آنالیز کامل قابهای مسطح بروش کانی (Kani) و روش تاکابایا (Takabeya) با استفاده از حسابگر الکترونیک (Computer)

نوشته :

خسرو رحیم قشقائی

فوق لیسانس ساختمان

امروزه بیشتر محاسبات دقیق ساختمانها بوسیله حسابگر الکترونیک بکمک روشهای ماتریسی صورت میگیرد . برای استفاده از این روشها (Stiffness & Force method) باید مقاطع کلیه اعضاء ساختمان مشخص باشند . لیکن چون برای طرح ساختمان هنوز برنامه های جالبی تدوین نشده است . لذا بهتر آنست که ابتدا بکمک روشهای معمولی مقاطع ساختمان طرح شده سپس بکمک روشهای ماتریسی ساختمان مورد نظر آنالیز دقیق گردیده ومقاطع اعضاء آن کنترل شود .

روشهای معمولی آنالیز ساختمانها که اکنون بیشتر بکار میروند بر اساس آنالیز قابهای دو بعدی میباشد . این عمل بکمک معادلات «ضریب زاویه تغییرمکان» یا روشهای قدم بقدم کراس و کانی وتاکابایا انجام میگیرد . اصولا تقریب این روشها برای ساختمانهای معمولی قابل قبول است ولی درساختمانهائی که دارای اشکال پیچیده‌اند استفاده از روشهای ماتریسی مناسبتر است .

متداولترین روش آنالیز قابها روش کراس است . لیکن چون آنالیز قابها برای حرکت جانبی ساختمان (sidesway) درحالت ساختمانهای نامتقارن ودرحالتیکه نیروی افقی برساختمان وارد شود بکمک روش کراس مستلزم حل دستگاه معادلات خطی است بعلاوه در محاسبات با دست احتمال ارتکاب اشتباه زیاد میباشد و این اشتباهات ممکن است بهم اضافه شده وجوابهای حاصله بکلی غلط شوند .

در روشهای کانی و تاکابایا میتوان بطریق قدم بقدم اثرحرکت جانبی ساختمان را نیز درنظر گرفت بعلاوه در محاسباتی که با دست انجام میشود چنانچه اشتباهی در محاسبه رخ دهد بتدریج که محاسبه ادامه مییابد این اشتباه خود بخود جبران شده و جوابهای حاصله عاری از هرگونه اشتباهی خواهد بود و بعلاوه ازنظر برنامه‌ریزی و اشغال حافظهٔ حسابگر نیز این روشها بروش کراس برتری دارد .

شرح مفصل این روشها در مراجع شمارهٔ (۱) و (٤) بتفصیل نوشته شده است. دراینجا تنها شرح کوتاهی درمورد این روشها برای حالتیکه اعضاء قاب ماهیچه‌ای باشند که توسط نگارنده براساس ضرائب معادلات برس تنظیم گردیده است آورده میشود. این روشها طوری تنظیم شده است که بسادگی بتوان از جداول (۲ و ۳) که برای این تیرها تهیه شده استفاده کرد.

صورت کلی معادلات برس برای تیر ab بعبارت زیر است:

$$\begin{cases} \theta_a = \theta'_a - aM_{ab} + bM_{ba} + \Omega_{ab} \\ \theta_b = \theta'_b + bM_{ab} - cM_{ba} + \Omega_{ab} \end{cases}$$

که درآن θ_a و θ_b دورانهای حقیقی دو انتهای تیر، θ'_a و θ'_b دورانهای دوانتهای آن تحت اثر بارهای قائم و M_{ab} و M_{ba} لنگرهای دوانتهای a و b و:

$$\Omega_{ab} = \frac{\triangle}{l}$$

برابر زاویه دوران تیر دراثر تغییر مکان قائم نسبی دو انتهای آنست. a و b و c نیز ضرائب معادلات برس میباشند که بستگی بشکل هندسی تیر داشته و برابرند با:

$$a = \int_{0}^{l} (1 - \frac{x}{l})^2 \frac{d_x}{EI_x}$$

$$b = \int_{0}^{l} \frac{x}{l} (1 - \frac{x}{l}) \frac{d_x}{EI_x}$$

$$c = \int_{0}^{l} (\frac{x}{l})^2 \frac{d_x}{EI_x}$$

که برای تیرهای منشوری داریم:

$$a = 2b = c = \frac{l}{3EI}$$

حال چنانچه مقادیر M_{ab} و M_{ba} را از روابط فوق استخراج کنیم خواهیم داشت:

$$\begin{cases} M_{ab} = \frac{1}{ac - b^2} \times [-c(\theta_a - \theta'_a - \Omega_{ab}) - b(\theta_b - \theta'_b - \Omega_{ab})] \\ M_{ba} = \frac{1}{ac - b^2} \times [-b(\theta_a - \theta'_a - \Omega_{ab}) - c(\theta_b - \theta'_b - \Omega_{ab})] \end{cases}$$

دراین روابط جهت مثبت لنگرهای انتهائی جهت عقربه‌های ساعت وجهت مثبت دورانها جهت مثلثاتی است اگر جهت مثبت دورانها را نیز عقربه‌های ساعت اختیار کنیم یعنی فرض نمائیم که:

$$\theta_a = -\theta_a \qquad \theta_b = -\theta_b \qquad \theta'_a = -\theta'_a \qquad \theta'_b = -\theta'_b \qquad \Omega_{ab} = -\Omega_{ab}$$

و باتوجه باینکه :

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

و

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

برحسب تعریف ضرائب سختی تیر (۳) میباشند و بافرض :

$$L_{ab}=\frac{b}{ac-b^{2}}$$

خواهیم داشت :

$$\left\{\begin{array}{l} M_{ab}=k_{ab}(\theta_a-\theta'_a-\Omega_{ab})+L_{ab}(\theta_b-\theta'_b-\Omega_{ab}) \\ M_{ba}=L_{ab}(\theta_a-\theta'_a-\Omega_{ab})+k_{ba}(\theta_b-\theta'_b-\Omega_{ab}) \end{array}\right. \quad (۱)$$

