

## بهینه‌سازی هزینه سقف مرکب با تیر فولادی I شکل

حمید یدالهی<sup>۱</sup>، محمد زمان کبیر<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

E-mail: hmd\_yadollahi@yahoo.com

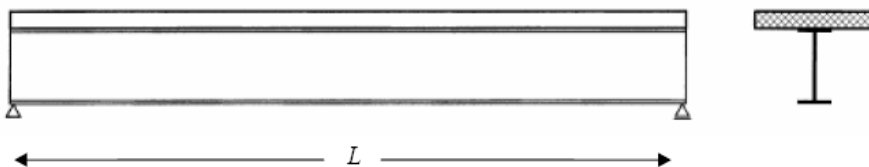
### خلاصه

در این مقاله به بهینه‌سازی هزینه سقف مرکب با تیر فولادی I شکل جوش شده، پرداخته شده و تیرهای دوسر ساده تحت بار گسترده یکنواخت با دهانه‌های مختلف بررسی می‌گردد. تیر مرکب طبق آیین‌نامه بتن ایران و آیین‌نامه فولاد ایران طرح گردیده و کمینه‌سازی هزینه توسط روش تابع جریمه داخلی انجام می‌شود. تابع هدف شامل هزینه‌های مصالح و نیروی انسانی است. قیدهای مسئله شامل قیود طراحی و اجرایی می‌باشد. مجهولات شامل ضخامت و آرماتور دال و ابعاد تیر فولادی است. نتایج حاصله از کمینه‌سازی با هم مقایسه شده و هزینه هر بخش از تابع هدف نسبت به هزینه کل بیان می‌گردد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی هزینه، سقف کامپوزیت، تیر فولادی، تابع جریمه داخلی.

### مقدمه

توسط اتصالات برشی می‌توان پوشش بتنی را به بال فوقانی تیرها و شاهتیرهای فلزی یکپارچه نمود این عمل موجب می‌شود که پوشش بتنی با تیر فولادی تشکیل تیر مرکبی بدهد که دارای سختی و مقاومت بیشتری نسبت به تیر فولادی تنها می‌باشد. پوشش بتنی در این حالت جزئی از بال فشاری شده و در نتیجه تارخنتی مقطع به طرف بالا حرکت می‌کند و ظرفیت کششی پایین تارخنتی افزایش می‌یابد، چنین طراحی باعث کاهش سطح مقطع تیر فولادی می‌شود و چون پوشش بتنی به منزله سقف عمل می‌نماید، تنها اتصالات برشی مقداری اضافه هزینه تولید می‌کنند [1]. مزایای نیمرخ مرکب شامل کاهش مصرف فولاد، کاهش در ارتفاع نیمرخ فولادی، افزایش سختی سیستم کف، افزایش در طول دهانه قابل استفاده برای یک نیمرخ مشخص و افزایش ظرفیت باربری نهایی نسبت به حالت دال و تیر مجزا می‌باشد. معایب نیمرخ مرکب شامل تغییر شکل‌های دراز مدت به علت پدیده خزش در بتن فشاری و عملکرد غیر مرکب در نواحی لنگر منفی تیرهای یکسره می‌باشد. در این پروژه کمینه‌سازی هزینه برای تیرهای مرکب دوسر ساده با دهانه‌های مختلف برای بار گسترده انجام شده است (شکل ۱). تیرهای مرکب I شکل شامل تیرهای فولادی ساخته شده با دو محور تقارن با استفاده از پلیت‌ها و یک دال بتنی رویه یک طرفه می‌باشند که توسط برشگیرهایی به هم متصل شده‌اند (شکل ۲). با وجود اینکه مقاطع I شکل استاندارد بطور وسیعی برای تیرهای مرکب نسبت به مقاطع جوش داده و ساخته شده در کارگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد در این مقاله بر روی مقاطع جوش داده و ساخته شده در کارگاه تمرکز شده که آزادی عمل بیشتری دارد و محاسبات بهینه‌سازی و مقایسه یکنواختی را برای دهانه‌های مختلف ارائه می‌دهد. در این تحقیق ضخامت و آرماتور دال و ابعاد تیر فولادی متغیر می‌باشد [2].

