

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$F\$2	فاصله بین تیرهای فولادی (m)	0.80	0.75
\$X\$2	IPE20 (عرض پلیت تقویتی پائین تیر فولادی cm)	14	14
\$Y\$2	IPE20 (ضخامت پلیت تقویتی پائین تیر فولادی cm)	0.8	0.59359956

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$AO\$2	ok Ration	0.15679334	\$AO\$2<=1	Not Binding	0.84320666
\$AF\$2	IPE20 Ration	0.5007	\$AF\$2<=1	Not Binding	0.4993381
\$AK\$2	ok frequency	5.00000056	\$AK\$2>=5	Binding	0
\$X\$2	IPE20 (عرض پلیت تقویتی پائین تیر فولادی cm)	14	\$X\$2=\$W\$2+4	Not Binding	0
\$F\$2	فاصله بین تیرهای فولادی (m)	0.75	\$F\$2<=1	Not Binding	0.25
\$F\$2	فاصله بین تیرهای فولادی (m)	0.75	\$F\$2>=0.75	Binding	0.00
\$X\$2	IPE20 (عرض پلیت تقویتی پائین تیر فولادی cm)	14	\$X\$2>=0	Not Binding	14
\$Y\$2	IPE20 (ضخامت پلیت تقویتی پائین تیر فولادی cm)	0.59359956	\$Y\$2<=1.2	Not Binding	0.60640044
\$Y\$2	IPE20 (ضخامت پلیت تقویتی پائین تیر فولادی cm)	0.59359956	\$Y\$2>=0	Not Binding	0.59359956

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

Worksheet: [.xls]Sheet1

Report Created: 2006/04/22 01:28:58

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$EW\$2	وزن سقف (kg/m2)ok	677.57	637.29

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$M\$2	فاصله بین تیرچه ها (cm)	70	52
\$O\$2	عرض جان تیرچه ها (cm)	12.00	10.00
\$P\$2	ارتفاع کل سقف (cm)	40.0	35.0
\$V\$2	سفالی ارتفاع بتن دال سقف (cm)	6.0	5.0

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$O\$2	عرض جان تیرچه ها (cm)	10.00	\$O\$2>=\$N\$2	Binding	0.00
\$V\$2	سفالی ارتفاع بتن دال سقف (cm)	5.0	\$V\$2>=\$U\$2	Binding	0.0
\$BM\$2	نسبت	0.96	\$BM\$2<=1	Not Binding	0.03680659
\$DA\$2	ok f(hz)	5.00	\$DA\$2>=5	Binding	0.00
\$M\$2	فاصله بین تیرچه ها (cm)	52	\$M\$2<=70	Not Binding	17.77346339
\$M\$2	فاصله بین تیرچه ها (cm)	52	\$M\$2>=50	Not Binding	2
\$P\$2	ارتفاع کل سقف (cm)	35.0	\$P\$2<=40	Not Binding	5.0000157
\$P\$2	ارتفاع کل سقف (cm)	35.0	\$P\$2>=20	Not Binding	15.0

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

.xls]Sheet1Worksheet: [

Report Created: 2006/04/22 01:31:06

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$FP\$2	Ok قیمت سقف (ریال/m2)	162996	159558

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$M\$2	فاصله بین تیرچه ها (cm)	70	56
\$O\$2	عرض جان تیرچه ها (cm)	12.00	10.74
\$P\$2	ارتفاع کل سقف (cm)	40.0	37.6
\$V\$2	سفالی ارتفاع بتن دال سقف (cm)	6.0	5.0

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$O\$2	عرض جان تیرچه ها (cm)	10.74	\$O\$2>=\$N\$2	Binding	0.00
\$V\$2	سفالی ارتفاع بتن دال سقف (cm)	5.0	\$V\$2>=\$U\$2	Binding	0.0
	نباید از مقطع ترک خورده صرف نظر				
\$BM\$2	Ratio کرد	0.98	\$BM\$2<=1	Not Binding	0.019654882
\$DA\$2	ok f(hz)	5.19	\$DA\$2>=5	Not Binding	0.19
\$M\$2	فاصله بین تیرچه ها (cm)	56	\$M\$2<=70	Not Binding	13.82769909
\$M\$2	فاصله بین تیرچه ها (cm)	56	\$M\$2>=50	Not Binding	6
\$P\$2	ارتفاع کل سقف (cm)	37.6	\$P\$2<=40	Not Binding	2.418764405
\$P\$2	ارتفاع کل سقف (cm)	37.6	\$P\$2>=20	Not Binding	17.6