حال اگر تیر درسرگیردار بوده و تحت اثر بارهای قائم قرارگیرد دراینحال داریم :

$$\theta_a=\theta_b=\Omega_{ab}=0$$

و لذا لنگرهای دو انتهای تیر تبدیل بلنگرهای گیرداری میشوند که آنها را با $\mathscr{M}$ نشان میدهیم ، پس داریم :

$$\left\{\begin{array}{l} \mathscr{M}_{ab}=-(k_{ab}\theta'_a+L_{ab}\theta'_b) \\ \mathscr{M}_{ba}=-(k_{ba}\theta'_b+L_{ab}\theta'_a) \end{array}\right. \quad (۲)$$

و چون ضرائب انتقال تیر (۳) برابرند با :

$$c_{ab}=\frac{b}{c}$$

و

$$c_{ba}=\frac{b}{a}$$

ملاحظه میشود که میتوان نوشت :

$$L_{ab}=c_{ab}\cdot k_{ab}=c_{ba}\cdot k_{ba}$$

پس لنگرهای گیرداری را میتوان بشکل زیر نوشت :

$$\left\{\begin{array}{l} \mathscr{M}_{ab}=-k_{ab}(\theta'_a+C_{ab}\theta'_b) \\ \mathscr{M}_{ba}=-k_{ba}(\theta'_b+C_{ba}\theta'_a) \end{array}\right. \quad (۲')$$

و بهمین ترتیب اگر :

$$\theta_a=\theta_b=0 \quad \text{و} \quad \theta'_a=\theta'_b=0$$

باشد یعنی تیر دوسر گیردار وبدون بار قائم بوده ولی دوانتهای‌آن تغییرمکان نسبی Δ داشته باشند دراینحال مقادیر لنگرهای گیرداری که آنها را با m نشان میدهیم برابرند با :

$$(۳)\quad \begin{cases} m_{ab}=-(k_{ab}+L_{ab})\cdot\Omega_{ab}=-k_{ab}(1+C_{ab})\cdot\dfrac{\Delta}{l} \\ m_{ba}=-(k_{ba}+L_{ab})\cdot\Omega_{ab}=-k_{ba}(1+C_{ba})\cdot\dfrac{\Delta}{l} \end{cases}$$

با توجه بروابط (۲) و (۳) میتوان رابطهٔ (۱) را بشکل زیر نوشت :

$$(۴)\quad \begin{cases} M_{ab}=k_{ab}\theta_a+L_{ab}\theta_b+\mathscr{M}_{ab}+m_{ab} \\ M_{ba}=k_{ba}\theta_b+L_{ab}\theta_a+\mathscr{M}_{ba}+m_{ba} \end{cases}$$

یا :

$$(۴')\quad \begin{cases} M_{ab}=k_{ab}\cdot(\theta_a+C_{ab}\theta_b)+\mathscr{M}_{ab}+m_{ab} \\ M_{ba}=k_{ba}\cdot(\theta_b+C_{ba}\theta_a)+\mathscr{M}_{ba}+m_{ba} \end{cases}$$

اساس محاسبه در روشهای کراس (Cross) وکانی (Kani) و تاکابایا (Tackabaya) همین روابط (۴) و ('۴) میباشند. این روابط درحقیقت همان روابط (Slope—deflection) در حالت کلی یعنی برای تیرهای ماهیچه‌ای است.

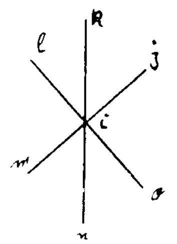
شرح روشهای کانی و تاکابایا بقرار زیر است :

الف ـ روش کانی :

درروش کانی مقادیر $k_{ab}\cdot\theta_a$ و $k_{ba}\cdot\theta_b$ درروابط (۴) رابنام مؤلفه های گردشی لنگرهای انتهائی تیر ab (Rotation Contribution) نامیده و بشکل M'_{ab} و M'_{ba} نشان میدهند پس رابطهٔ (۴) بصورت زیر نوشته میشود :

$$(۵)\quad \begin{cases} M_{ab}=M'_{ab}+C_{ab}\cdot M'_{ba}+\mathscr{M}_{ab}+m_{ab} \\ M_{ba}=M'_{ba}+C_{ba}\cdot M'_{ab}+\mathscr{M}_{ba}+m_{ba} \end{cases}$$

هدف روش کانی محاسبهٔ مقادیر M'_{ab} و M'_{ba} و m_{ab} و m_{ba} برای هرعضو قاب میباشد.



پس اگر فرض کنیم که گره‌های قاب دارای حرکت نسبی افقی و قائم نیستند وبه هر گره n عضو متصل باشد ملاحظه میشود که در هرگره n مجهول مؤلفه گردشی لنگر موجوداست واگر قاب m گره داشته

باشد تعداد مجهولات $n \cdot m$ میشود که این مجهولات بروش تقریبات متوالی (Relaxation) محاسبه میشوند.

اگر رابطهٔ تعادل لنگرها را برای یک گره (i) که فرض نمودیم (n) عضو بآن متصل است بنویسیم نتیجه میشود:

$$M_{ij}+M_{ik}+M_{ir}+\cdots\cdot=\underset{\text{i در گره}}{\Sigma} M_{ij}=o$$

که اگر بجای M_{ij} مقدار آنرا از روابط (٥) قرار دهیم میشود:

$$\underset{i}{\Sigma}M'_{ij}+\underset{i}{\Sigma}C_{ij}M'_{ji}+\underset{i}{\Sigma}\mathscr{M}_{ij}+\underset{i}{\Sigma}m_{ij}=o$$

و چنانچه $\underset{i}{\Sigma}\mathscr{M}_{ij}$ یعنی مجموع لنگرهای گیرداری اعضاء متصل بگره (i) را با $\overline{M}_i$ نشان داده وآنرا لنگر گره بنامیم نتیجه میشود:

$$\Sigma M'_{ij}=-[\Sigma C_{ij}\cdot M'_{ji}+\overline{M}_i+\Sigma m_{ij}] \qquad (٦)$$

