# ((جدول تیرهای ماهیچه‌ای با مقطع I))

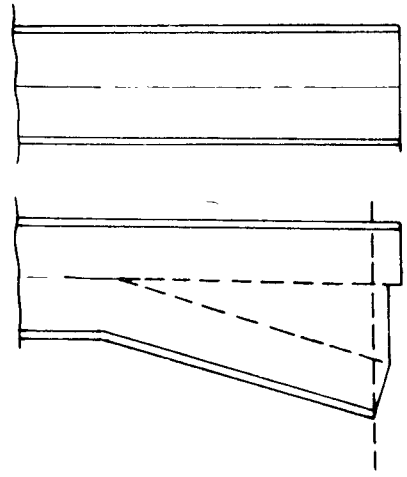
تهیه کننده :

خسرو رحیم قشقائی

دانشجوی فوق لیسانس ساختمان

در اکثر تیرهای قابهای ساختمانی بخصوص هنگامیکه اثر باد و زلزله نیز در نظر گرفته شود لنگرهای انتهائی ازلنگر ماکزیم وسط دهنه بیشتر میگردد. لذا برای صرفه‌جوئی درمصالح ، این‌قبیل تیرها را ماهیچه‌دار طرح مینمایند. در مورد ساختمانهای بتنی که مقاطع تیرها مربع مستطیل است بکمک جداولی که برای تیرهای ماهیچه‌ای با مقطع مربع مستطیل موجود است میتوان این نوع تیرها را طرح کرد. لیکن در مورد ساختمانهای فلزی که مقاطع عموماً بصورت I میباشد چنین جداولی بخصوص در سیستم متریک موجود نیست. باینجهت با استفاده از ضرائب معادلات برس (Bress) برای تیرهای ماهیچه‌ای با مقطع I جدولی تهیه گردیده است که بکمک آن بسهولت میتوان تیرهای ماهیچه‌ای را طرح کرد.

یکی از طرق ایجاد ماهیچه آنستکه در تیرهای I در طول معینی از انتهای آن در امتداد محور جان آنرا مطابق (شکل ۱) بریده نیمه پائین را کج کرده و یک ورق فلزی بضخامت جان تیر را که قبلاً

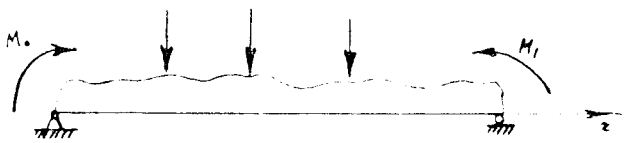


(شکل ۱)

بصورت مثلثی باابعاد حساب شده بریده‌اند درشکاف قرار داده وآنرا بطور کاملاً مطمئنی به تیر جوش‌میکنند قسمت اضافی را بریده و تیر را بصورت نهائی ماهیچه‌ای در میآورند.

براساس این طرز ساختمان تیرهای ماهیچه‌ای I است که این‌جدول تهیه شده است. دراین‌جدول ضرایب سختی و ضرائب انتقال و ضرائب لنگرگیرداری برای بارگسترده و بار متمرکز در نقاط مختلف تیر داده شده است تابتوان بکمک این ضرائب و بکمک روشهای مختلف تجزیه وتحلیل قابها (کراس، کانی و تاکابایا) قاب را بطور دقیقی‌حل کرد.

در ذیل خلاصه‌ای از طرز محاسبهٔ ضرائب فوق تشریح میگردد :




(شکل ۲)

شکل کلی معادلات برس برای یک تیرتحت اثر بارهای قائم و دولنگر انتهائی $M_1$ و $M_0$ بصورت زیر است :

$$(1)\qquad \begin{cases} \omega_0 = \omega'_0 - aM_0 - bM_1 \\ \omega_1 = \omega'_1 + bM_0 + CM_1 \end{cases}$$

که در آن $\omega'_0$ و $\omega'_1$ زوایای دوران دو انتهای تیر تحت اثر بارهای قائم و $\omega_0$ و $\omega_1$ زاویه دوران کلی دو انتهای تیر تحت اثر بارهای قائم و لنگرهای انتهائی $M_0$ و $M_1$ است a و b و c نیز ضرائب معادلات برس میباشند که تنها بستگی به شکل هندسی تیر داشته و مستقل از نوع بارگذاری میباشند و بشرح زیراند :

$$(2)\qquad \begin{cases} a = \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \frac{dx}{EIx} \\ b = \int_0^l \frac{x}{l}\left(1 - \frac{x}{l}\right)\frac{dx}{EIx} \\ c = \int_0^l \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{dx}{EIx} \end{cases}$$

و مقادیر $\omega'_0$ و $\omega'_1$ برحسب لنگر خمشی ناشی از بارهای قائم $M(x)$ بعبارات زیر خواهند بود :

$$(3)\qquad \begin{cases} \omega'_0 = -\int_0^l M(x)\left(1 - \frac{x}{l}\right)\frac{dx}{EIx} \\ \omega'_1 = \int_0^l M(x)\frac{x}{l}\frac{dx}{EIx} \end{cases}$$

**محاسبهٔ ضرائب تیر ماهیچه‌دار-** طبق تعریف ، ضریب سختی یک عضو ساختمانی (تیریاستون) بقرار زیر است :

اگرعضو را بصورت یک طرف گیردار ویکطرف روی‌تکیه گاه ساده وبدون بار درنظربگیریم، ضریب سختی درانتهای‌مفصلی تیرعبارتست ازمقدار لنگری که لازمست دراین تکیه گاه تیر وارد کنیم تا درآن ایجاد دورانی برابر واحد نماید.

همینطور ضریب انتقال دراین تیر عبارتست از نسبت لنگری که درطرف گیردار ایجاد میشود به لنگری که درطرف مفصلی وارد گردیده است.

برای محاسبهٔ ضرائب فوق تیررا در حالت کلی که‌متقارن نباشد درنظرمیگیریم. پس تیرماهیچه‌ای AB که نا متقارن است دارای دو ضریب سختی $K_{AB}$ و $K_{BA}$ و دو ضریب انتقال $C_{AB}$ و $C_{AB}$ خواهد بود که برای محاسبهٔ آنها باید یکبار A را گیردار فرض کنیم و یکبار B را و بترتیب زیر محاسبه انجام میشود :

(شکل ۳)

الف ـ A گیردار و B روی تکیه گاه ساده است: طبق معادلات برس داریم :

$$\begin{cases} \omega_A = \omega'_A - aM_A - bM_B \\ \omega_B = \omega'_B + bM_A + cM_B \end{cases} \qquad (٤)$$

اما با در نظر گرفتن شرایط حدی داریم :

$$\begin{cases} \omega_A = o \\ \omega'_A = \omega'_B = o \end{cases}$$

و چون این مقادیر را در معادلهٔ (٤) ببریم نتیجه میشود :

$$\begin{cases} -aM_A - bM_B = o \\ \omega_B = bM_A + cM_B \end{cases}$$

لذا از روابط فوق میتوان نتیجه گرفت که :

$$\begin{cases} M_A = -\dfrac{b}{a} M_B \\ \omega_B = -\dfrac{b^2}{a} M_B + cM_B = \dfrac{ac - b^2}{a} M_B \end{cases}$$

و اگر $\omega_B$ برابر واحد باشد داریم :

$$M_B = \frac{a}{ac-b^2}$$

پس ملاحظه میشود که طبق تعاریف اولیه داریم :

$$(٥) \qquad \begin{cases} C_{BA} = -\dfrac{b}{a} \\ K_{BA} = \dfrac{a}{ac-b^2} \end{cases}$$

ب ـ B گیردار و A روی تکیه گاه ساده باشد :

(شکل ٤)

شرایط حدس برای معادلات برس میشود :

$$\begin{cases} \omega_B = 0 \\ \omega'_A = \omega'_B = 0 \end{cases}$$

لذا با استفاده از روابط (٤) نتیجه میشود :

$$\begin{cases} \omega_A = -aM_A - bM_B \\ bM_A + cM_B = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_B = -\dfrac{b}{c} M_A \\ \omega_A = -a M_A + \dfrac{b^2}{c} M_A = \dfrac{b^2-ac}{c} M_A \end{cases}$$

و برای اینکه $\omega_A$ برابر دوران واحد در جهت عقربه های ساعت باشد باید داشته باشیم :

$$M_A = \frac{c}{ac-b^2}$$

لذا طبق تعاریف داریم :

$$(٦) \qquad \begin{cases} K_{AB} = \dfrac{c}{ac-b^2} \\ C_{AB} = -\dfrac{b}{c} \end{cases}$$

چنانچه تیر دوسر گیردار باشد بااستفاده از معادلات برس لنگرهای گیرداری بشرح زیر نوشته میشوند:

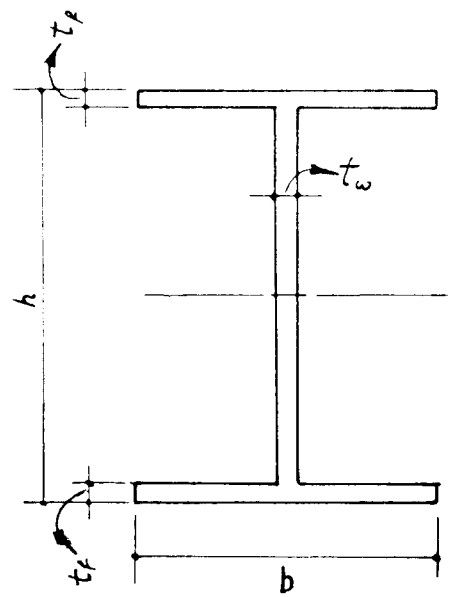
$$\begin{cases} M_{AB} = -\dfrac{b\omega'_1 + c\omega'_0}{b^2 - a.c} \\ M_{BA} = \dfrac{a\omega'_1 + b.\omega'_0}{b^2 - a.c} \end{cases} \qquad (۷)$$

ملاحظه‌میشود که برای محاسبهٔ ضرائب انتقال، سختی ولنگرهای گیرداری احتیاج به‌محاسبهٔ aوbوcوω'₀وω'₁ است. و برای محاسبهٔ a و b و c و ω'₀ و ω'₁ چنانچه قبلاً بیان شد باید تغییرات I (لنگر ماند مقطع) درطول تیر مشخص باشد تا بتوان انتگرالهای مربوطه را حساب کرد.