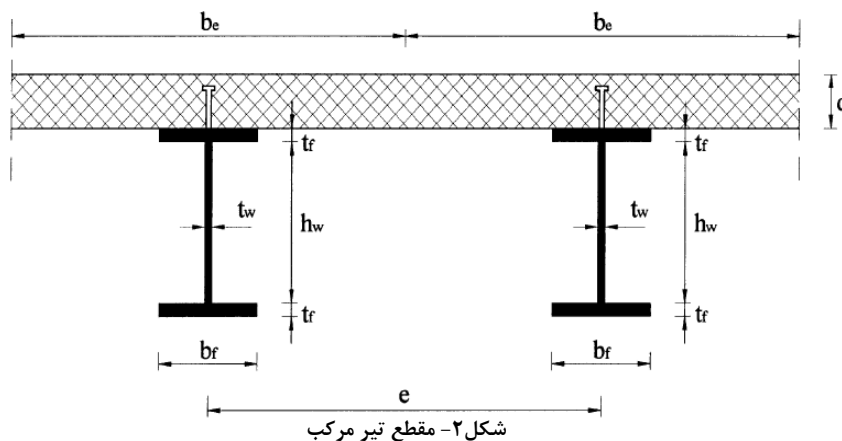


شکل ۱- تیر مرکب

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانشیار گروه سازه و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران.

برای بهینه سازی از روش تابع جریمه داخلی استفاده شده است و نتایج نه تنها کمینه است بلکه قیدهای مختلف طراحی شامل تغییر شکل، تنش ها و قیود اجرایی و قیود شکل را مطابق با آیین نامه بتن و فولاد ایران ارضاء می نماید. هر مسئله به دو روش حل شده یکبار برای زمانی که تارخنتی تیر مرکب در مقطع فولادی باشد و بار دیگر زمانی که تارخنتی در دال بتنی باشد. نتایج حاصله از کمینه سازی با هم مقایسه شده و هزینه هر بخش از تابع هدف نسبت به هزینه کل بیان می گردد.



### مشخصات مصالح

مشخصات مصالح مورد استفاده در بهینه سازی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات مصالح مورد استفاده در بهینه سازی

مقدار	مشخصه مصالح
$300 \text{ kg/cm}^2$	مقاومت فشاری بتن
$4000 \text{ kg/cm}^2$	تنش تسلیم آرماتور دال
$2000000 \text{ kg/cm}^2$	مدول الاستیسیته آرماتور دال
$2400 \text{ kg/cm}^2$	تنش تسلیم صفحه فولادی
$2100000 \text{ kg/cm}^2$	مدول الاستیسیته صفحه فولادی
2670 kg	نیروی برشی افقی مجاز برشگیر (ناودانی 80 به طول 3 cm)
$0.007850 \text{ kg/cm}^3$	وزن مخصوص فولاد

### فرمولبندی

تابع هدف شامل هزینه مصالح و نیروی انسانی بوده و هزینه واحد سطح سقف مرکب را ارائه می دهد [2]، [3]. مقادیر پارامترهای تابع هدف در جدول ۲ و شرح سایر پارامترها در ادامه آمده است. مجهولات مسئله عبارت است از:  $h_w, t_w, b_f, t_f, A_{ns}, A_{ps}, d$

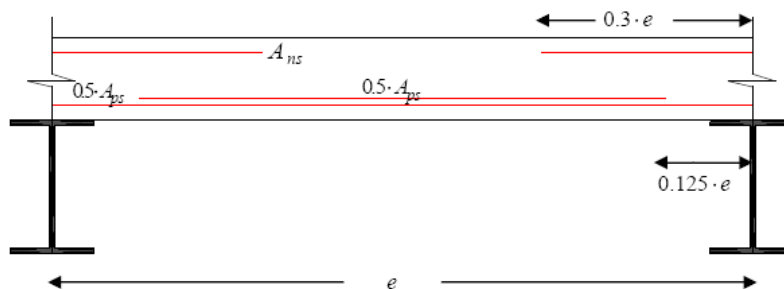
$$\text{COST} = (C_c \cdot V_c + (C_s + C_{ac}) \cdot \rho_s \cdot V_s + C_r \cdot \rho_s \cdot V_r + C_{st} \cdot n_{st} + C_p \cdot e \cdot L) / (e \cdot L) \quad (1)$$

که  $V_c, V_s, V_r, n_{st}, A_{ps}, A_{ns}$  و  $\rho_s$  به ترتیب حجم بتن دال، حجم تیر فولادی، حجم آرماتور دال، تعداد برشگیر، سطح مقطع آرماتور در ناحیه ممان مثبت، سطح مقطع آرماتور در ناحیه ممان منفی و وزن مخصوص فولاد می باشند. سایر مجهولات در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ - مقادیر پارامترهای تابع هدف

واحد	مقدار هزینه	متغیر	نوع پارامتر
تومان بر سانتی متر مکعب	0.031787	$C_c$	هزینه مصالح و اجرای بتن دال
تومان بر کیلوگرم	857	$C_s$	هزینه مصالح، ساخت و اجرا برای فولاد ساختمانی
تومان بر کیلوگرم	718	$C_r$	هزینه مصالح و نصب آرماتور دال
تومان	394	$C_{st}$	هزینه هر قطعه گل میخ
تومان بر کیلوگرم	21	$C_{\partial c}$	هزینه ضد زنگ
تومان بر سانتی متر مربع	0.4700	$C_p$	هزینه قالببندی

در شکل ۳ نحوه قرارگیری آرماتور اصلی در دال نشان داده شده است [4]. آرماتورهای حرارتی عمود بر آرماتورهای اصلی طولی قرار می گیرند.