ولی همانطور که ملاحظه شد فرض شده بود که:

$$\begin{cases} M'_{ij}=k_{ij}\cdot\theta_i \\ M'_{ji}=k_{ji}\cdot\theta_j \end{cases}$$

پس باتوجه باینکه دوران انتهای (i) کلیه اعضاء متصل بگره (i) برابر θ_i میباشد لذا داریم:

$$\underset{i}{\Sigma}M'_{ij}=\theta_i\times\underset{i}{\Sigma}k_{ij}$$

یا:

$$\theta_i=\frac{١}{\underset{i}{\Sigma}k_{ij}}\times\underset{i}{\Sigma}M'_{ij}$$

و از اینجا نتیجه میشود که:

$$M'_{ij}=k_{ij}\theta_i=\frac{k_{ij}}{\underset{i}{\Sigma}k_{ij}}\times\underset{i}{\Sigma}M'_{ij}$$

با فرض:

$$v_{ij}=\frac{-k_{ij}}{\underset{i}{\Sigma}k_{ij}}$$

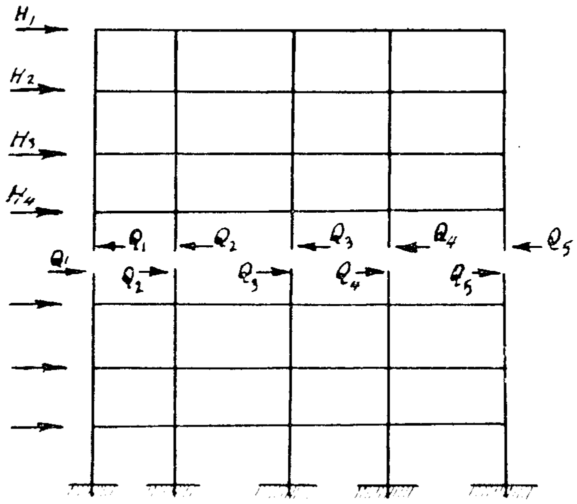
بنام ضریب گردش (Rotation Factor) عضو ij و باتوجه برابطهٔ (٦) نتیجه میشود:

$$M'_{ij}=v_{ij}\cdot[\overline{M}_i+\underset{i}{\Sigma}C_{ij}M'_{ji}+\underset{i}{\Sigma}m_{ij}] \qquad (٧)$$

ملاحظه میشود که چنانچه در گره (i) مقادیر $\overline{M}_i$ و M'_{ji} و M'_{ki} و ... و m_{ij} و m_{ik} و .... معلوم باشند میتوان M'_{ij} و M'_{ik} و ... را بکمک رابطهٔ (٧) حساب کرد. اما در میان مقادیر فوق تنها:

$$\overline{M}_i=\Sigma\mathscr{M}_{ij}$$

است که با معلوم بودن شکل بارگذاری معلوم میباشد و M'_{ji} و m_{ij} اعضاء معلوم نیستند. در مورد قابهای ساختمانی چون‌ازتغییرشکل محوری اعضاءآن صرفنظر کنیم ملاحظه میشود که‌مقادیر m_{ij} و m_{ji} برای تیرهای قاب که دارای تغییرمکان نسبی پایه‌ها نیستند برابر صفر بوده و برای ستونها نیز درحالتی وجود دارند که قاب دارای حرکت جانبی باشد و مقدار آنها بصورت زیر محاسبه میشوند :



قابی را مطابق شکل فرض میکنیم اگر درطبقه r ام از بالا ستونهای‌آنرا قطع کنیم و نیروی برشی دراین ستونها را Q فرض کنیم نتیجه میشود :

$$\sum_{r} Q_{ij} = -\sum_{i=1}^{r} Hi$$

وچون برای هرستون ij داریم :

$$Q_{ij} = \frac{M_{ij}+M_{ji}}{h_{ij}}$$

و بااستفاده از روابط (۷) خواهیم داشت :

$$Q_{ij} = \frac{1}{h_{ij}}[(1+C_{ji})M'_{ij}+(1+C_{ij})M'_{ji}+\mathscr{M}_{ij}+\mathscr{M}_{ji}+m_{ij}+m_{ji}]$$

بافرض اینکه همواره برای ستونها :

$$\mathscr{M}_{ij}+\mathscr{M}_{ji}=0$$

است و با فرض اینکه :

$$\begin{cases} D_{ij}=1+C_{ij} \\ D_{ji}=1+C_{ji} \end{cases}$$

و

$$\overline{m}_{ij}=m_{ij}+m_{ji}$$

مقدار Q_{ij} بعبارت زیر خواهد شد :

$$Q_{ij}=(D_{ji}M'_{ij}+D_{ij}M'_{ji}+\overline{m}_{ij}) \times \frac{1}{h_{ij}}$$

پس شرط تعادل نیروهای برشی و نیروهای افقی وارد بر ساختمان با فرض اینکه کلیهٔ ستونهای طبقهٔ r ام ازساختمان هم‌ارتفاع بوده و ارتفاعشان برابر h_r باشد بصورت زیر درمی‌آید :

$$\sum_r Q_{ij} = \frac{1}{h_r} \cdot \left[\sum_r (D_{ji}M'_{ij} + D_{ij}M'_{ji}) + \sum_r \overline{m_{ij}}\right] = -\sum_{i=1}^{r} H_i$$

و ازآنجا نتیجه میشود :

$$\sum_r m_{ij} = -\left[h_r \cdot \sum_{i=1}^{r} H_i + \sum_r (D_{ji}M'_{ij} + D_{ij}M'_{ji})\right] \qquad (8)$$

باتوجه بروابط (۳) داریم :

$$\begin{cases} m_{ij} = -k_{ij}D_{ij} \cdot \dfrac{\Delta}{h_{ij}} \\ m_{ji} = -k_{ji}D_{ji} \cdot \dfrac{\Delta}{h_{ij}} \end{cases}$$

$$\overline{m_{ij}} = -(k_{ij}D_{ij} + k_{ji}D_{ji}) \times \frac{\Delta}{h_{ij}}$$