بمنظور تعیین معادلهٔ این تغییرات در تیرهای I با ماهیچهٔ مثلثی چنین عمل میکنیم :

برای یک مقطع I با مشخصات (شکل ٥) میتوان نوشت :

$$I = \frac{t\omega(h - 2t_f)^3}{12} + 2 \times \frac{bt_f^3}{12} + 2b \times t_f \left(\frac{h}{2} - \frac{t_f}{2}\right)^2$$




(شکل ٥)

جملهٔ اول را بصورت $t_f - (h - t_f)$ نوشته و آنرا بسط میدهیم و از جملاتی که دارای درجات دوم و سوم $t_f$ هستند بعلت کوچکیشان صرفنظر میکنیم ، پس نتیجه میشود که :

$$I = \frac{t\omega}{12}\left[(h - t_f)^3 - 3t_f(h - t_f)^2\right] + \frac{1}{2}bt_f(h - t_f)^2$$

یا :

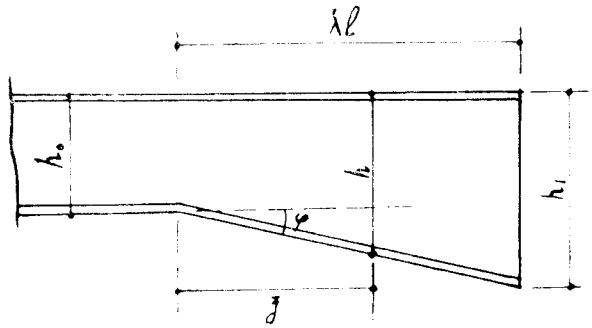
$$I = \frac{t\omega}{12}(h - t_f)^2\left[(h - t_f) - 3t_f + \frac{6bt_f}{t\omega}\right] \qquad (۸)$$

مقادیر لنگر ماند مقاطع I که بکمک رابطهٔ فوق در دستگاه متریک بدست میآید بامقادیر حقیقی آنان که در جداول داده شده است درحدود ٤ . . ر. اختلاف دارد که درمحاسبات جاری مهندسی کاملاً قابل قبول است.

در قسمت ماهیچه‌ای تیر مطابق (شکل ٦) در مقطعی بفاصلهٔ z از نقطهٔ شروع ماهیچه داریم :

$$h = h_\circ + z\,tg\varphi$$

پس مقدار لنگرماند این مقطع میشود :




(شکل ٦)

$$I(z) = \frac{t\omega}{١٢}(h_\circ + z\,tg\varphi - t_f)^{٣}\left[(h_\circ + z\,tg\varphi - t_f) + ٣t_f \times \frac{٢b - t\omega}{t\omega}\right]$$

$$I(z) = \frac{t\omega \cdot tg^{٣}\varphi}{١٢}\left(z + \frac{h_\circ - t_f}{tg\varphi}\right)^{٣}\left[z + \frac{h_\circ - t_f}{tg\varphi} + ٣t_f \times \frac{٢b - t\omega}{t\omega \cdot tg\varphi}\right]$$

$$tg\varphi = \frac{h_١ - h_\circ}{\lambda l} = \frac{\triangle h}{\lambda l}$$

$$I(z) = \frac{t\omega \times \triangle h^{٣}}{١٢\lambda^{٣}}\left(\frac{z}{l} + \frac{(h_\circ - t_f)\cdot\lambda}{\triangle h}\right)^{٣}\left[\frac{z}{l} + \frac{(h_\circ - t_f)\cdot\lambda}{\triangle h} + ٣\,\frac{t_f}{t\omega} \times \frac{(٢b - t\omega)\cdot\lambda}{t\omega \times \triangle h}\right]$$

بافرض :

$$U = \frac{t\omega \times \triangle h^{٣}}{١٢\lambda^{٣}}$$

$$n = \frac{\lambda(h_\circ - t_f)}{\triangle h}$$

$$m = n + ٣\,\frac{t_f}{t\omega} \cdot \frac{(٢b - t\omega)\cdot\lambda}{t\omega \times \triangle h}$$

نتیجه میشود که :

$$\boxed{I(z) = u\left(\frac{z}{l} + n\right)^{٢}\left(\frac{z}{l} + m\right)} \qquad (٩)$$

با در نظر گرفتن معادلهٔ فوق برای تغییرات I در طول ماهیچه انتگرالهای a و b و c و همچنین $\omega'_0$ و $\omega'_1$ برای بارهای گسترده یکنواخت و بارهای متمرکز مؤثر در نقاط مختلف تیر برای تیرهای با دو ماهیچهٔ متقارن وتیرهای یکطرف ماهیچه‌ای محاسبه شده‌اند که برای جلوگیری از اطاله مطلب ازتکرار این محاسبات که بسیار زیاد است در این مقاله خودداری میشود.

با استفاده از a و b و c و $\omega'_0$ و $\omega'_1$ طبق روابط بیان شده میتوان ضرائب مورد نظر تیر ماهیچه‌ای را بدست آورد.

محاسبات فوق و بررسی دقیق آن برای جلوگیری از هرگونه اشتباه، مدت سه ماه از اوقات فراغت نگارنده را بخود اختصاص داد و پس از اطمینان از صحت محاسبات، برنامه‌ای جهت حسابگر الکترونیک دانشگاه تهران (IBM1620) تنظیم شد وضرائب مورد نظر برای ۳۰۰ تیر با ماهیچه متقارن مثلثی و ۶۰۰ تیر با یک ماهیچه مثلثی حساب گردیده که برای آشنائی بیشتر علاقمندان با این جدول به تشریح جزئیات آن میپردازیم:

درصفحهٔ بعد یک‌قسمت ازجدول مشاهده میگردد که بازای $\lambda = 0{,}25$ است. و چنانچه ملاحظه میشود برای این مقدار نسبت $\frac{h_1}{h_0}$ بین ۱/۱ تا ۵ تغییر داده شده و برای هریک از اینحالات‌مقادیر $K \times \frac{l}{EI}$ (K ضریب‌سختی‌است) و $\frac{b}{4(ac-b^2)} \times \frac{l}{EI}$ و ضرائب انتقال و مقادیر $\frac{F.E.M.}{pl^2}$ برای‌بارگسترده‌یکنواخت بشدت (p) ومقدار $\frac{S_1}{S_0}$ یا نسبت لنگر مقاوم مقطع انتهائی ماهیچه به‌مقطع وسط تیر ومقادیر $\frac{F.E.M.}{P.l}$ برای نیروی واحد در نقاط مختلف تیر داده شده است. پس برای تعیین ضرائب سختی باید ضرائب داده شده در $\frac{EI}{l}$ ضرب شود و برای بدست آوردن لنگرگیرداری بارگسترده یکنواخت باشدت p باید ضریب داده شده در مقدار $pl^2$ و برای بار منفردها باتوجه بفاصلهٔ آن از پایهٔ چپ تیر باید ضرائب داده شده در جدول در مقدار P.l ضرب گردد.

در مورد تیرهای متقارن چون ضرائب عمومی دو طرف تیر مساویند لذا تنها یکی از آنها ذکر شده وبهمین‌دلیل لنگرهای گیرداری بار منفرد نیز تنها برای‌موقعیت آن بین ۰٫۱ تا ۰٫۵ محاسبه گردیده است.

**طرز استفاده از جدول** ـ بدو صورت میتوان از این جدول استفاده کرد:

۱ـ قاب را با اعضاء منشوری تجزیه و تحلیل کامل کرده و لنگرهای انتهائی و حداکثر در طول دهانهٔ هر تیر را حساب مینمائیم. عموماً دو نوع تیر وجود دارد:

الف ـ تیری که لنگرهای انتهائی آن از لنگر حداکثر در طول دهانه تیر کمتر یا مساوی آنست. در اینحال میتوان این تیر را بصورت منشوری طرح کرد و احتیاجی نیست که بآن ماهیچه بدهیم.