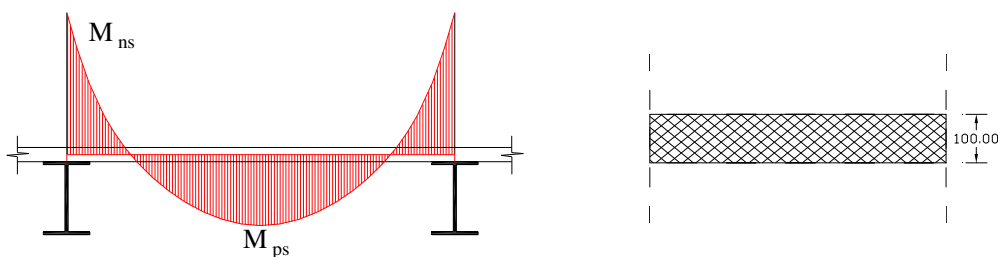
شکل ۳ - آرماتور گذاری دال

#### قیود طراحی دال

دال بتنی یکطرفه بوده و میلگردها در جهت عمود بر محور طولی تیر قرار می گیرند. طراحی دال برای نواری از دال به عرض 100 cm انجام شده است (شکل ۴). مقادیر بار مرده و زنده عبارت است از:

$$w_D = \text{دال} + \text{قالببندی} + \text{تیر} + \text{کف سازی و تیغه بندی} = (0.025 + \frac{0.00785A_s}{e} + 0.004 + 0.0024d) \text{ kg/cm}^2$$

$$w_L = 0.05 \text{ kg/cm}^2$$



شکل ۴ - جزئیات طراحی دال

طراحی خمش دال :

$$M_{nr} \geq M_{ns} \quad (2)$$

$$M_{pr} \geq M_{ps} \quad (3)$$

$$A_{ns} \leq A_{s \max} \quad (4)$$

$$A_{ns} \geq 0.002 \cdot 100 \cdot d \quad (5)$$

$$A_{ps} \leq A_{s \max} \quad (6)$$

$$A_{ps} \geq 0.002 \cdot 100 \cdot d \quad (7)$$

طراحی برش دال [5]:

$$V_{cr} \geq V_{us} \quad (8)$$

که  $V_{cr}$  ،  $V_{us}$  ،  $A_{smax}$  ،  $M_{pr}$  ،  $M_{ps}$  ،  $M_{nr}$  ،  $M_{ns}$  ،  $w_L$  ،  $w_D$  به ترتیب بار مرده کف، بار زنده، ممان منفی حداکثر در دال، ممان منفی مقاوم در دال، ممان مثبت حداکثر در دال، ممان مثبت مقاوم در دال، آرماتور فولادی حداکثر، برش حداکثر در دال و برش مقاوم در دال می باشند.

#### قیود طراحی تیر فولادی

برای اینکه تیر لاغر نباشد [6]:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \quad , \quad F_b = 0.66F_y \quad (9)$$

که  $F_y$  تنش تسلیم صفحه فولادی می باشد.

طراحی برش تیر فولادی:

برای اینکه به جای کماتش معیار تسلیم کنترل کننده طرح باشد و بتوان از تنش مجاز برشی  $0.4 \cdot F_y$  استفاده نمود [6].

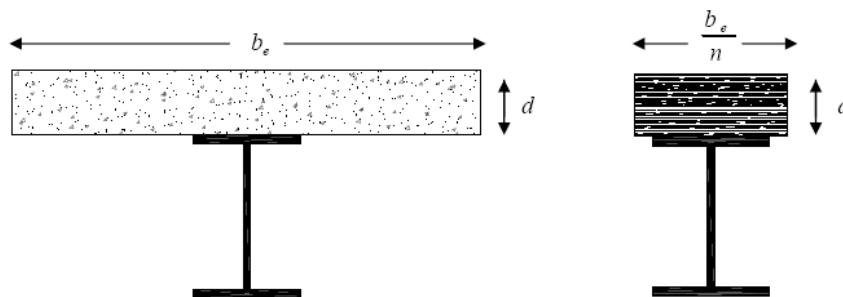
$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_y}} \quad (10)$$

$$f_v = \frac{V}{d \cdot t_w} \leq 0.4 \cdot F_y \quad (11)$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 260 \quad (12)$$

#### طراحی خمش تیر مرکب

محاسبات خمش تیر با تبدیل قسمت بتنی به فولاد انجام شده است (شکل ۵).