پس نتیجه میشود که :

$$\begin{cases} m_{ij} = \dfrac{k_{ij} \cdot D_{ij}}{k_{ij} \cdot D_{ij} + k_{ji} \cdot D_{ji}} \cdot \overline{m_{ij}} \\ m_{ji} = \dfrac{k_{ji} \cdot D_{ji}}{k_{ij} \cdot D_{ij} + k_{ji} \cdot D_{ji}} \cdot \overline{m_{ij}} \end{cases} \qquad (9)$$

و برای طبقهٔ r ام قاب باتوجه باینکه Δ برای کلیه ستونها مساویست نتیجه میشود :

$$\sum_r \overline{m_{ij}} = \left[\sum_r (k_{ij}D_{ij} + k_{ji}D_{ji})\right] \times \frac{\Delta}{h_r}$$

و ازاینجا میتوان نتیجه گرفت :

$$\overline{m_{ij}} = \frac{k_{ij} \cdot D_{ij} + k_{ji} \cdot D_{ji}}{\sum_r (k_{ij} \cdot D_{ij} + k_{ji} \cdot D_{ji})} \times \sum_r \overline{m_{ij}}$$

حال باتوجه برابطهٔ (۹) مقادیر m_{ij} و m_{ji} برای یک ستون ij بصورت زیر درمیآید :

$$\begin{cases} m_{ij} = -\dfrac{k_{ij} \cdot D_{ij}}{\sum_r (k_{ij}D_{ij} + k_{ji}D_{ji})} \times \sum_r \overline{m_{ij}} \\ m_{ji} = -\dfrac{k_{ij} \cdot D_{ij}}{\sum_r (k_{ij}D_{ij} + k_{ji}D_{ji})} \times \sum_r \overline{m_{ij}} \end{cases}$$

و با فرض :

$$M_r = h_r \times \sum_{i=1}^{r} H_i$$

بنام لنگر طبقه و :

$$\eta_{ij}=\frac{-k_{ij}\cdot D_{ij}}{\sum_r(k_{ij}D_{ij}+k_{ji}D_{ji})}$$

و

$$\eta_{ji}=\frac{-k_{ji}\cdot D_{ji}}{\sum_r(k_{ij}D_{ij}+k_{ji}D_{ji})}$$

بنام ضرائب تغییرمکان نتیجه میشود :

$$\left\{\begin{array}{l} m_{ij}=\eta_{ij}\cdot[M_r+\sum_r(D_{ji}M'_{ij}+D_{ij}M'_{ji})] \\ m_{ji}=\eta_{ji}\cdot[M_r+\sum_r(D_{ji}M'_{ij}+D_{ij}M'_{ji})] \end{array}\right. \qquad (۱۰)$$

در این روابط M_r برای هرطبقه برحسب نیروهای وارد بطبقات بالاتر آن معلوم است ولی M'_{ij} و M'_{ji} ستونهای هرطبقه معلوم نیستند که باید حساب شوند تا دراین فرمولها بکار روند.

باین ترتیب روابط (۷) و (۱۰) روابط اساسی محاسبه بروش کانی هستند. طرز محاسبه بقرار زیر است :

ابتدا مقادیر دلخواهی (مثلا صفر) برای M'_{ij} و M'_{ji} و m_{ij} و m_{ji} کلیه اعضاء قاب فرض کرده و با بکار بردن رابطهٔ (۷) برای کلیهٔ گرههای قاب و رابطهٔ (۱۰) برای کلیه طبقات قاب مقادیر جدیدی برای مؤلفه های گردشی و تغییر مکانی اعضاء آن بدست میآوریم. بدون شک این مقادیر با مقادیر فرضی اختلاف فاحشی دارند. لذا بااستفاده ازاین مقادیر جدید دوباره رابطهٔ (۷) را برای کلیه گرهها و رابطهٔ (۱۰) رابرای کلیهٔ طبقات اجرا می کنیم مقادیر جدیدی که بدست میآیند بمقادیر قبلی نزدیکترند برای اینکه این اختلاف تا حداقل ممکنه پائین بیاید لازمست این عمل چندین بار تکرار شود. یعنی بکمک مقادیر محاسبه شده وروابط (۷) و (۱۰) مقادیرجدیدی برای مؤلفه های دورانیوتغییرمکانی بدستآورده و بامقادیر قبلیمقایسه کردههروقت بزرگترین اختلاف ازحد دلخواهی کمترشد محاسبه پایان یافتهاست وميتوان بكمك مقادیرمحاسبه شدهٔ M'_{ij} و M'_{ji} و m_{ij} و m_{ji} ولنگرهای گیرداری $\mathscr{M}_{ij}$ و $\mathscr{M}_{ji}$ اعضاء قابورابطهٔ(۶) مقادیر M_{ij} و M_{ji} یعنی لنگرهای انتهائی واقعی را بدست آورد.

ب ـ روش تاکابایا :

دراین روش مجهولات را مقادیر θ یعنی دوران گرهها و m_{ij} و m_{ji} اعضاء قاب درنظر میگیرند واین مقادیر را بکمک روش تقریبات متوالی (Relaxaticn) تعیین می کنند. باین ترتیب اگر مثلا در یک قاب مسطح ازاثر تغییرمکان نسبی گرهها صرفنظر کنیم ملاحظه میشود که در یک گره (i) که (n) عضو بآن متصل است تنها یک مجهول θ_i موجود است درحالیکه در روش کانی چنانچه ملاحظه شد تعداد مجهولات (n) بود. بدین ترتیب مزیت روش تاکابایا بر روش کانی روشن میگردد ومدت زمانی که برای محاسبهٔ قابها با این روش صرف میشود (چه محاسبه بادست وچهبوسیله حسابگرهای الکترونیک) بسیار کوتاهتر خواهدبود.