ب ـ تیری که لنگرهای انتهائی ($M_1$) آن از لنگر حداکثر در طول دهانه ($M_0$) بیشتر است و در اینحالات چنین عمل میکنیم:

## «ضرائب تیر متقارن» «لنگرهای انتهائی برای بار متمرکز در نقاط مختلف تیر»

| ردیف | 0.1L | | 0.2L | | 0.3L | | 0.4L | | 0.5L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M_{AB}$ | $M_{BA}$ | $M_{AB}$ | $M_{BA}$ | $M_{AB}$ | $M_{BA}$ | $M_{AB}$ | $M_{BA}$ | $M_{AB}=M_{BA}$ |
| ۲۵۰ | $\lambda=$ ۰.۲۵۰ | | | | | | | | |
| ۲۵۲ | ۰.۰۸۲۷۳ | ۰.۰۰۸۵۷ | ۰.۱۳۲۷۰ | ۰.۰۳۱۴۷ | ۰.۱۵۳۴۴ | ۰.۰۶۳۴۷ | ۰.۱۵۰۱۶ | ۰.۰۹۸۴۲ | ۰.۱۲۹۵۷ |
| ۲۵۴ | ۰.۰۸۴۱۸ | ۰.۰۰۸۲۰ | ۰.۱۳۶۹۳ | ۰.۰۳۰۸۱ | ۰.۱۵۹۴۹ | ۰.۰۶۲۶۷ | ۰.۱۵۰۷۱ | ۰.۱۰۰۴۱ | ۰.۱۳۳۵۹ |
| ۲۵۶ | ۰.۰۸۵۴۶ | ۰.۰۰۷۸۲ | ۰.۱۴۰۷۵ | ۰.۰۳۰۰۸ | ۰.۱۶۴۶۷ | ۰.۰۶۲۵۹ | ۰.۱۶۰۷۹ | ۰.۱۰۲۰۱ | ۰.۱۳۷۱۶ |
| ۲۵۸ | ۰.۰۸۶۵۹ | ۰.۰۰۷۴۵ | ۰.۱۴۴۲۲ | ۰.۰۲۹۲۸ | ۰.۱۶۹۶۴ | ۰.۰۶۲۲۲ | ۰.۱۶۵۴۴ | ۰.۱۰۲۳۰ | ۰.۱۴۰۳۴ |
| ۲۶۰ | ۰.۰۸۷۰۹ | ۰.۰۰۷۰۹ | ۰.۱۴۷۴۰ | ۰.۰۲۸۴۴ | ۰.۱۷۴۲۵ | ۰.۰۶۲۸۹ | ۰.۱۶۹۷۳ | ۰.۱۰۴۲۳ | ۰.۱۴۰۱۸ |
| ۲۶۲ | ۰.۰۸۸۴۸ | ۰.۰۰۶۷۴ | ۰.۱۵۰۳۱ | ۰.۰۲۷۰۸ | ۰.۱۷۸۰۴ | ۰.۰۶۲۲۴ | ۰.۱۷۲۶۹ | ۰.۱۰۰۱۰ | ۰.۱۴۰۷۴ |
| ۲۶۴ | ۰.۰۸۹۲۸ | ۰.۰۰۶۴۲ | ۰.۱۵۲۹۹ | ۰.۰۲۶۷۲ | ۰.۱۸۲۰۰ | ۰.۰۶۱۶۹ | ۰.۱۷۷۲۶ | ۰.۱۰۰۷۸ | ۰.۱۴۸۰۶ |
| ۲۶۶ | ۰.۰۹۰۰۰ | ۰.۰۰۶۱۰ | ۰.۱۵۰۴۶ | ۰.۰۲۵۸۰ | ۰.۱۸۶۲۰ | ۰.۰۶۰۹۷ | ۰.۱۸۰۲۹ | ۰.۱۰۶۲۷ | ۰.۱۵۰۱۶ |
| ۲۶۸ | ۰.۰۹۰۶۶ | ۰.۰۰۵۸۱ | ۰.۱۵۷۷۰ | ۰.۰۲۴۹۹ | ۰.۱۸۹۸۲ | ۰.۰۶۰۱۹ | ۰.۱۸۲۹۹ | ۰.۱۰۶۶۲ | ۰.۱۵۲۰۸ |
| ۲۷۰ | ۰.۰۹۱۲۵ | ۰.۰۰۵۵۳ | ۰.۱۵۹۸۸ | ۰.۰۲۴۱۰ | ۰.۱۹۲۱۲ | ۰.۰۵۹۲۷ | ۰.۱۸۶۹۹ | ۰.۱۰۶۸۸ | ۰.۱۵۲۸۲ |
| ۲۷۲ | ۰.۰۹۱۷۹ | ۰.۰۰۵۲۷ | ۰.۱۶۱۸۶ | ۰.۰۲۳۳۲ | ۰.۱۹۶۲۶ | ۰.۰۵۸۰۱ | ۰.۱۸۹۸۰ | ۰.۱۰۷۰۴ | ۰.۱۰۰۴۳ |
| ۲۷۴ | ۰.۰۹۲۲۹ | ۰.۰۰۵۰۱ | ۰.۱۶۲۷۰ | ۰.۰۲۲۵۱ | ۰.۱۹۹۲۱ | ۰.۰۵۷۶۴ | ۰.۱۹۲۴۰ | ۰.۱۰۷۱۲ | ۰.۱۰۷۹۰ |
| ۲۷۶ | ۰.۰۹۲۷۴ | ۰.۰۰۴۷۸ | ۰.۱۶۵۴۲ | ۰.۰۲۱۷۲ | ۰.۲۰۲۰۰ | ۰.۰۵۷۷۰ | ۰.۱۹۴۹۰ | ۰.۱۰۷۱۴ | ۰.۱۰۸۲۶ |
| ۲۷۸ | ۰.۰۹۳۱۶ | ۰.۰۰۴۰۰ | ۰.۱۶۷۰۴ | ۰.۰۲۰۹۶ | ۰.۲۰۴۶۰ | ۰.۰۵۸۸۶ | ۰.۱۹۷۲۱ | ۰.۱۰۷۱۰ | ۰.۱۰۹۵۲ |
| ۲۸۰ | ۰.۰۹۳۵۴ | ۰.۰۰۴۳۴ | ۰.۱۶۸۰۰ | ۰.۰۲۰۲۲ | ۰.۲۰۷۱۶ | ۰.۰۵۹۹۷ | ۰.۱۹۹۰۴ | ۰.۱۰۷۰۲ | ۰.۱۰۶۷۹ |
| ۲۸۲ | ۰.۰۹۳۹۰ | ۰.۰۰۴۱۴ | ۰.۱۶۹۹۶ | ۰.۰۱۹۰۱ | ۰.۲۰۹۰۰ | ۰.۰۶۰۴۸ | ۰.۲۰۱۶۵ | ۰.۱۰۶۹۰ | ۰.۱۲۱۷۷ |
| ۲۸۴ | ۰.۰۹۴۲۲ | ۰.۰۰۳۹۶ | ۰.۱۷۱۲۹ | ۰.۰۱۸۸۲ | ۰.۲۱۱۸۲ | ۰.۰۵۲۱۹ | ۰.۲۰۲۲۶ | ۰.۱۰۶۷۵ | ۰.۱۲۲۷۸ |
| ۲۸۶ | ۰.۰۹۴۵۲ | ۰.۰۰۳۷۸ | ۰.۱۷۲۰۵ | ۰.۰۱۸۱۶ | ۰.۲۱۲۹۸ | ۰.۰۵۲۲۲ | ۰.۲۰۵۵۷ | ۰.۱۰۶۵۸ | ۰.۱۲۲۷۲ |
| ۲۸۸ | ۰.۰۹۴۸۱ | ۰.۰۰۳۶۱ | ۰.۱۷۳۷۲ | ۰.۰۱۷۵۲ | ۰.۲۱۶۰۴ | ۰.۰۵۱۴۵ | ۰.۲۰۷۲۹ | ۰.۱۰۶۲۸ | ۰.۱۲۴۰۹ |
| ۲۹۰ | ۰.۰۹۵۰۸ | ۰.۰۰۳۴۵ | ۰.۱۷۴۸۴ | ۰.۰۱۶۹۱ | ۰.۲۱۸۰۱ | ۰.۰۵۰۶۱ | ۰.۲۰۹۱۲ | ۰.۱۰۶۱۶ | ۰.۱۲۵۴۲ |
| ۲۹۲ | ۰.۰۹۵۵۵ | ۰.۰۰۳۱۶ | ۰.۱۷۶۸۸ | ۰.۰۱۵۷۵ | ۰.۲۲۱۶۸ | ۰.۰۴۸۹۵ | ۰.۲۱۲۳۴ | ۰.۱۰۵۷۹ | ۰.۱۲۶۹۱ |
| ۲۹۴ | ۰.۰۹۵۹۷ | ۰.۰۰۲۸۹ | ۰.۱۷۸۷۰ | ۰.۰۱۴۶۹ | ۰.۲۲۵۰۲ | ۰.۰۴۷۲۷ | ۰.۲۱۵۲۸ | ۰.۱۰۵۱۷ | ۰.۱۲۸۲۴ |
| ۲۹۶ | ۰.۰۹۶۳۳ | ۰.۰۰۲۶۶ | ۰.۱۸۰۲۴ | ۰.۰۱۲۷۰ | ۰.۲۲۸۱۱ | ۰.۰۴۵۸۶ | ۰.۲۱۷۹۸ | ۰.۱۰۴۶۴ | ۰.۱۲۹۴۲ |
| ۲۹۸ | ۰.۰۹۶۶۵ | ۰.۰۰۲۴۰ | ۰.۱۸۱۸۱ | ۰.۰۱۲۸۰ | ۰.۲۳ ۹۴ | ۰.۰۴۴۴۲ | ۰.۲۲۰۴۵ | ۰.۱۰۴۰۹ | ۰.۱۷۰۴۷ |
| ۳۰۰ | ۰.۰۹۶۹۴ | ۰.۰۰۲۲۶ | ۰.۱۸۳۱۴ | ۰.۰۱۱۹۶ | ۰.۲۳۳۰۵ | ۰.۰۴۳۰۵ | ۰.۲۲۲۷۴ | ۰.۱۰۳۵۰ | ۰.۱۷۱۴۲ |
| ۳۰۲ | ۰.۰۹۷۱۹ | ۰.۰۰۲۰۸ | ۰.۱۸۴۲۴ | ۰.۰۱۱۱۹ | ۰.۲۳۵۹۶ | ۰.۰۴۱۷۶ | ۰.۲۲۴۸۴ | ۰.۱۰۳۰۱ | ۰.۱۷۲۲۸ |
| ۳۰۴ | ۰.۰۹۷۴۳ | ۰.۰۰۱۹۳ | ۰.۱۸۵۴۳ | ۰.۰۱۰۴۸ | ۰.۲۳۸۱۹ | ۰.۰۴۰۵۳ | ۰.۲۲۶۸۰ | ۰.۱۰۲۴۷ | ۰.۱۷۳۰۶ |
| ۳۰۶ | ۰.۰۹۷۶۲ | ۰.۰۰۱۷۹ | ۰.۱۸۶۴۳ | ۰.۰۰۹۸۳ | ۰.۲۴ ۲۶ | ۰.۰۳۹۲۷ | ۰.۲۲۸۷۱ | ۰.۱۰۱۹۵ | ۰.۱۷۳۷۷ |
| ۳۰۸ | ۰.۰۹۷۸۰ | ۰.۰۰۱۶۶ | ۰.۱۸۷۲۳ | ۰.۰۰۹۲۳ | ۰.۲۴۲۱۸ | ۰.۰۳۸۲۷ | ۰.۲۳۰۳۰ | ۰.۱۰۱۴۵ | ۰.۱۷۴۴۳ |
| ۳۱۰ | ۰.۰۹۷۹۷ | ۰.۰۰۱۵۴ | ۰.۱۸۸۱۵ | ۰.۰۰۸۶۷ | ۰.۲۴۳۹۸ | ۰.۰۳۷۲۴ | ۰.۲۳۱۸۷ | ۰.۱۰۰۹۶ | ۰.۱۷۵۰۱ |