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

Worksheet: [بندي بدون شمع]سقف کامپوزيت بدون شمع بندي.xls

Report Created: 2006/02/28 08:27:27 ق.ظ

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$E\$2	ok TOTAL WEIGHT(KG/M2)	525.01	475.05

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$L\$2	فاصله بين تيرها (m)	1.50	1.71
\$S\$2	ضخامت دال بتني (cm)	10.00	8.00
\$Q\$2	عرض ورق تقويتي (cm)	7	7
\$R\$2	ضخامت ورق تقويتي (cm)	0.6	0.8

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$DD\$2	نسبت تنش برشي موجود به مجاز بعد گيرش بتن	0.376	\$DD\$2<=1	Not Binding	0.62437414
\$S\$2	ضخامت دال بتني (cm)	8.00	\$S\$2>=\$EF\$2	Binding	0.00
\$DB\$2	نسبت تنش برشي موجود به مجاز قبل گيرش بتن	0.18	\$DB\$2<=1	Not Binding	0.82012256
\$BH\$2	نسبت کمانش جانبي قبل گيرش بتن	0.80	\$BH\$2<=1	Not Binding	0.20364864
\$BT\$2	نسبت تنش کششي مقطع مرکب	0.86	\$BT\$2<=1	Not Binding	0.14081284
\$BW\$2	نسبت تنش کششي مقطع مرکب	0.91	\$BW\$2<=1	Not Binding	0.0942049
\$CA\$2	ok Ratio	0.32	\$CA\$2<=1	Not Binding	0.67893295
\$CT\$2	کنترل فرکانس تير مرکب	5.00	\$CT\$2<=10	Not Binding	5.00000018
\$CT\$2	کنترل فرکانس تير مرکب	5.00	\$CT\$2>=5	Binding	0.00
\$M\$2	رعایت نسبت برای دال یک طرفه بودن	3.51	\$M\$2>=2	Not Binding	1.51
\$Q\$2	عرض ورق تقويتي (cm)	7	\$Q\$2<=\$AD\$2-2	Binding	0
\$L\$2	فاصله بين تيرها (m)	1.71	\$L\$2>=0.1	Not Binding	1.61
\$Q\$2	عرض ورق تقويتي (cm)	7	\$Q\$2>=0	Not Binding	7
\$R\$2	ضخامت ورق تقويتي (cm)	0.8	\$R\$2>=0	Not Binding	0.8
\$R\$2	ضخامت ورق تقويتي (cm)	0.8	\$R\$2<=\$AC\$2	Binding	0

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

Worksheet: بدون شمع بندی [بدون شمع بندی.xls]

Report Created: 2006/04/22 02:46:15 ق.ظ

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$EY\$2	ok (قیمت کل برای هر متر مربع (ریال)	160165	140054

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$L\$2	فاصله بین تیرها (m)	1.57	1.27
\$S\$2	ضخامت دال بتنی (cm)	10.00	9.18
\$Q\$2	عرض ورق تقویتی (cm)	7	0
\$R\$2	ضخامت ورق تقویتی (cm)	0.6	0.0

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$DD\$2	نسبت تنش برشی موجود به مجاز بعد گش ok (kg/cm2)	0.290	\$DD\$2<=1	Not Binding	0.709591935
\$S\$2	ضخامت دال بتنی (cm)	9.18	\$S\$2>=\$EF\$2	Not Binding	1.18
\$DB\$2	نسبت تنش برشی موجود به مجاز قبل گش ok (kg/cm2)	0.15	\$DB\$2<=1	Not Binding	0.854670424
\$BH\$2	نسبت کمانش جانبی قبل گش 50*5	0.95	\$BH\$2<=1	Not Binding	0.05254386
\$BT\$2	نسبت تنش کششی مقطع مرکب ok	0.90	\$BT\$2<=1	Not Binding	0.104746312
\$BW\$2	نسبت تنش کششی مقطع مرکب ok	1.00	\$BW\$2<=1	Binding	0
\$CA\$2	ok Ratio	0.30	\$CA\$2<=1	Not Binding	0.695328197
\$CT\$2	کنترل فرکانس تیر مرکب ok	5.00	\$CT\$2<=10	Not Binding	4.999999838
\$CT\$2	کنترل فرکانس تیر مرکب ok	5.00	\$CT\$2>=5	Binding	0.00
\$M\$2	رعایت نسبت برای دال یک طرفه بودن	4.74	\$M\$2>=2	Not Binding	2.74
\$Q\$2	عرض ورق تقویتی (cm)	0	\$Q\$2<=\$AD\$2-2	Not Binding	0.937057048
\$L\$2	فاصله بین تیرها (m)	1.27	\$L\$2>=0.1	Not Binding	1.17
\$Q\$2	عرض ورق تقویتی (cm)	0	\$Q\$2>=0	Not Binding	0
\$R\$2	ضخامت ورق تقویتی (cm)	0.0	\$R\$2>=0	Binding	0.0