شکل ۵- تبدیل مقطع تیر مرکب

$$b_e = \min\{L/4, e\} \quad (13)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{132.8}{\sqrt{f_c}} \quad (14)$$

مسئله در دو حالت باید بررسی شود حالت اول زمانی که تار خنثی در دال باشد و حالت دوم زمانی که تار خنثی در ارتفاع تیر فولادی باشد.

$$h_w + 2t_f - c_t < 0 \quad (15)$$

$$c_t - (h_w + 2t_f) \leq 0 \quad (16)$$

کنترل تنش خمشی در قسمت کششی (تیر فولادی):

$$f_{bt} = \frac{M_U \cdot c_t}{I} \leq F_b = 0.66F_y \quad (17)$$

کنترل تنش خمشی در قسمت فشاری (بتن):

$$f_{bc} = \frac{M_U \cdot c_c}{I \cdot n} \leq 0.45f_c \quad (18)$$



قیود مقطع فشرده [6]:

$$\frac{b_f}{2t_f} < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad (19)$$

$$\frac{h_w + 2t_f}{t_w} < \frac{5365}{\sqrt{F_y}} \quad (20)$$

که متغیرهای  $b_e$ ،  $E_s$ ،  $E_c$ ،  $n$ ،  $c_t$ ،  $I$ ،  $M_U$ ،  $c_c$  و  $f_c$  به ترتیب عرض موثر دال بتنی، مدول الاستیسیته صفحه فولادی، مدول الاستیسیته بتن، نسبت الاستیسیته، فاصله تار خنثی از دورترین تار کششی، لنگر خمشی حداکثر در تیر مرکب، ممان اینرسی مقطع مرکب، فاصله تار خنثی از دورترین تار فشاری و مقاومت فشاری بتن می باشند.

### قید کنترل خیز

با فرض اینکه در حین اجرا از پایه های موقت استفاده شود تغییر شکل کل نیمرخ مرکب برابر مجموع دو مقدار ذیل می باشد [1].

۱- تغییر شکل حداکثر نیمرخ مرکب با نسبت الاستیسیته  $3 \cdot n$  تحت اثر بارهای مرده

$$n' = 3 \cdot n \rightarrow c'_t, I' \rightarrow \Delta_{DL} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_D \cdot e \cdot L^4}{E_s \cdot I'} \quad (21)$$

۲- تغییر شکل حداکثر نیمرخ مرکب با نسبت الاستیسیته  $n$  تحت اثر بارهای زنده

$$n' = n \rightarrow c_t, I \rightarrow \Delta_{LL} = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_L \cdot e \cdot L^4}{E_s \cdot I} \quad (22)$$

$$\Delta_{LL} + \Delta_{DL} \leq \frac{L}{240} \quad (23)$$

که  $c'_t$ ،  $I'$ ،  $\Delta_{DL}$  و  $\Delta_{LL}$  به ترتیب فاصله تار خنثی از دورترین تار کششی با نسبت الاستیسیته  $3n$ ، ممان اینرسی با نسبت الاستیسیته  $3n$ ، تغییر شکل نیمرخ مرکب تحت اثر بارهای مرده و تغییر شکل نیمرخ مرکب تحت اثر بارهای زنده می باشند.

### قیود اجرایی و قیود شکل

$$\max\left\{10, \frac{e}{28} \cdot \left(0.4 + \frac{f_y}{6700}\right)\right\} \leq d \leq 20 \text{ cm} \quad (24)$$

$$b_f \geq 6 \text{ cm} \quad (25)$$

$$0.5 \cdot h_w \leq b_f \leq h_w \quad (26)$$

$$0.5 \cdot t_f \leq t_w \leq 2 \cdot t_f \quad (27)$$

$$t_f > 0 \quad (28)$$

که  $f_y$  تنش تسلیم آرماتور فولادی است.