## «ضرائب تیر متقارن»

| ردیف | $h_1/h_0$ | $K_{AB}=K_{BA}$ | $1_{AB}$ | $C_{AB}=C_{BA}$ | $M_{AB}=M_{BA}$ | $S_1/S_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۴۹ | $\lambda =$ ۰.۲۵۰ | | | | | |
| ۲۵۱ | ۱.۱۰ | ۱.۱۰۷ | ۰.۰۷۹ | ۰.۵۲۳۴ | ۰.۰۸۰۸۹ | ۱.۱۳ |
| ۲۵۳ | ۱.۲۰ | ۱.۲۱۳ | ۰.۱۶۰ | ۰.۵۴۴۳ | ۰.۰۸۸۱۱ | ۱.۲۷ |
| ۲۵۵ | ۱.۳۰ | ۱.۳۱۷ | ۰.۲۴۲ | ۰.۵۶۳۲ | ۰.۰۹۰۰۷ | ۱.۴۲ |
| ۲۵۷ | ۱.۴۰ | ۱.۴۲۰ | ۰.۳۲۴ | ۰.۵۸۰۲ | ۰.۰۹۱۷۹ | ۱.۵۷ |
| ۲۵۹ | ۱.۵۰ | ۱.۵۲۱ | ۰.۴۰۶ | ۰.۵۹۰۷ | ۰.۰۹۳۳۲ | ۱.۷۲ |
| ۲۶۱ | ۱.۶۰ | ۱.۶۲۱ | ۰.۴۸۸ | ۰.۶۰۹۷ | ۰.۰۹۴۶۹ | ۱.۸۸ |
| ۲۶۳ | ۱.۷۰ | ۱.۷۱۸ | ۱.۰۶۹ | ۰.۶۲۲۵ | ۰.۰۹۵۹۲ | ۲.۰۴ |
| ۲۶۵ | ۱.۸۰ | ۱.۸۱۳ | ۱.۱۵۰ | ۰.۶۳۴۳ | ۰.۰۹۷۰۳ | ۲.۲۱ |
| ۲۶۷ | ۱.۹۰ | ۱.۹۰۶ | ۱.۲۳۰ | ۰.۶۴۵۰ | ۰.۰۹۸۰۳ | ۲.۳۸ |
| ۲۶۹ | ۲.۰۰ | ۱.۹۹۸ | ۱.۳۰۸ | ۰.۶۵۴۹ | ۰.۰۹۸۹۴ | ۲.۵۵ |
| ۲۷۱ | ۲.۱۰ | ۲.۰۸۷ | ۱.۳۸۶ | ۰.۶۶۴۰ | ۰.۰۹۹۷۶ | ۲.۷۳ |
| ۲۷۳ | ۲.۲۰ | ۲.۱۷۴ | ۱.۴۶۲ | ۰.۶۷۲۵ | ۰.۱۰۰۵۲ | ۲.۹۲ |
| ۲۷۵ | ۲.۳۰ | ۲.۲۵۸ | ۱.۵۳۶ | ۰.۶۸۰۳ | ۰.۱۰۱۲۱ | ۳.۱۰ |
| ۲۷۷ | ۲.۴۰ | ۲.۳۴۱ | ۱.۶۱۰ | ۰.۶۸۷۵ | ۰.۱۰۱۸۵ | ۳.۳۰ |
| ۲۷۹ | ۲.۵۰ | ۲.۴۲۲ | ۱.۶۸۱ | ۰.۶۹۴۲ | ۰.۱۰۲۴۴ | ۳.۴۹ |
| ۲۸۱ | ۲.۶۰ | ۲.۵۰۰ | ۱.۷۵۲ | ۰.۷۰۰۵ | ۰.۱۰۲۹۸ | ۳.۶۹ |
| ۲۸۳ | ۲.۷۰ | ۲.۵۷۷ | ۱.۸۲۰ | ۰.۷۰۶۴ | ۰.۱۰۳۴۹ | ۳.۹۰ |
| ۲۸۵ | ۲.۸۰ | ۲.۶۵۲ | ۱.۸۸۷ | ۰.۷۱۱۸ | ۰.۱۰۳۹۶ | ۴.۱۱ |
| ۲۸۷ | ۲.۹۰ | ۲.۷۲۴ | ۱.۹۵۳ | ۰.۷۱۶۹ | ۰.۱۰۴۳۹ | ۴.۳۲ |
| ۲۸۹ | ۳.۰۰ | ۲.۷۹۵ | ۲.۰۱۷ | ۰.۷۲۱۷ | ۰.۱۰۴۸۰ | ۴.۵۴ |
| ۲۹۱ | ۳.۲۰ | ۲.۹۳۱ | ۲.۱۴۱ | ۰.۷۳۰۵ | ۰.۱۰۵۵۳ | ۴.۹۹ |
| ۲۹۳ | ۳.۴۰ | ۳.۰۶۰ | ۲.۲۵۹ | ۰.۷۳۸۲ | ۰.۱۰۶۱۷ | ۵.۴۵ |
| ۲۹۵ | ۳.۶۰ | ۳.۱۸۱ | ۲.۳۷۱ | ۰.۷۴۵۱ | ۰.۱۰۶۷۴ | ۵.۹۳ |
| ۲۹۷ | ۳.۸۰ | ۳.۲۹۷ | ۲.۴۷۷ | ۰.۷۵۱۲ | ۰.۱۰۷۲۵ | ۶.۴۳ |
| ۲۹۹ | ۴.۰۰ | ۳.۴۰۶ | ۲.۵۷۸ | ۰.۷۵۶۹ | ۰.۱۰۷۷۰ | ۶.۹۵ |
| ۳۰۱ | ۴.۲۰ | ۳.۵۰۹ | ۲.۶۷۴ | ۰.۷۶۱۹ | ۰.۱۰۸۱۱ | ۷.۴۸ |
| ۳۰۳ | ۴.۴۰ | ۳.۶۰۷ | ۲.۷۶۵ | ۰.۷۶۶۵ | ۰.۱۰۸۴۷ | ۸.۰۳ |
| ۳۰۵ | ۴.۶۰ | ۳.۷۰۰ | ۲.۸۵۲ | ۰.۷۷۰۶ | ۰.۱۰۸۸۰ | ۸.۶۰ |
| ۳۰۷ | ۴.۸۰ | ۳.۷۸۹ | ۲.۹۳۴ | ۰.۷۷۴۴ | ۰.۱۰۹۱۱ | ۹.۱۹ |
| ۳۰۹ | ۵.۰۰ | ۳.۸۷۳ | ۳.۰۱۳ | ۰.۷۷۷۹ | ۰.۱۰۹۳۸ | ۹.۷۹ |