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

Worksheet: [کرومیت.xls]سقف کرومیت

Report Created: 2006/03/01 06:03:51 ق.ظ

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$EL\$2	وزن سقف (kg/m2) ok	589.05	539.70

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$AD\$2	بتنی طول ورق خم شده بالا (cm)	6.00	5.69
\$AE\$2	بتنی ضخامت ورق خم شده بالا (cm)	0.50	0.43
\$AQ\$2	بتنی طول ورق پایین (cm)	10.00	10.00
\$AR\$2	بتنی ضخامت ورق پایین (cm)	1.20	1.20
\$N\$2	ارتفاع تیرچه (m)	0.25	0.2
\$L\$2	فاصله بین تیرچه ها (m)	0.75	0.637806845
\$S\$2	ضخامت دال بتنی (m)	0.060	0.050

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$DK\$2	به تارپاچین بعد گیرش نسبت تنش مقطع نسبت no (cm) بتن	0.56	\$DK\$2<=1	Not Binding	0.437423489
\$CL\$2	قبل گیرش بتن نسبت تنش کشش تیرچه ok	0.98	\$CL\$2<=1	Not Binding	0.020497841
\$AQ\$2	بتنی طول ورق پایین (cm)	10.00	\$AQ\$2>=\$AP\$2	Binding	0.00
\$ED\$2	فرکانس ok	4.999999958	\$ED\$2>=5	Binding	0
\$CV\$2	(نسبت تنش مقطع بالای تیرچه) (اولر) ok	1.00	\$CV\$2<=1	Binding	0
\$DM\$2	نسبت $M(DI)/sbs + M(SDL+LL)/sbc \leq 9fy$ ok	0.67	\$DM\$2<=1	Not Binding	0.326215967
\$S\$2	ضخامت دال بتنی (m)	0.050	\$S\$2>=\$R\$2	Binding	0.000
\$AD\$2	بتنی طول ورق خم شده بالا (cm)	5.69	\$AD\$2>=3	Not Binding	2.69
\$AD\$2	بتنی طول ورق خم شده بالا (cm)	5.69	\$AD\$2<=6	Not Binding	0.312423194
\$AE\$2	بتنی ضخامت ورق خم شده بالا (cm)	0.43	\$AE\$2>=\$AO\$2	Not Binding	0.13
\$AE\$2	بتنی ضخامت ورق خم شده بالا (cm)	0.43	\$AE\$2<=0.5	Not Binding	0.073728379
\$AQ\$2	بتنی طول ورق پایین (cm)	10.00	\$AQ\$2<=16	Not Binding	6
\$AR\$2	بتنی ضخامت ورق پایین (cm)	1.20	\$AR\$2>=\$AO\$2	Not Binding	0.90
\$AR\$2	بتنی ضخامت ورق پایین (cm)	1.20	\$AR\$2<=1.2	Binding	0
\$N\$2	ارتفاع تیرچه (m)	0.2	\$N\$2>=0.2	Binding	0
\$N\$2	ارتفاع تیرچه (m)	0.2	\$N\$2<=0.5	Not Binding	0.3
\$L\$2	فاصله بین تیرچه ها (m)	0.637806845	\$L\$2<=0.75	Not Binding	0.112193155
\$L\$2	فاصله بین تیرچه ها (m)	0.637806845	\$L\$2>=0.5	Not Binding	0.137806845