### پروسه حل

حل در نرم افزار Mathematica انجام گرفت بدین طریق که توابع هدف و قیود برای مسئله مورد نظر با جایگذاری مقادیر معلوم ساده گردید. سپس کمینه سازی تابع جریمه داخلی اعمال شد. فرمول تابع جریمه نوشته شد، به طوری که پارامتر  $r$  و مقادیر اولیه متغیرها، به صورت قابل تغییر در هر تکرار اعمال گردید و سپس مقادیر قیود پس از هر کمینه سازی تابع جریمه چک شد. هر مسئله دو بار حل شد یکبار برای موردی که تار خنثی مقطع مرکب در دال باشد و بار دوم در موردی که تار خنثی مقطع مرکب در تیر فولادی باشد. فرمول تابع جریمه داخلی عبارت است از:

$$\text{PENALTY} = \text{Cost} - r \sum \frac{1}{\text{Constraint}} \quad , \quad \text{Constraint} < 0 \quad (29)$$

برای شروع عملیات کمینه سازی ابتدا مقادیر امکانپذیر متغیرها در قیود قرار می گرفت و قیود چک می شد (شرط لازم برای شروع بهینه سازی در روش تابع جریمه داخلی). پس از آن به متغیر  $r$  مقداری تقریباً بزرگ داده می شد و تابع جریمه با مقادیر اولیه امکانپذیر کمینه می گشت سپس مقادیر بهینه در قیودها قرار می گرفت تا قیودها چک شوند و این مقادیر به عنوان مقادیر اولیه گام بعدی مورد استفاده قرار می گرفت و متغیر  $r$  کاهش داده می شد و فرایند تکرار می گشت تا جایی که تغییر قابل ملاحظه ای در متغیرها اعمال نگردد و یا اینکه قیدی نقض شود.



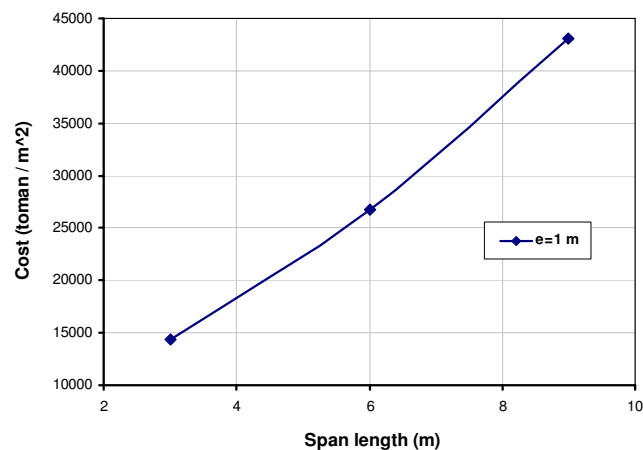
## نتایج

نتایج حاصل از بهینه سازی و طراحی متغیرها در جدول ۳ آمده است. در اکثر موارد زمانی مقدار کمینه هزینه حاصل شد که تار خنثی مقطع مرکب در دال قرار گیرد که این امر به دلیل ارزانتر بودن قیمت بتن در برابر قیمت فولاد است و زمانی تار خنثی در دال قرار می گیرد که ضخامت آن زیاد باشد. مسئله اول ( $L = 9 \text{ m}$ ,  $e = 3 \text{ m}$ ) زمانی به مقدار کمینه رسید که معادلات 17، 7 و 5 به طور همزمان فعال شد. مسئله دوم ( $L = 9 \text{ m}$ ,  $e = 2 \text{ m}$ ) زمانی به مقدار کمینه رسید که معادلات 11، 7 و 5 به طور همزمان فعال شد. مسئله سوم ( $L = 9 \text{ m}$ ,  $e = 1 \text{ m}$ ) زمانی به مقدار کمینه رسید که معادلات 16، 19، 7 و 5 فعال شد. مسئله چهارم ( $L = 6 \text{ m}$ ,  $e = 3 \text{ m}$ ) زمانی به مقدار کمینه رسید که معادلات 17، 7 و 5 به طور همزمان فعال شد. مسئله پنجم ( $L = 6 \text{ m}$ ,  $e = 2 \text{ m}$ ) زمانی به مقدار کمینه رسید که معادلات 17، 7 و 5 به طور همزمان فعال شد. مسئله ششم ( $L = 6 \text{ m}$ ,  $e = 1 \text{ m}$ ) زمانی به مقدار کمینه رسید که معادلات 19، 7 و 24 به طور همزمان فعال شد.