## «ضرائب تیرتایک ماهیچه مثلثی»

| ردیف | 0.1l | 0.2l | 0.3l | 0.4l | 0.5l | 0.6l | 0.7l | 0.8l | 0.9l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۳۷۰ | | ۰۲۵۰ | | | | | | | |
| ۳۷۲ | ۰۰۸۳۰ | ۱۳۳۷ | ۱۰۰۴ | ۱۰۴۳ | ۱۳۳۵ | ۱۰۲۸ | ۰۶۷۵ | ۰۳۴۳ | ۰۰۹۶ |
| ۳۷۳ | ۰۰۷۹ | ۰۲۹۲ | ۰۵۹۱ | ۰۹۱۸ | ۱۳۱۱ | ۱۴۰۹ | ۱۴۴۹ | ۱۳۶۹ | ۰۸۰۷ |
| ۳۷۵ | ۰۸۴۷ | ۱۳۸۸ | ۱۶۳۳ | ۱۶۱۷ | ۱۴۱۴ | ۱۰۹۱ | ۰۷۱۸ | ۰۳۶۵ | ۰۱۰۳ |
| ۳۷۶ | ۰۰۷۱ | ۰۲۶۸ | ۰۰۵۰۶ | ۰۸۸۰ | ۱۱۷۷ | ۱۳۸۲ | ۱۴۳۱ | ۱۳۵۹ | ۰۸۰۴ |
| ۳۷۸ | ۰۸۶۱ | ۱۴۳۴ | ۱۷۰۳ | ۱۶۹۷ | ۱۴۸۷ | ۱۱۵۰ | ۰۷۵۸ | ۰۳۸۶ | ۰۱۰۹ |
| ۳۷۹ | ۰۰۶۴ | ۰۲۴۷ | ۰۰۵۲۴ | ۰۸۴۵ | ۱۱۴۴ | ۱۳۵۶ | ۱۴۱۳ | ۱۳۵۰ | ۰۸۰۱ |
| ۳۸۱ | ۰۸۷۴ | ۱۴۷۶ | ۱۷۶۹ | ۱۷۷۰ | ۱۰۰۶ | ۱۳۰۵ | ۰۷۹۵ | ۰۴۰۵ | ۰۱۱۴ |
| ۳۸۲ | ۰۰۰۵۷ | ۰۲۲۷ | ۰۴۹۵ | ۰۸۱۳ | ۱۱۱۵ | ۱۳۳۳ | ۱۳۹۷ | ۱۳۴۲ | ۰۷۹۹ |
| ۳۸۴ | ۰۸۸۵ | ۱۵۱۳ | ۱۸۲۹ | ۱۸۲۸ | ۱۳۲۰ | ۱۳۵۶ | ۰۸۳۰ | ۰۴۳۴ | ۰۱۱۹ |
| ۳۸۵ | ۰۰۰۵۲ | ۰۲۱۰ | ۰۴۶۸ | ۰۷۸۴ | ۱۰۸۷ | ۱۳۱۰ | ۱۳۸۲ | ۱۳۳۴ | ۰۷۹۷ |
| ۳۸۷ | ۰۸۹۵ | ۱۵۴۷ | ۱۸۸۵ | ۱۹۰۱ | ۱۳۷۹ | ۱۳۰۴ | ۰۸۶۲ | ۰۴۴۰ | ۰۱۲۴ |
| ۳۸۸ | ۰۰۰۴۷ | ۰۱۹۵ | ۰۴۴۴ | ۰۷۰۶ | ۱۰۶۳ | ۱۳۹۰ | ۱۳۶۹ | ۱۳۳۷ | ۰۷۹۵ |
| ۳۹۰ | ۰۰۹۰۴ | ۱۵۷۸ | ۱۹۳۶ | ۱۹۶۰ | ۱۷۳۴ | ۱۳۴۹ | ۰۸۹۳ | ۰۴۰۶ | ۰۱۲۹ |
| ۳۹۱ | ۰۰۰۴۳ | ۰۱۸۱ | ۰۴۲۲ | ۰۷۳۱ | ۱۰۳۸ | ۱۳۷۱ | ۱۳۵۶ | ۱۳۳۱ | ۰۷۹۳ |
| ۳۹۳ | ۰۰۹۱۲ | ۱۶۰۶ | ۱۹۸۴ | ۲۰۱۵ | ۱۷۸۶ | ۱۳۹۱ | ۰۹۲۱ | ۰۴۷۱ | ۰۱۳۳ |
| ۳۹۴ | ۰۰۰۳۹ | ۰۱۶۸ | ۰۴۰۱ | ۰۷۰۸ | ۱۰۱۷ | ۱۳۵۳ | ۱۳۴۴ | ۱۳۱۴ | ۰۷۹۱ |
| ۳۹۶ | ۰۰۹۱۹ | ۱۶۳۳ | ۲۰۳۸ | ۲۰۶۶ | ۱۸۳۴ | ۱۴۳۰ | ۰۹۴۸ | ۰۴۸۵ | ۰۱۳۷ |
| ۳۹۷ | ۰۰۰۳۶ | ۰۱۵۷ | ۰۴۸۳ | ۰۶۸۶ | ۰۹۹۶ | ۱۳۳۷ | ۱۳۳۳ | ۱۳۰۸ | ۰۷۸۹ |
| ۳۹۹ | ۰۰۹۲۵ | ۱۶۵۵ | ۲۰۶۹ | ۲۱۱۴ | ۱۸۸۰ | ۱۴۶۷ | ۰۹۷۳ | ۰۴۹۸ | ۰۱۴۱ |
| ۴۰۰ | ۰۰۰۳۳ | ۰۱۴۶ | ۰۴۶۵ | ۰۶۶۶ | ۰۹۷۷ | ۱۳۳۱ | ۱۳۳۳ | ۱۳۰۳ | ۰۷۸۸ |
| ۴۰۲ | ۰۰۹۶۱ | ۱۶۷۷ | ۲۱۰۷ | ۲۱۵۸ | ۱۹۳۲ | ۱۵۰۱ | ۰۹۹۷ | ۰۰۵۱۰ | ۰۱۴۴ |
| ۴۰۳ | ۰۰۰۳۰ | ۰۱۳۷ | ۰۴۴۸ | ۰۶۴۷ | ۰۹۹۰ | ۱۳۰۷ | ۱۳۱۲ | ۱۱۹۸ | ۰۷۸۶ |
| ۴۰۵ | ۰۰۹۳۶ | ۱۶۹۷ | ۲۱۴۳ | ۲۲۰۰ | ۱۹۶۲ | ۱۵۳۳ | ۱۰۱۹ | ۰۰۵۲۲ | ۰۱۴۸ |
| ۴۰۶ | ۰۰۰۳۸ | ۰۱۳۸ | ۰۴۳۳ | ۰۶۳۰ | ۰۹۴۳ | ۱۱۹۴ | ۱۳۰۳ | ۱۱۹۳ | ۰۷۸۵ |
| ۴۰۸ | ۰۰۹۴۰ | ۱۷۱۵ | ۲۱۷۶ | ۲۲۲۹ | ۱۹۹۹ | ۱۵۶۴ | ۱۰۴۰ | ۰۰۵۳۳ | ۰۱۵۱ |
| ۴۰۹ | ۰۰۰۲۶ | ۰۱۲۰ | ۰۴۱۹ | ۰۶۱۴ | ۰۹۲۸ | ۱۱۸۱ | ۱۳۹۵ | ۱۱۸۹ | ۰۷۸۴ |
| ۴۱۱ | ۰۰۹۴۵ | ۱۷۳۱ | ۲۲۰۷ | ۲۲۷۶ | ۲۰۳۵ | ۱۵۹۳ | ۱۰۰۹ | ۰۰۵۴۳ | ۰۱۵۴ |
| ۴۱۲ | ۰۰۰۲۴ | ۰۱۱۳ | ۰۴۰۶ | ۰۵۹۹ | ۰۹۱۳ | ۱۱۷۹ | ۱۳۸۷ | ۱۱۸۵ | ۰۷۸۲ |
| ۴۱۴ | ۰۰۹۴۸ | ۱۷۴۷ | ۲۲۳۶ | ۲۳۱۰ | ۲۰۶۸ | ۱۶۲۰ | ۱۰۷۸ | ۰۰۵۵۳ | ۰۱۵۶ |