باتوجه بروابط (۶) اگر در یک گره (i) از قابی شرط تعادل لنگرها نوشته شود، داریم :

$$\sum_i M_{ij} = \theta_i \sum_i k_{ij} + \sum_i (L_{ij}\theta_j) + \sum_i m_{ij}$$

و با فرض :

$$\overline{M}_i = \sum_i \mathscr{M}_{ij}$$

مقدار θ_i بصورت زیر بدست می‌آید :

$$\theta_i = -\frac{1}{\sum_i k_{ij}} \times [\overline{M}_i + \sum_i (L_{ij}\theta_j) + \sum_i m_{ij}]$$

که بافرض :

$$\mu_{ij} = \frac{-1}{\sum_i k_{ij}}$$

بنام ضریب گردش بصورت زیر درمی‌آید :

$$\theta_i = \mu_{ij} \times [M_i + \sum_i (L_{ij} \cdot \theta_j) + \sum_i m_{ij}] \qquad (11)$$

بکمک رابطهٔ (۱۱) چنانچه θ_j و $\sum_i m_{ij}$ معلوم باشد میتوان θ_i را بدست آورد.

محاسبهٔ m_{ij} مانند روش کانی باتوجه بتعادل نیروهای برشی ستونها با نیروهای افقی وارد بر بالای هرطبقه تعیین میشود. پس اگر برای طبقه r ام از بالا این رابط را بنویسیم داریم :

$$\Sigma Q_{ij} = -\sum_{i=1}^{r} H_i$$

و باتوجه بروابط (٤) داریم :

$$Q_{ij} = \frac{1}{h_{ij}} [(k_{ij}+L_{ij})\theta_i + (k_{ji}+L_{ji})\theta_j + \mathscr{M}_{ij} + \mathscr{M}_{ji} + m_{ij} + m_{ji}]$$

چون :

$$L_{ij} = C_{ij} \cdot k_{ij} = C_{ji} \cdot k_{ji}$$

بوده و درستونها اکثراً :

$$\mathscr{M}_{ij} + \mathscr{M}_{ji} = 0$$

میباشد و با فرض :

$$D_{ij} = 1 + C_{ij}$$

$$D_{ji} = 1 + C_{ji}$$

$$\overline{m}_{ij} = m_{ij} + m_{ji}$$

نتیجه می‌شود :

$$Q_{ij} = \frac{1}{h_{ij}} \times (k_{ij}D_{ij}\theta_i + k_{ji}D_{ji}\theta_j + \overline{m}_{ij})$$

پس رابطهٔ تعادل نیروهای برشی و نیروهای افقی وارد بر بالای طبقه بصورت زیر درمی‌آید :

$$\sum_r Q_{ij} = \frac{1}{h_r} \times [\sum_r (k_{ij}D_{ij}\theta_i + k_{ji}D_{ji}\theta_j) + \sum_r \overline{m}_{ij} = -\sum_{i=1}^{r} H_i$$

با فرض :

$$M_r = h_r \Sigma H_i$$

نتیجه میشود :

$$\Sigma \overline{m}_{ij} = -[M_r + \sum_r (k_{ij} D_{ij} \theta_i + k_{ji} D_{ji} \theta_j)]$$

و باتوجه باستدلالی که در روش کانی شد نتیجه میشود :

$$\begin{cases} m_{ij} = \eta_{ij} \cdot [M_r + \sum_r (k_{ij} D_{ij} \theta_i + k_{ji} D_{ji} \theta_j)] \\ m_{ji} = \eta_{ji} \cdot [M_r + \sum_r (k_{ij} D_{ij} \theta_i + k_{ji} D_{ji} \theta_j)] \end{cases} \qquad (۱۲)$$

بنابراین معادلات (۱۱) و (۱۲) نیز روابط اصلی محاسبه بروش تاکابایا میباشند.

بکمک این روابط میتوان بهمان صورت که در روش کانی تشریح شد بکمک تقریبات متوالی مقادیر θ را برای کلیه گرهها و m_{ij} و m_{ji} را برای کلیه ستونها بدست آورد. بدین ترتیب که ابتدا باتوجه به شرایط بارگذاری $\mathscr{M}_{ij}$ و $\mathscr{M}_{ji}$ برای کلیه تیرها محاسبه شده و باتوجه بشکل مقطع عرضی وشکل ماهیچهٔ اعضاء مقادیر k_{ij} و k_{ji} و C_{ij} و C_{ji} آنها بکمک جداول موجود محاسبه میگردند سپس :

$$\mu_{ij} = \frac{-۱}{\sum_i k_{ij}}$$

برای هر گره و η_{ij} و η_{ji} طبق روابط داده شده برای هرستون محاسبه میشود و $\overline{M}_i$ نیز برای کلیه گرهها محاسبه می گردد.

سپس برای مقادیر θ_i و m_{ij} و m_{ji} کلیه گرهها و ستونها مقادیر دلخواهی (مثلا صفر) اختیار شده بااستفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) مقادیر جدیدآنها محاسبه میگردند وچنانچه در روش کانی توضیح دادهشد این عمل آنقدر تکرار میگردد تا تقریب دلخواه بدست آید. پس از اینکه مقادیر θ_i برای کلیه گرهها و m_{ij} و m_{ji} برای همهٔ ستونها محاسبه شدند بکمک رابطهٔ (٤) مقادیر M_{ij} و M_{ji} اعضاء حساب میشوند.

روشهای کانی و تاکابایا برای قابها با اعضاء منشوری :

درصورتیکه عضوی منشوری باشد چنانچه ملاحظه شد برای آن داریم :

$$a = ۲b = c = \frac{1}{۳EI}$$

و ازآنجا :

$$k_{ab} = k_{ba} = \frac{٤EI}{1}$$

$$L_{ab} = \frac{۲EI}{1}$$

$$C_{ab} = C_{ba} = ۰{,}۵$$

و اگر :

$$K_{ab} = \frac{EI}{l}$$

فرض کنیم نتیجه میشود :

$$k_{ab} = k_{ba} = 4K_{ab}$$

$$L_{ab} = 2K_{ab}$$

باتوجه بمقادیر فوق فرمولهای روش کانی بصورت زیر درمیآید :

$$\nu_{ij} = -\frac{k_{ij}}{\sum\limits_{i} k_{ij}} = -\frac{4K_{ij}}{\sum\limits_{i} 4K_{ij}} = -\frac{K_{ij}}{\sum\limits_{i} K_{ij}}$$

$$D_{ij} = D_{ji} = 1.5$$

$$\eta_{ij} = \eta_{ji} = \frac{-1.5 \times 4K_{ij}}{\sum\limits_{r}(1.5 \times 4K_{ij} + 1.5 \times 4K_{ij})} = -0.5\,\frac{K_{ij}}{\sum\limits_{r} K_{ij}}$$