جدول ۳- نتایج حاصل از بهینه سازی

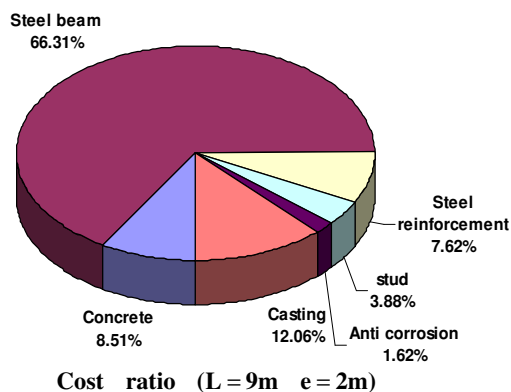
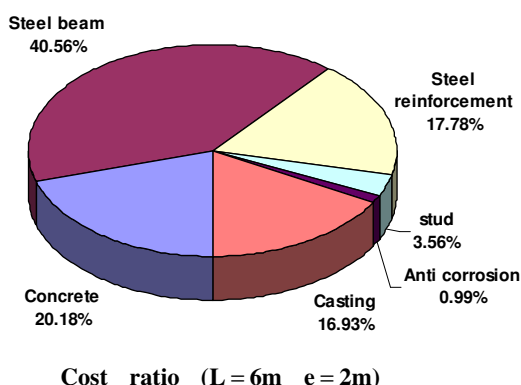
Type of problem	$A_{ns}$ (cm)	$A_{ps}$ (cm)	$d$ (cm)	$h_w$ (cm)	$t_w$ (cm)	$b_f$ (cm)	$t_f$ (cm)	COST (toman/cm <sup>2</sup> )	PENALTY
L = 9 m, e = 3 m, N.A. in slab	2.87	2.86	14.22	39.50	1.17	21.86	1.20	3.6983	3.7001
L = 9 m, e = 2 m, N.A. in steel	2.16	2.15	10.44	38.24	0.96	20.18	0.99	3.8982	3.9039
L = 9 m, e = 1 m, N.A. in steel	2.12	2.11	10.46	30.91	0.63	16.44	0.74	4.3027	4.3045
L = 6 m, e = 3 m, N.A. in slab	2.75	2.75	13.67	23.72	1.09	13.44	1.15	2.7042	2.7058
L = 6 m, e = 2 m, N.A. in slab	3.55	3.55	17.63	13.34	1.09	9.17	1.03	2.7765	2.7783
L = 6 m, e = 1 m, N.A. in slab	3.22	3.22	15.99	10.80	0.68	7.61	0.62	2.6793	2.6811
L = 3 m, e = 1 m, N.A. in slab	2.09	2.08	10.06	6.44	0.14	6.32	0.28	1.4394	1.4445

نمودار هزینه در برابر طول های مختلف دهانه در شکل ۶ آمده است که نشان دهنده رابطه خطی حداقل هزینه با افزایش طول دهانه است. همچنین با عرض ثابت و افزایش طول دهانه مقدار هزینه کل بر واحد سطح افزایش می یابد.



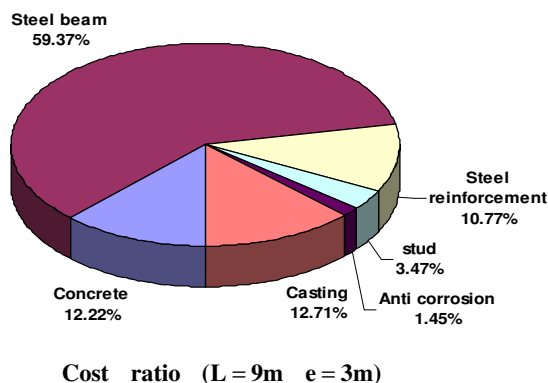
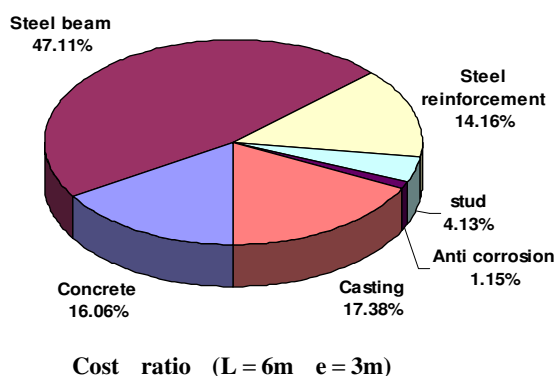
شکل ۶- نمودار هزینه در برابر طول های مختلف دهانه در عرض ثابت 1 m

در شکل ۷ هزینه هر بخش از تابع هدف بر حسب درصد از هزینه کل برای عرض ثابت 2 m و طول دهانه متفاوت آمده است. اگرچه هزینه کل برای طول دهانه 9 m بیشتر از دهانه 6m است اما توسط مقایسه شکل ۷ به این نتیجه می رسیم که با عرض ثابت 2 m و افزایش طول دهانه هزینه بتن، آرماتور و قالب بندی نسبت به هزینه کل کاهش می یابد اما هزینه تیر فولادی، برشگیر و ضدزنگ نسبت به هزینه کل افزایش می یابد.