| ۴۱۵ | ۰۰۰۲۲ | ۰۱۰۶ | ۰۴۹۴ | ۰۵۸۴ | ۰۹۰۰ | ۱۱۵۸ | ۱۳۷۹ | ۱۱۸۱ | ۰۷۸۱ |
| ۴۱۷ | ۰۰۹۵۲ | ۱۷۶۱ | ۲۲۶۴ | ۲۳۴۳ | ۲۰۹۹ | ۱۶۴۵ | ۱۰۹۵ | ۰۰۵۶۲ | ۰۱۵۹ |
| ۴۱۸ | ۰۰۰۳۱ | ۰۱۰۰ | ۰۴۸۳ | ۰۵۷۱ | ۰۸۸۷ | ۱۱۴۸ | ۱۳۷۳ | ۱۱۷۷ | ۰۷۸۰ |
| ۴۲۰ | ۰۰۹۵۵ | ۱۷۷۴ | ۲۲۸۹ | ۲۳۷۳ | ۲۱۲۸ | ۱۶۷۹ | ۱۱۱۳ | ۰۰۵۷۱ | ۰۱۶۳ |
| ۴۲۱ | ۰۰۰۱۹ | ۰۰۹۴ | ۰۴۷۳ | ۰۵۵۸ | ۰۸۷۵ | ۱۱۳۸ | ۱۳۶۵ | ۱۱۷۳ | ۰۷۷۹ |
| ۴۲۳ | ۰۰۹۵۸ | ۱۷۸۶ | ۲۳۱۳ | ۲۴۰۲ | ۲۱۵۶ | ۱۶۹۳ | ۱۱۲۷ | ۰۰۵۷۹ | ۰۱۶۴ |
| ۴۲۴ | ۰۰۰۱۸ | ۰۰۸۹ | ۰۴۳۲ | ۰۵۴۷ | ۰۸۶۳ | ۱۱۲۹ | ۱۳۵۹ | ۱۱۷۰ | ۰۷۷۸ |
| ۴۲۶ | ۰۰۹۶۰ | ۱۷۹۷ | ۲۳۳۶ | ۲۴۲۶ | ۲۱۸۲ | ۱۷۱۴ | ۱۱۴۲ | ۰۰۵۸۷ | ۰۱۶۶ |
| ۴۲۷ | ۰۰۰۱۷ | ۰۰۸۴ | ۰۴۵۳ | ۰۵۳۵ | ۰۸۵۳ | ۱۱۲۰ | ۱۳۵۳ | ۱۱۶۷ | ۰۷۷۷ |
| ۴۲۹ | ۰۹۶۲ | ۱۸۰۸ | ۲۳۵۷ | ۲۴۰۰ | ۲۲۰۷ | ۱۷۳۴ | ۱۱۵۶ | ۰۰۵۹۴ | ۰۱۶۸ |
| ۴۳۰ | ۰۰۱۶ | ۰۰۸۰ | ۰۴۴۴ | ۰۵۳۵ | ۰۸۴۳ | ۱۱۱۲ | ۱۳۴۷ | ۱۱۶۴ | ۰۷۷۶ |
| ۴۳۲ | ۰۹۶۷ | ۱۸۲۷ | ۲۳۹۶ | ۲۵۰۲ | ۲۲۵۳ | ۱۷۷۲ | ۱۱۸۲ | ۰۶۹۰۸ | ۰۱۷۲ |
| ۴۳۳ | ۰۰۱۴ | ۰۰۷۲ | ۰۴۲۸ | ۰۵۰۶ | ۰۸۲۴ | ۱۰۹۷ | ۱۳۳۷ | ۱۱۵۸ | ۰۷۷۵ |
| ۴۳۵ | ۰۹۷۰ | ۱۸۴۳ | ۲۴۳۰ | ۲۵۴۵ | ۲۳۹۵ | ۱۸۰۶ | ۱۳۰۶ | ۰۶۲۰ | ۰۱۷۶ |
| ۴۳۶ | ۰۰۰۱۲ | ۰۰۶۵ | ۰۴۱۴ | ۰۵۸۹ | ۰۸۰۸ | ۱۰۸۳ | ۱۳۲۸ | ۱۱۵۴ | ۰۷۷۳ |
| ۴۳۸ | ۰۹۷۴ | ۱۸۵۸ | ۲۴۶۱ | ۲۵۸۳ | ۲۳۳۳ | ۱۸۲۷ | ۱۳۳۷ | ۰۶۳۱ | ۰۱۷۹ |
| ۴۳۹ | ۰۰۰۱۱ | ۰۰۵۹ | ۰۴۰۱ | ۰۷۳۰ | ۰۷۹۳ | ۱۰۷۱ | ۱۳۱۹ | ۱۱۴۹ | ۰۷۷۲ |
| ۴۴۱ | ۰۹۷۶ | ۱۸۷۰ | ۲۴۸۹ | ۲۶۱۸ | ۲۳۶۶ | ۱۸۶۵ | ۱۳۴۶ | ۰۶۴۱ | ۰۱۸۲ |
| ۴۴۲ | ۰۰۱۰ | ۰۰۵۳ | ۰۴۹۰ | ۰۷۵۹ | ۰۷۷۹ | ۱۰۶۰ | ۱۳۱۱ | ۱۱۴۵ | ۰۷۷۱ |
| ۴۴۴ | ۰۹۷۹ | ۱۸۸۱ | ۲۵۱۴ | ۲۶۵۰ | ۲۳۹۷ | ۱۸۹۱ | ۱۳۶۴ | ۰۶۵۱ | ۰۱۸۵ |
| ۴۴۵ | ۰۰۰۹ | ۰۰۴۸ | ۰۴۸۰ | ۰۷۲۷ | ۰۷۶۷ | ۱۰۴۹ | ۱۳۰۵ | ۱۱۴۱ | ۰۷۷۰ |
| ۴۴۷ | ۰۹۸۱ | ۱۸۹۱ | ۲۵۳۷ | ۲۶۷۸ | ۲۴۲۵ | ۱۹۱۴ | ۱۳۸۰ | ۰۶۵۹ | ۰۱۸۷ |
| ۴۴۸ | ۰۰۰۸ | ۰۰۴۴ | ۰۴۷۱ | ۰۷۳۵ | ۰۷۵۶ | ۱۰۴۰ | ۱۱۹۸ | ۱۱۳۸ | ۰۷۷۹ |
| ۴۵۰ | ۰۹۸۲ | ۱۹۰۰ | ۲۵۵۸ | ۲۷۰۵ | ۲۴۰۱ | ۱۹۳۶ | ۱۳۹۵ | ۰۶۶۷ | ۰۱۸۹ |
| ۴۵۱ | ۰۰۰۷ | ۰۰۴۱ | ۰۴۶۲ | ۰۷۴۵ | ۰۷۴۰ | ۱۰۳۲ | ۱۱۹۲ | ۱۱۳۵ | ۰۷۷۸ |
| ۴۵۳ | ۰۹۸۴ | ۱۹۰۸ | ۲۵۷۶ | ۲۷۲۹ | ۲۴۷۵ | ۱۹۰۵ | ۱۳۰۹ | ۰۶۷۴ | ۰۱۹۱ |
| ۴۵۴ | ۰۰۰۶ | ۰۰۳۷ | ۰۵۰۵ | ۰۷۳۶ | ۰۷۴۱ | ۱۰۳۴ | ۱۱۸۷ | ۱۱۳۳ | ۰۷۷۷ |
| ۴۵۶ | ۰۹۸۵ | ۱۹۱۵ | ۲۵۹۴ | ۲۷۵۱ | ۲۴۹۷ | ۱۹۷۴ | ۱۳۳۱ | ۰۶۸۱ | ۰۱۹۳ |
| ۴۵۷ | ۰۰۰۶ | ۰۰۳۴ | ۰۱۴۸ | ۰۷۰۷ | ۰۷۲۸ | ۱۰۱۷ | ۱۱۸۳ | ۱۱۳۰ | ۰۷۷۶ |
| ۴۵۹ | ۰۹۸۶ | ۱۹۲۱ | ۲۶۰۹ | ۲۷۷۱ | ۲۵۱۷ | ۱۹۹۰ | ۱۳۳۳ | ۰۶۸۷ | ۰۱۹۵ |
| ۴۶۰ | ۰۰۰۵ | ۰۰۳۳ | ۰۱۴۲ | ۰۷۹۹ | ۰۷۳۰ | ۱۰۱۰ | ۱۱۷۸ | ۱۱۲۷ | ۰۷۷۶ |