Microsoft Excel 11.0 Answer Report

Worksheet: [کرومیت.xls]سقف کرومیت

Report Created: 2006/03/01 06:47:06 ق.ظ

Target Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$EV\$2	ok قیمت سقف (ریال / m2)	236721	182888

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$AD\$2	بتنی طول ورق خم شده بالا (cm)	12.00	5.72
\$AE\$2	بتنی ضخامت ورق خم شده بالا (cm)	0.50	0.33
\$AQ\$2	بتنی طول ورق پایین (cm)	10.00	10.00
\$AR\$2	بتنی ضخامت ورق پایین (cm)	1.20	0.49
\$N\$2	ارتفاع تیرچه (m)	0.25	0.284106404
\$L\$2	فاصله بین تیرچه ها (m)	0.75	0.708219468
\$S\$2	ضخامت دال بتنی (m)	0.060	0.051

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
	به تارپاچین بعد گیرش نسبت تنش مقطع نسبت no				
\$DK\$2	بتن (cm)	0.85	\$DK\$2<=1	Not Binding	0.151301817
\$CL\$2	ok قبل گیرش بتن نسبت تنش کشش تیرچه	0.98	\$CL\$2<=1	Not Binding	0.020528564
\$AQ\$2	بتنی طول ورق پایین (cm)	10.00	\$AQ\$2>=\$AP\$2	Binding	0.00
\$ED\$2	ok فرکانس	5.302000817	\$ED\$2>=5	Not Binding	0.302000817
\$CV\$2	ok (نسبت تنش مقطع بالای تیرچه) (اولر)	1.00	\$CV\$2<=1	Binding	0
\$DM\$2	ok نسبت $M(DI)/sbs + M(SDL+LL)/sbc <= .9fy$	1.00	\$DM\$2<=1	Binding	0
\$S\$2	ضخامت دال بتنی (m)	0.051	\$S\$2>=\$R\$2	Binding	0.000
\$AD\$2	بتنی طول ورق خم شده بالا (cm)	5.72	\$AD\$2>=3	Not Binding	2.72
\$AD\$2	بتنی طول ورق خم شده بالا (cm)	5.72	\$AD\$2<=6	Not Binding	0.278704167
\$AE\$2	بتنی ضخامت ورق خم شده بالا (cm)	0.33	\$AE\$2>=\$AO\$2	Not Binding	0.03
\$AE\$2	بتنی ضخامت ورق خم شده بالا (cm)	0.33	\$AE\$2<=0.5	Not Binding	0.174479138
\$AQ\$2	بتنی طول ورق پایین (cm)	10.00	\$AQ\$2<=16	Not Binding	6
\$AR\$2	بتنی ضخامت ورق پایین (cm)	0.49	\$AR\$2>=\$AO\$2	Not Binding	0.19
\$AR\$2	بتنی ضخامت ورق پایین (cm)	0.49	\$AR\$2<=1.2	Not Binding	0.709149608
\$N\$2	ارتفاع تیرچه (m)	0.284106404	\$N\$2>=0.2	Not Binding	0.084106404
\$N\$2	ارتفاع تیرچه (m)	0.284106404	\$N\$2<=0.5	Not Binding	0.215893596
\$L\$2	فاصله بین تیرچه ها (m)	0.708219468	\$L\$2<=0.75	Not Binding	0.041780532
\$L\$2	فاصله بین تیرچه ها (m)	0.708219468	\$L\$2>=0.5	Not Binding	0.208219468