دراینحال فرمولهای (۷) و (۱۰) بصورت زیر درمیآیند :

$$M'_{ij} = \nu_{ij} \times [M_i + 0.5 \times \sum_{i} M'_{ji} + \Sigma m_{ij}] \tag{7'}$$

$$m_{ij} = m_{ji} = \eta_{ij} \times [M_r + 1.5 \times \Sigma(M'_{ij} + M'_{ji})] \tag{10'}$$

ومقدار نهائی لنگرها از رابطهٔ زیر پیدا میشود :

$$\begin{cases} M_{ij} = M'_{ij} + 0.5M'_{ji} + \mathscr{M}_{ij} + m_{ij} \\ M_{ji} = M'_{ji} + 0.5M'_{ij} + \mathscr{M}_{ji} + m_{ji} \end{cases} \tag{5'}$$

فرمولهای روش تاکابایا برای قابها با اعضاء منشوری بصورت زیر درمیآید :

$$\theta_i = \frac{-1}{4\sum\limits_{i} K_{ij}} \times [\sum_{i}(2K_{ij}\theta_j) + \overline{M}_i + \sum_{i} m_{ij}]$$

یا :

$$4\theta_i = -\frac{1}{\sum\limits_{i} K_{ij}} \times [\sum_{i}(2K_{ij}\theta_j) + M_i + \sum_{i} m_{ij}]$$

حال با فرض :

$$\theta_i = 4\theta_i \qquad \text{و} \qquad \theta_j = 4\theta_j$$

و

$$\mu_{ij} = \frac{-1}{\sum\limits_{i} K_{ij}}$$

نتیجه میشود :

$$\theta_i = \mu_{ij} \times [\overline{M}_i + 0.5 \times \sum_i (K_{ij}\theta_j) + \sum_i m_{ij}] \qquad (11')$$

$$m_{ij} = m_{ji} = \eta_{ij} \times [M_r + 1.5 \times \sum_r (K_{ij}\theta_i + K_{ji}\theta_j)] \qquad (12')$$

و لنگرهای انتهائی نیز از فرمولهای زیر بدست میآید :

$$\begin{cases} M_{ij} = K_{ij}(\theta_i + 0.5\ \theta_j) + \mathscr{M}_{ij} + m_{ij} \\ M_{ji} = K_{ji}(\theta_j + 0.5\theta_i) + \mathscr{M}_{ji} + m_{ji} \end{cases} \qquad (4'')$$

درحالتیکه قاب دارای تغییر مکان جانبی نباشد یعنی هنگامیکه خود قاب و بارگذاری آن متقارن بوده و نیروهای افقی برآن وارد شود مقادیر m_{ji} و m_{ij} کلیه ستونها برابر صفر بوده ولذا :

برای روش کانی روابط (۵) و (۷) بصورت زیر درمیآیند :

$$\begin{cases} M_{ij} = M'_{ij} + C_{ij}M'_{ji} + \mathscr{M}_{ij} \\ M_{ji} = M'_{ji} + C_{ji}M'_{ij} + \mathscr{M}_{ji} \end{cases} \qquad (5'')$$

$$M'_{ij} = \nu_{ij}[\overline{M}_i + \sum_i (C_{ij}M'_{ij})] \qquad (7'')$$

و برای محاسبه قاب کافیست که رابطهٔ ("۷) را برای کلیه اعضاء متصل بگره‌های مختلف قاب اجرا کرده پس از حصول دقت کافی بااستفاده از رابطهٔ (۵) مقادیر لنگرهای انتهائی اعضاء محاسبه میشوند .

در روش تاکابایا روابط (٤) و (۱۱) بصورت زیر درمیآیند:

$$\begin{cases} M_{ij} = k_{ij}(\theta_i + C_{ij}\theta_j) + \mathscr{M}_{ij} \\ M_{ji} = k_{ji}(\theta_j + C_{ji}\theta_i) + \mathscr{M}_{ji} \end{cases} \qquad (4'')$$

$$\theta_i = \mu_{ij}[\overline{M}_i + \Sigma(L_{ij} \cdot \theta_j)] \qquad (11'')$$

برای محاسبه قاب کافیست تنها رابطهٔ ("۱۱) برای کلیه گره های قاب اجرا شده پس از حصول دقت کافی مقادیر لنگرهای انتهائی از رابطهٔ ("٤) حساب شوند.

همانطورکه ملاحظه شد در روش کانی برای یک قاب ساده ساختمانی لازمست در هرگره رابطهٔ (۷) چهار بار محاسبه شود درحالیکه در روش تاکابایا رابطهٔ (۱۱) در هرگره تنها یکبار محاسبه می‌شود و همین اختلاف موجب تسهیل محاسبات بروش تاکابایا است . بعلاوه بعلت اینکه در هرگره یک مجهول موجود بوده و محاسبه برای آن اجرا میگردد و درمورد محاسبه بادست مانند روش کانی باعث شلوغی کاغذ محاسبات نمیگردد .

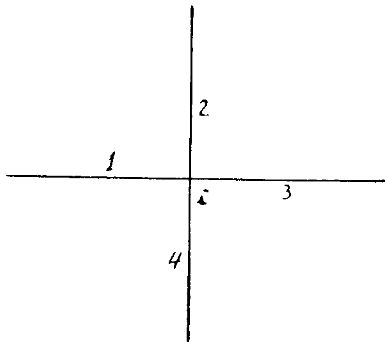
برنامه هائی که جهت حسابگر الکترونیک برای روشهای کانی و تاکابایا نوشته شده است. برای قابها با تیرهای ماهیچه‌ای متقارن و ستونهای منشوری نیز قابل استفاده است و برای این طرز ساختمان که درعمل بیشتر اتفاق می‌افتد طرح گردیده است وشامل دوقسمت مجزا است :

الف ـ برنامهٔ محاسبهٔ لنگرهای انتهائی اعضاء قاب براساس‌آنچه که درفوق بدان اشاره شده نوشته شده است .