مسطر بالائی
لنگر گیرداری A

مسطر پائینی
لنگر گیرداری B

« ضرائب تیر با یک ماهیچه مثلثی »

| ردیف | $h_1/h_0$ | $K_{AB}$ | $l_{AB}$ | $K_{BA}$ | $C_{AB}$ | $C_{BA}$ | $M_{AB}$ بارگنواخت | $M_{BA}$ بارگنواخت | $S_1/S_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۳۶۹ | $\lambda = ۰.۲۵۰$ | | | | | | | | |
| ۳۷۱ | ۱.۱۰ | ۱.۰۸۸۰ | ۰.۵۳۸۱ | ۱.۰۱۶۷ | ۰.۹۴۵۰ | ۰.۵۲۹۳ | ۰.۰۸۷۹۵ | ۰.۰۸۱۳۵ | ۱.۱۳ |
| ۳۷۴ | ۱.۲۰ | ۱.۱۷۱۰ | ۰.۵۷۳۶ | ۱.۰۳۲۲ | ۰.۸۹۸۰ | ۰.۵۵۵۷ | ۰.۰۹۲۶۳ | ۰.۰۷۹۱۴ | ۱.۲۷ |
| ۳۷۷ | ۱.۳۰ | ۱.۲۴۹۳ | ۰.۶۰۶۹ | ۱.۰۴۶۶ | ۰.۸۸۰۸ | ۰.۵۷۹۹ | ۰.۰۹۶۷۳ | ۰.۰۷۷۳۳ | ۱.۴۲ |
| ۳۸۰ | ۱.۴۰ | ۱.۳۳۳۱ | ۰.۶۳۸۱ | ۱.۰۵۹۹ | ۰.۸۴۲۲ | ۰.۶۰۳۰ | ۰.۱۰۰۰۱ | ۰.۰۷۵۶۵ | ۱.۵۷ |
| ۳۸۳ | ۱.۵۰ | ۱.۳۹۳۶ | ۰.۶۶۷۳ | ۱.۰۷۳۳ | ۰.۸۷۹۱ | ۰.۶۳۳۳ | ۰.۱۰۴۰۳ | ۰.۰۷۴۱۲ | ۱.۷۳ |
| ۳۸۶ | ۱.۶۰ | ۱.۴۵۸۰ | ۰.۶۹۴۶ | ۱.۰۸۳۹ | ۰.۹۳۷۴ | ۰.۶۴۰۸ | ۰.۱۰۷۲۶ | ۰.۰۷۳۷۳ | ۱.۸۸ |
| ۳۸۹ | ۱.۷۰ | ۱.۵۱۹۷ | ۰.۷۲۰۳ | ۱.۰۹۴۷ | ۰.۹۷۳۹ | ۰.۶۵۷۹ | ۰.۱۱۰۲۷ | ۰.۰۷۱۴۳ | ۲.۰۴ |
| ۳۹۲ | ۱.۸۰ | ۱.۵۷۷۸ | ۰.۷۴۴۳ | ۱.۱۰۴۷ | ۰.۹۷۱۷ | ۰.۶۷۲۷ | ۰.۱۱۳۰۷ | ۰.۰۷۰۲۲ | ۲.۲۱ |
| ۳۹۵ | ۱.۹۰ | ۱.۶۳۳۷ | ۰.۷۶۶۹ | ۱.۱۱۴۱ | ۰.۹۶۹۷ | ۰.۶۸۸۳ | ۰.۱۱۵۶۷ | ۰.۰۶۹۱۲ | ۲.۲۸ |
| ۳۹۸ | ۲.۰۰ | ۱.۶۸۴۴ | ۰.۷۸۸۱ | ۱.۱۲۲۹ | ۰.۹۷۷۸ | ۰.۷۰۱۸ | ۰.۱۱۸۱۰ | ۰.۰۶۸۰۹ | ۲.۰۰ |
| ۴۰۱ | ۲.۱۰ | ۱.۷۳۳۲ | ۰.۸۰۸۰ | ۱.۱۳۱۱ | ۰.۹۷۳۲ | ۰.۷۱۴۳ | ۰.۱۲۰۳۶ | ۰.۰۶۷۱۳ | ۲.۰۳ |
| ۴۰۴ | ۲.۲۰ | ۱.۷۷۹۴ | ۰.۸۲۶۸ | ۱.۱۳۸۹ | ۰.۹۷۶۰ | ۰.۷۲۶۰ | ۰.۱۲۲۴۷ | ۰.۰۶۶۲۰ | ۲.۹۲ |
| ۴۰۷ | ۲.۳۰ | ۱.۸۲۳۱ | ۰.۸۴۴۰ | ۱.۱۴۶۱ | ۰.۹۷۶۸ | ۰.۷۳۶۸ | ۰.۱۲۴۴۰ | ۰.۰۶۵۴۲ | ۲.۱۰ |
| ۴۱۰ | ۲.۴۰ | ۱.۸۶۴۴ | ۰.۸۶۱۲ | ۱.۱۰۲۹ | ۰.۹۷۹۰ | ۰.۷۴۹۰ | ۰.۱۲۶۳۰ | ۰.۰۶۴۹۵ | ۲.۳۰ |
| ۴۱۳ | ۲.۵۰ | ۱.۹۰۳۶ | ۰.۸۷۷۰ | ۱.۱۰۹۴ | ۰.۹۷ ۷ | ۰.۷۵۶۴ | ۰.۱۲۸۰۴ | ۰.۰۶۳۹۳ | ۲.۴۹ |
| ۴۱۶ | ۲.۶۰ | ۱.۹۴۰۷ | ۰.۸۹۱۹ | ۱.۱۶۰۴ | ۰.۹۹۹۶ | ۰.۷۶۰۲ | ۰.۱۲۹۶۸ | ۰.۰۶۳۲۵ | ۲.۶۹ |
| ۴۱۹ | ۲.۷۰ | ۱.۹۷۰۹ | ۰.۹۰۶۱ | ۱.۱۷۱۱ | ۰.۲۰۸۵ | ۰.۷۷۲۶ | ۰.۱۳۱۲۱ | ۰.۰۶۲۶۲ | ۲.۹۰ |
| ۴۲۲ | ۲.۸۰ | ۲.۰۰۹۳ | ۰.۹۱۹۴ | ۱.۱۷۶۰ | ۰.۲۰۷۵ | ۰.۷۸۱۴ | ۰.۱۳۲۶۶ | ۰.۰۶۲۰۲ | ۴.۱۱ |
| ۴۲۵ | ۲.۹۰ | ۲.۰۴۱۱ | ۰.۹۲۲۱ | ۱.۱۸۱۶ | ۰.۲۰۶۶ | ۰.۷۸۸۸ | ۰.۱۳۴۰۲ | ۰.۰۶۱۴۶ | ۴.۲۲ |
| ۴۲۸ | ۳.۰۰ | ۲.۰۷۱۴ | ۰.۹۲۴۱ | ۱.۱۸۶۴ | ۰.۲۰۵۸ | ۰.۷۹۰۷ | ۰.۱۳۰۳۱ | ۰.۰۶۰۹۴ | ۴.۳۴ |
| ۴۳۱ | ۳.۱۰ | ۲.۱۲۷۶ | ۰.۹۲۶۴ | ۱.۱۹۰۳ | ۰.۲۰۴۲ | ۰.۸۰۸۴ | ۰.۱۳۷۶۸ | ۰.۰۵۹۹۷ | ۴.۹۹ |
| ۴۳۴ | ۳.۲۰ | ۲.۱۷۸۷ | ۰.۹۸۶۶ | ۱.۲۰۳۴ | ۰.۲۰۲۸ | ۰.۸۱۹۸ | ۰.۱۳۹۸۰ | ۰.۰۵۹۱۱ | ۵.۰۵ |
| ۴۳۷ | ۳.۳۰ | ۲.۲۳۰۴ | ۱.۰۰۰۴۹ | ۱.۲۱۰۶ | ۰.۲۰۱۰ | ۰.۸۳۰۰ | ۰.۱۴۱۷۱ | ۰.۰۵۸۳۴ | ۵.۹۳ |
| ۴۴۰ | ۳.۴۰ | ۲.۲۷۸۰ | ۱.۰۰۳۱۶ | ۱.۲۱۷۲ | ۰.۲۰ ۴ | ۰.۸۳۹۳ | ۰.۱۴۳۴۳ | ۰.۰۵۷۶۵ | ۶.۴۳ |
| ۴۴۳ | ۳.۵۰ | ۲.۳۰۷۱ | ۱.۰۰۳۶۸ | ۱.۲۲۳۳ | ۰.۲۰۴۹۴ | ۰.۸۴۷۳ | ۰.۱۴۵۰۰ | ۰.۰۵۷۰۳ | ۶.۹۵ |
| ۴۴۶ | ۳.۶۰ | ۲.۳۴۳۱ | ۱.۰۰۵۰۸ | ۱.۲۲۸۷ | ۰.۲۰۴۴۸ | ۰.۸۵۰۳ | ۰.۱۴۶۴۳ | ۰.۰۵۶۴۶ | ۷.۴۸ |
| ۴۴۹ | ۳.۷۰ | ۲.۳۷۶۳ | ۱.۰۰۶۳۷ | ۱.۲۳۳۷ | ۰.۲۰۴۷۳ | ۰.۸۶۳۳ | ۰.۱۴۷۷۳ | ۰.۰۵۵۹۴ | ۸.۰۳ |
| ۴۵۲ | ۳.۸۰ | ۲.۴۰۷۰ | ۱.۰۰۷۵۵ | ۱.۲۳۸۳ | ۰.۲۰۴۶۸ | ۰.۸۶۸۵ | ۰.۱۴۸۹۱ | ۰.۰۵۵۴۷ | ۸.۶۰ |
| ۴۵۵ | ۴.۰۸۰ | ۲.۴۳۵۵ | ۱.۰۰۸۶۵ | ۱.۲۴۲۵ | ۰.۲۰۴۶۱ | ۰.۸۷۴۴ | ۰.۱۵۰۰۰ | ۰.۰۵۰۰۴ | ۹.۱۹ |
| ۴۵۸ | ۵.۰۰ | ۲.۴۷۱۹ | ۱.۰۰۹۶۶ | ۱.۲۴۶۴ | ۰.۲۰۴۰۴ | ۰.۸۷۹۷ | ۰.۱۵۱۰۱ | ۰.۰۴۹۶۵ | ۹.۷۹ |

$\frac{M_1}{M_0} = v$ راپیدا میکنیم . باتوجه بملاحظات معماری طول ماهیچه را انتخاب کرده و $\lambda = \frac{\text{طول ماهیچه}}{\text{طول تیر}}$ را بدست میآوریم . نظر بآنکه نسبت لنگرهای انتهائی وحداکثر در دهانه تیر برابر نسبت لنگرهای مقاوم مقاطع انتهائی و وسطی تیر میباشد (زیرا تنش مجاز در هر دو مساویست) لذا در ستون $\frac{S_1}{S_0}$ جدول درقسمت مربوط به $\lambda$ ی مورد نظر آن مقداری را که نزدیکتر بمقدار v است پیدا کرده و $\frac{h_1}{h_0}$ و سایر ضرائب تیر را که در سطر مربوط بآن واقعند بدست میآوریم . سپس برای مقدار $M_0$ تیری را از جدول مقاطع I انتخاب کرده و باتوجه بمقدار I آن ضرائب عمومی ولنگرهای گیرداری جدید تیررا بدست میآوریم . پس از آنکه این کار برای کلیه تیرهای ساختمان انجام شده با ضرائب جدید مجدداً قاب را تجزیه وتحلیل کامل می‌نمائیم .