مراجع و ماخذ

مراجع و ماخذ

- [۱] آیین نامه فولاد ایران- مقررات ملی ساختمان ایران ، مبحث ۱۰ ، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی ، دفتر نظام مهندسی ، ۱۳۷۱
- [۲] آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله ، استاندارد ۲۸۰۰ ، ویرایش دوم ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۸۴
- [۳] ایرانی - فریدون ، راهنمای طرح و محاسبه سازه های فولادی ، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد ، ۱۳۸۱
- [۴] پاز- ماریو ، تئوری و روشهای دینامیک سازه ، ترجمه دکتر حسن مقدم و مهندس عباس خواجه کرم الدین ، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، ۱۳۷۴ ، صفحات ۴۲۵ تا ۴۳۷
- [۵] تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود ، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، ۱۳۸۱
- [۶] جداول تیرچه های فولادی باجان باز (کرمیت) ، دفتر فنی شرکت کرمیت پارس ، ۱۳۸۲
- [۷] حبیب الله - اشرف ، طراحی سازه های فولادی با استفاده از نرم افزار ETABS ، ترجمه و تالیف محمد علی برخورداری ، حسن باجی ، جواد هاشمی ، انتشارات سالکان ، ۱۳۸۱
- [۸] دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود ، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، ۱۳۸۱
- [۹] رائو . اس . اس ، بهینه سازی (تئوری و کاربرد) ، ترجمه سید محمد مهدی شهیدی پور ، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد ، ۱۳۷۳ ، جلد اول و دوم
- [۱۰] فصلنامه علمی تخصصی سازمان نظام مهندسی خراسان ، شماره ۲۱ ، بهار ۱۳۸۴ ، صفحات ۲۱ تا ۲۴
- [۱۱] قلی پور - یعقوب ، طراحی سازه های فولادی ، انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۸۳

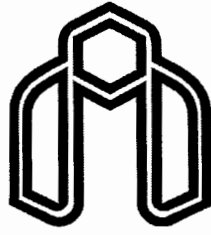
- [۱۲] گلیکسمن - آبراهام ام ، برنامه ریزی خطی و نظریه بازیها ، ترجمه عباس عرب مازار ، انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۶۵
- [۱۳] گس - سل آی ، برنامه ریزی خطی (روشها و کاربرد) ، ترجمه دکتر فائزه توتونیان ، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد ، ۱۳۶۹
- [۱۴] مویدیان- محمد ، ساختمانهای مرکب ، انتشارات پرتو نگار ، ۱۳۸۰
- [۱۵] لوئمبرگر- دیوید جی ، برنامه ریزی خطی و غیر خطی ، ترجمه نظام الدین مهدوی امیر و محمد حسین پورکاظمی ، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف ، ۱۳۷۸ ، صفحات ۴۰۵ تا ۴۵۵
- [۱۶] مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس بین المللی عمران ، جلد دوم صفحات ۴۹۴ تا ۵۰۷ ، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد ، ۱۳۷۹
- [۱۷] نشریه شماره ۸۲ ، راهنمای اجرای سقفهای تیرچه بلوک ، ۱۳۷۵
- [۱۸] نشریه شماره ۹۴ ، تیرچه های پیش ساخته خریائی (مشخصات فنی ، روش طرح و محاسبه به انضمام جدول های محاسبه تیرچه ها) ، دفتر امور فنی و تدوین معیارها ، ۱۳۷۶
- [۱۹] نشریه شماره ۱۵۱ ، راهنمای طراحی و اجرای سقف تیرچه های فولادی با جان باز در ترکیب با بتن ، دفتر امور فنی و تدوین معیارها ، ۱۳۸۱
- [۲۰] نشریه شماره ۵۵ ، مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی ، دفتر امور فنی و تدوین معیارها ، ۱۳۷۷
- [۲۱] نعیم- فرزاد ، طراحی سازه های ضد زلزله ، ترجمه علی شریعتی ، رسول میر قادری ، انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۸۰ ، صفحات ۲۳۳ تا ۲۶۱

Abstract

From the ancient times the necessity of shelter is one of the important worries of men. The roof is the essential part of a building. The roof is the first member of a building that supports external vertical and lateral loads and transmits the loads to other structural elements such as beams and columns. But unfortunately poor notice to roofs causes unpleasant effects such as high defelection, vibration and incorrect transmit of loads and also time consuming of a correct design with the optimized elements will lead to a heavier roof which force extra weight to the building with higher construction cost.

In this research all conventional roofs in Iran have been studied. Due to problems of satisfying all design specifications, regulations and building codes for roofs an algorithm has been developed. For optimizing the roof elements we used a non-linear programming method which solve a complex problems of optimizing the design of roofs with different decision variables and find the optimized design for target functions of weight and cost.

In the end a software for this purpose has been developed and with some examples the application of the method for different roofs has been showed.



Shahrood University of technology

Department of civil engineering

A thesis is for the degree of master of science

(Structural Engineering)

***Optimization and modelling different
kind of ceiling by numerical methods***

Supervisor :

Dr . Reza . Naderi

By :

Ezzat . Shoja . yami

May 2006