ب ـ محاسبهٔ عکس‌العملها ونیروهای محوری تیرها وستونها وتعیین لنگر خمشی ماکزیمم درطول دهانه تیر ومحل اثرآن در تیرها .

الف ـ برنامهٔ محاسبهٔ لنگرهای انتهائی :

در این برنامه که براساس تئوری فوق طرح‌ریزی شده است . برای شناسائی شکل قاب به ماشین برای گرههای قاب نام‌گذاری تصاعدی از چپ براست و از بالا بپائین درنظرگرفته شده است و شماره‌گذاری اعضاء متصل در هرگره بااعداد از یک تا چهار ودرجهت عقربه‌های ساعت مطابق شکل(۵) میباشد. پس اعضاء حول‌گره i مطابق شکل عبارتند از ۱—i و ۲—i و ۳—i و ۴—i .



شکل ۵

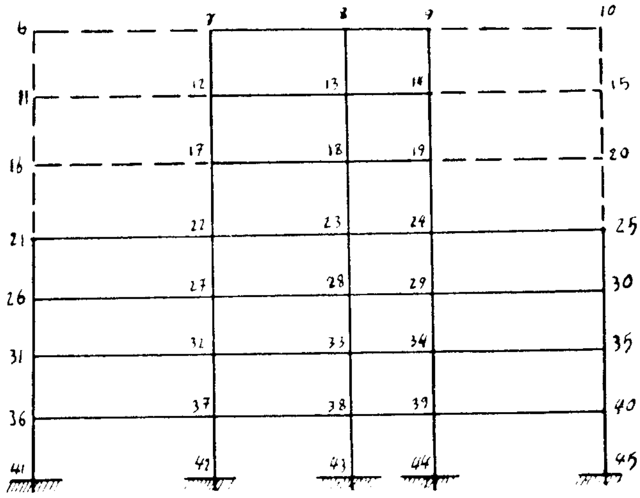
بنا بلزوم برنامه باید همواره در بالای ساختمان یک طبقه فرضی با مشخصات صفر درنظرگرفت باین‌جهت شماره‌گذاری گره‌ها از شمارهٔ (تعداد ستونها بأضافهٔ یک) شروع میشود .

درمورد ساختمانهای پلکانی نیز قابها را بصورت‌کامل درنظرگرفته و شماره‌گذاری بترتیب فوق انجام میشود لیکن برای‌اینکه شکل ساختمان مشخص شود کافیست که شماره‌های اول‌وآخر هرطبقه بماشین داده شود .

بعنوان مثال قاب شکل (۶) شماره‌گذاری میشود :

چون تعداد ستونهای قاب ۵ عدد است لذا شماره‌گذاری از ۶ شروع شده و برای قاب‌کامل شده مطابق شکل (۶) شماره‌گذاری میشود و برای شناساندن شکل پله‌ای قاب شماره‌های اول و آخر هر طبقه بصورت زیر بماشین داده میشود :

7	9
12	14
17	19
21	25
......	
......	



شکل ۶

البته درابتدای برنامه باید تعداد طبقات وتعداد ستونهای قاب را نیز بماشین بدهیم. سپس ضرائب سختی اعضاء اطراف هرگره و بعد از آن لنگرهای گیرداری این اعضاء بصورت معلومات اولیه بماشین داده می‌شود.

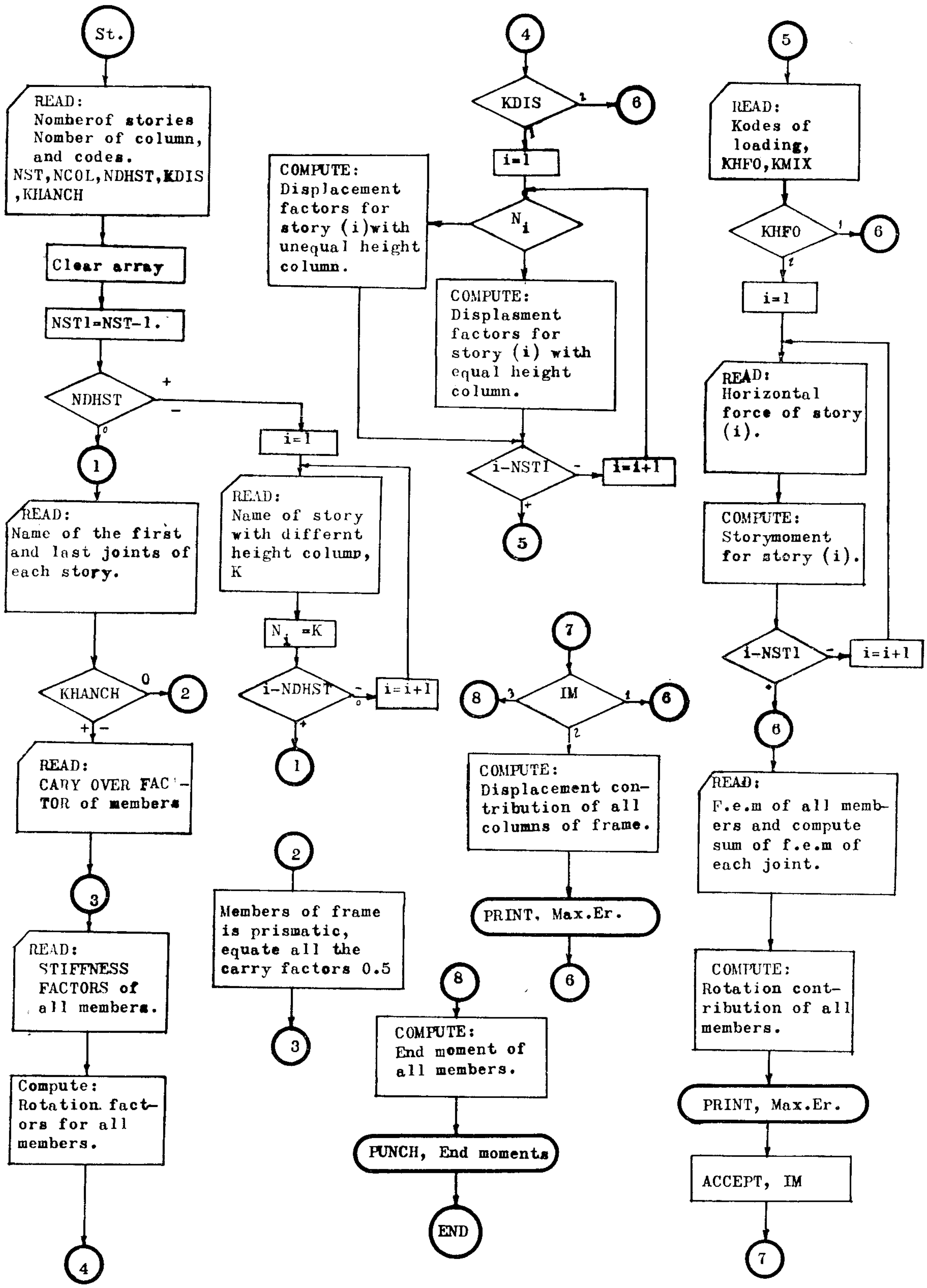
بااستفاده ازاین معلومات اولیه وطبق تئوری بیان شده محاسبهٔ مؤلفه های گردشی و تغییر مکانی مماسها برای گره‌های قاب توسط ماشین انجام میشود و پس از هردور محاسبه ماشین بکمک ماشین تحریر بزرگترین اختلاف مقادیر جدید بامقادیر قدیم این مؤلفه ها را چاپ می کند ومحاسبه متوقف میشود. استفاده کنندهٔ از برنامه میتواند با زدن اعداد ۱ یا ۲ یا ۳ بر روی ماشین تحریر کنترل برنامه را بنا بدلخواه خود بترتیب جهت تکرار محاسبات مؤلفه های گردشی بدون درنظر گرفتن حرکت جانبی یا محاسبهٔ مؤلفه های تغییرمکانی و درنظر گرفتن حرکت جانبی و یا ختم محاسبات ودادن جوابها بنقطهٔ مورد نظر از برنامه منتقل نماید.