پس از تجزیه و تحلیل کامل لنگرهای انتهائی و حداکثر در طول دهانه تیرها مشخص میشوند و برای کنترل تیرهای انتخاب شده عملیات زیر را انجام میدهیم :

نخست مقادیر $S'_1$ و $S'_0$ را پیدا میکنیم که برابرند با :

$$S'_1 = \frac{M_1}{\sigma} \quad و \quad S'_0 = \frac{M_0}{\sigma}$$

که در آن $\sigma$ تنش مجاز فولاد است . اما چنانچه ملاحظه شد در تیر انتخاب شده داشتیم $v = \frac{S_1}{S_0}$ لذامقدار $S''_0$ را بصورت زیر محاسبه می‌نمائیم :

$$S''_0 = \frac{S'_1}{v}$$

اگر لنگرهای مقاوم $S'_0$ و $S''_0$ که بدینترتیب بدست میآیند اختلاف زیادی نداشته باشند و بتوان برای هر دو از جدول یک مقطع را انتخاب کرد محاسبه برای این عضو پایان یافته وکافی است که مقطعی بالنگرمقاوم $S'_0$ یا $S''_0$ را بعنوان تیر اولیه انتخاب کرده ، سپس آنرا از روی مشخصات مربوط به $\lambda$ و $\frac{h_1}{h_0}$ ماهیچه دار کرد .

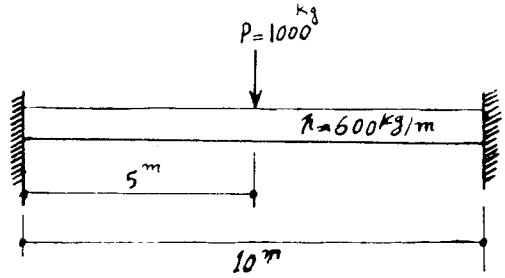
اما اگر $S'_0$ و $S''_0$ باهم اختلاف زیادی داشته باشند در اینصورت باز هم مثل سابق نسبت $v = \frac{S'_1}{S'_0} = \frac{M_1}{M_0}$ را پیدا کرده و با تعیین مشخصات جدید تیر و بکمک جدول محاسبات را تکرار نمائیم و این عمل را آنقدر ادامه میدهیم تا بنتیجهٔ مطلوب برسیم . البته میتوان برای جلوگیری از اتلاف وقت مقطع تیر را برای یکی از مقادیر $S'_0$ و $S''_0$ که بیشتر است انتخاب کرده و محاسبات را پایان داد که دراینصورت مصالح بیشتری مصرف میگردد .

۲- ممکن است برای محاسبهٔ قاب از ابتدا تیرهای آنرا ماهیچه‌ای فرض کنیم . پس در اینمورد $\lambda$ ونسبت $\frac{h_1}{h_0}$ را با توجه بطرح معماری و بارگذاری انتخاب کرده و آنگاه ضرائب تیر را بدست آورده با این

ضرائب قاب را تجزیه وتحلیل کامل می‌نمائیم . سپس مطابق آنچه که قبلاً بیان شد مقاطع را کنترل ومحاسبات را تکرار میکنیم با رعایت این رویه زودتر نتیجهٔ مطلوب حاصل میگردد .

برای نشان دادن طرز استفاده از جدول مثال زیر حل میشود :

مثال- مطلوب طرح تیر دو سر گیرداری مطابق (شکل ۷) است .




(شکل ۷)

ابتدا تیررا بصورت منشوری فرض کرده ومقطع مورد لزوم را تعیین میکنیم . مقادیر لنگرهای انتهائی و ماکزیمم تیر برابرند با :

$$M_1 = -\frac{pl^2}{12} - \frac{P \cdot l}{8} = -6250 \ \text{mKg}$$

$$M_0 = \frac{pl^2}{24} + \frac{Pl}{8} = 3750 \ \text{mKg}$$

چون $M_1$ از $M_0$ بزرگتر است پس باید مقطع تیر منشوری برای این لنگر طرح شود :

$$S'_1 = \frac{M_1}{\sigma} = \frac{625000}{1400} = 447 \ \text{Cm}^3$$

با استفاده از جدول ملاحظه میشود که برای این لنگرمقاوم تیرآهن ۲۶ با لنگر مقاوم $\text{Cm}^3$(۴۴۲) مناسب است ، که وزن واحد طول آن Kg۴۱٫۹ میباشد ، پس وزن کل تیر دراینحالت برابر است با :

$$41{,}9 \times 10 = 419 \ \text{Kg}$$

حال فرض میکنیم که تیر ماهیچه‌ای بوده و برای آن :

$$\frac{h_1}{h_0} = 2 \quad \text{و} \quad \lambda = 0{,}25$$

با استفاده از جدول ضرائب مورد لزوم چنین بدست میآیند :

۰٫۹۸۹۴=ضریب لنگر گیرداری برای بار گسترده یکنواخت

۰٫۱۵۳۸۲=ضریب لنگر گیرداری برای بار متمرکز در وسط دهانه

$\frac{S_1}{S_0}$=۲٫۵۵ نسبت لنگرهای مقاوم انتهای ماهیچه‌ها به لنگر مقاوم وسط دهانه

و لذا لنگر گیرداری جدید بقرار زیر است :

$$M_1 = -٠٫٠٩٨٩٤ \times pl^2 - ٠٫١٥٣٨٢ \times P.l$$

$$M_1 = -٧٤٧٤٫٦ \, mKg$$

لنگر ماکزیمم واقع در وسط دهانه میشود :

$$M_o = ٢٥٢٥٫٤ \, mKg$$

پس طبق آنچه که فوقاً بیان شد تیر ماهیچه‌ای را که انتخاب کرده‌ایم کنترل می‌نمائیم داریم :

$$S'_1 = \frac{M_1}{\sigma} = \frac{٧٤٧٤٦٠٫٠}{١٤٠٠} = ٥٣٤ \quad Cm^3$$

$$S'_o = \frac{M_o}{\sigma} = \frac{٢٥٢٥٤٠}{١٤٠٠} = ١٨٠٫٥ \quad Cm^3$$

$$S''_o = \frac{M_1}{v} = \frac{٥٣٤}{٢٫٥٥} = ٢٠٩ \quad Cm^3$$

با مراجعه بجدول مقاطع I ملاحظه میشود که برای مقادیر $S'_o$ و $S''_o$ تیر آهن ۲۰ مناسب است ولذا دیگر حتیاجی بادامهٔ محاسبات نیست. وزن واحد طول این تیر آهن Kg/m ۲۶٫۲ است و چون وزن ورقهای‌لازم برای ایجاد ماهیچه را نیز درآن بحساب آوریم وزن کل تیر میشود :

$$W = W_B + W_p$$

$$W_B = ١٠ \times ٢٦٫٢ = ٢٦٢ Kg$$

وزن ورق میشود :

$$W_p = (h_1 - h_o) \times \lambda l \times t\omega \times D =$$

$$(٢ \times ٢٠ - ٢٠) \times ٠٫٢٥ \times ١٠٠٠ \times ٠٫٧٥ \times ٧٫٨٥ = ٢٩٥٠٠ \quad gr$$

$$W = ٢٦٢ + ٢٩٫٥ = ٢٩١٫٥ \quad Kg$$

و اختلاف وزن این تیر با تیر منشوری که قبلاً انتخاب شده بود برابر است با :

$$٤١٩ - ٢٩١٫٥ = ١٢٧٫٥ \quad Kg$$

و نسبت این اختلاف وزن بوزن تیر منشوری میشود :

$$\frac{١٢٧٫٥}{٤١٩} = ٠٫٣٠٤ = ٣٠٫٤٪$$

یعنی با انتخاب تیر ماهیچه‌ای با ابعاد مشخص شده وزن تیر ۳۰٫٤ درصد سبکترشده است.

باید توجه داشت که مسأله برش و کمانهٔ جان تیر بخصوص در قسمت ماهیچه‌ای آن دراین نوع تیرها حائز کمال اهمیت است که باید حتماً کنترل شود. ودرصورت لزوم مواضع خطرناك تیر تقویت گردد.