شکل ۷- هزینه هر بخش از تابع هدف بر حسب درصد از هزینه کل برای عرض ثابت 2 m و طول دهانه متفاوت

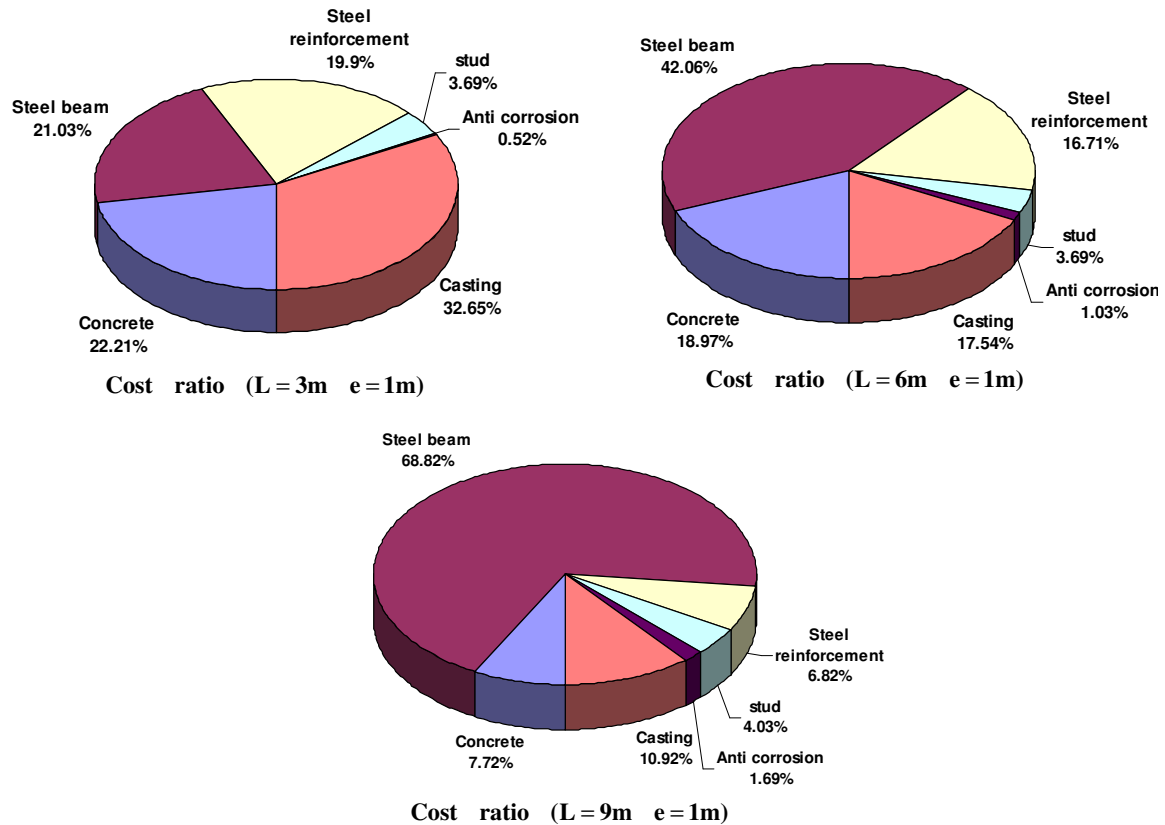
در شکل ۸ هزینه هر بخش از تابع هدف بر حسب درصد از هزینه کل برای عرض ثابت 3 m و طول دهانه متفاوت آمده است. با توجه به اینکه در عرض 3 m هزینه کل برای طول دهانه 9 m بیشتر از 6 m است اما توسط مقایسه شکل ۸ به این نتیجه می‌رسیم که با افزایش طول دهانه هزینه بتن، آرماتور، برشگیر و قالب بندی نسبت به هزینه کل کاهش می‌یابد اما هزینه تیر فولادی و ضدزنگ نسبت به هزینه کل افزایش می‌یابد. همچنین با مقایسه هزینه کل مربوط به شکل ۷ و ۸ هرچه عرض بیشتر شده است اختلاف بین هزینه های کل در واحد سطح کاهش یافته است. به عنوان نمونه اختلاف هزینه کل بین نمودارهای موجود در شکل ۸ کمتر از شکل ۷ است.



شکل ۸- هزینه هر بخش از تابع هدف بر حسب درصد از هزینه کل برای عرض ثابت 3 m و طول دهانه متفاوت

در شکل ۹ هزینه هر بخش از تابع هدف بر حسب درصد از هزینه کل برای عرض ثابت 1 m و طول دهانه متفاوت آمده است. توسط مقایسه نمودارهای نسبت هزینه در شکل ۹ به این نتیجه می‌رسیم که با افزایش طول دهانه هزینه تیر فولادی، برشگیر و ضد زنگ نسبت به هزینه کل افزایش یافته و هزینه آرماتور فولادی، قالب بندی و ساخت و اجرای بتن کاهش می‌یابد. همچنین در دهانه های کوچک هزینه ساخت و اجرای بتن بیشترین درصد از هزینه کل را شامل می‌شود که با افزایش طول دهانه، تیر فولادی بیشترین هزینه را به خود اختصاص خواهد داد. کمترین هزینه مربوط به ضد زنگ و برشگیر می‌باشد.

با طول دهانه یکسان و افزایش عرض و در پی آن افزایش  $be$  هزینه کل افزایش می‌یابد. اما نسبت هزینه بدین صورت است که هزینه بتن و آرماتور فولادی نسبت به هزینه کل افزایش یافته و هزینه تیر فولادی، برشگیر و ضد زنگ کاهش می‌یابد. هزینه قالب بندی بستگی به طول دهانه دارد به طوری که در دهانه 9 m با افزایش عرض هزینه قالب بندی افزایش یافته است اما در دهانه 6 m کاهش یافته است. در نهایت در طول دهانه یکسان با ثابت ماندن  $be$  ثابت و افزایش عرض (در مسائل  $(L = 6 m, e = 2 m)$  و  $(L = 6 m, e = 3 m)$ ) هزینه کل کاهش می‌یابد. علت این امر این است که به دلیل ثابت بودن  $be$  در روابط طراحی تغییرات چندانی ایجاد نمی‌گردد و هرچه عرض بیشتر شود در فرمول هزینه مقدار سطح بیشتر شده و هزینه کل بر واحد سطح افزایش می‌یابد. نسبت هزینه بدین صورت است که هزینه بتن و آرماتور فولادی نسبت به هزینه کل کاهش یافته و هزینه تیر فولادی، برشگیر، ضد زنگ و قالب بندی افزایش می‌یابد.



شکل ۹- هزینه هر بخش از تابع هدف بر حسب درصد از هزینه کل برای عرض ثابت 1 m و طول دهانه متفاوت

### نتیجه گیری

- با توجه به مقایسه های فوق نتایج زیر به دست می آید.
- ۱- به دلیل ارزانتر بودن قیمت بتن در برابر قیمت فولاد در اکثر موارد زمانی مقدار هزینه حداقل می شود که تار خنثی مقطع مرکب در دال قرار گیرد.
  - ۲- نمودار هزینه در برابر طول های مختلف دهانه نشان دهنده رابطه خطی حداقل هزینه با افزایش طول دهانه است. همچنین با عرض ثابت و افزایش طول دهانه مقدار هزینه کل بر واحد سطح افزایش می یابد.
  - ۳- با عرض ثابت و افزایش طول دهانه هزینه بتن، آرماتور و قالب بندی نسبت به هزینه کل کاهش یافته اما هزینه تیر فولادی و ضدزنگ نسبت به هزینه کل افزایش می یابد.
  - ۴- در دهانه های کوچک هزینه ساخت و اجرای بتن بیشترین درصد از هزینه کل را شامل می شود. با افزایش طول دهانه، تیر فولادی بیشترین هزینه را به خود اختصاص خواهد داد. کمترین هزینه مربوط به ضد زنگ و برشگیر می باشد.
  - ۵- با طول دهانه یکسان و افزایش عرض و در پی آن افزایش  $be$  هزینه کل افزایش می یابد. اما، در طول دهانه یکسان با ثابت ماندن  $be$  و افزایش عرض هزینه کل کاهش می یابد.

### مراجع

1. طاحونی، شاپور. (۱۳۸۲) طراحی سازه های فولادی بر مبنای آیین نامه فولاد ایران. چاپ ششم، علم و ادب، تهران، ایران.
2. Kravanja, S. and Silih, S. (2003) Optimization based comparison between composite I beams and composite trusses. *Journal of Constructional Steel Research*, 59, 609-625.
3. Klansek, U. and Kravanja, S. (2006) Cost estimation, optimization and competitiveness of different composite floor systems – part 1 : Self-Manufacturing cost estimation of composite and steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 434-448.
4. طاحونی، شاپور. (۱۳۸۲) طراحی ساختمانهای بتن مسلح بر مبنای آیین نامه بتن ایران. چاپ ششم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
5. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۲) آیین نامه بتن ایران (آبا). تهران، ایران.
6. مقررات ملی ساختمانی ایران (۱۳۸۰) مبحث ۱۰: طرح و اجرای ساختمانهای فولادی. تهران، ایران.