دراین برنامه سعی شده است بااستفاده ازکلیه فنون برنامه‌ریزی حد اکثر استفاده از حافظهٔ ماشین ۱۶۲۰ دانشگاه تهران (K ۶۰) استفاده بعمل آید. لذا بکمک این برنامه میتوان تا حداکثر قابهای ۴۰ طبقه و ۱۰ دهنه را بطور دقیقی با درنظر گرفتن حرکت جانبی ساختمان محاسبه کرد.

همچنین بکمک این برنامه علاوه بر قابهای ساده ساختمانی میتوان قابهای پلکانی وقابهائی راکه دارای ستونهای باارتفاعات مختلف در یک طبقه هستند نیز بادرنظر گرفتن حرکت جانبی‌آنان حل کرد.

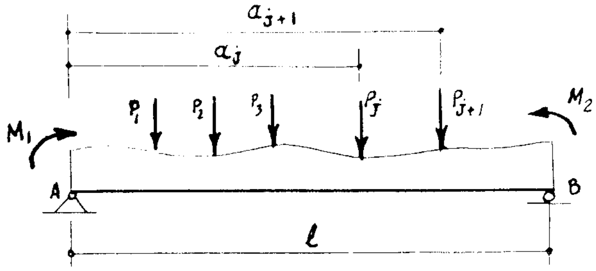
قسمت دوم برنامهٔ آنالیزکامل قابها شامل برنامه‌ایست جهت تعیین عکس‌العملها و نیروهای داخلی و لنگرهای ماکزیمم تیرها وهمچنین تعیین نیروهای داخلی و نیروهای برشی ستونها میباشد.

عکس‌العمل تیرها برحسب نوع بارگذاری ولنگرهای انتهائی آنان‌که در برنامهٔاول تعیین گشته و بهمین ترتیب نیروهای برشی ستونها بااستفاده ازمعادلات تعادل محاسبه میگردند. سپس با توجه بتعادل نیروها درهرگره نیروهای داخلی تیرها وستونها تعیین میشوند.


St.
READ: Nomberof stories Nomber of column, and codes. NST,NCOL,NDHST,KDIS ,KHANCH
Clear array
NST1=NST-1.
NDHST
i=1
READ: Name of story with differnt height column, K
N i =K
i-NDHST
i=i+1
READ: Name of the first and last joints of each story.
KHANCH
READ: CARY OVER FAC - TOR of members
READ: STIFFNESS FACTORS of all members.
Compute: Rotation factors for all members.
Members of frame is prismatic, equate all the carry factors 0.5
KDIS
i=1
N i
COMPUTE: Displacement factors for story (i)with unequal height column.
COMPUTE: Displasment factors for story (i) with equal height column.
i-NST1
i=i+1
IM
COMPUTE: Displacement contribution of all columns of frame.
PRINT, Max.Er.
COMPUTE: End moment of all members.
PUNCH, End moments
END
READ: Kodes of loading, KHFO,KMIX
KHFO
i=1
READ: Horizontal force of story (i).
COMPUTE: Storymoment for story (i).
i-NST1
i=i+1
READ: F.e.m of all members and compute sum of f.e.m of each joint.
COMPUTE: Rotation contribution of all members.
PRINT, Max.Er.
ACCEPT, IM

برای محاسبه لنگر خمشی ماکزیمم تیرها بترتیب زیر عمل می‌شود :

تیر AB را مطابق شکل (۷) تحت اثر بارگسترده بشدت p و n بارنقطه‌ای P_1 و P_2 و ... و P_n ودرلنگر انتهائی M_1 و M_2 درنظر میگیریم . دراینحال عکس‌العملهای دو سر آن باتوجه بمعادلات تعادل می‌شوند :



شکل ۷

$$\begin{cases} R_A = \dfrac{p \cdot l}{2} + \displaystyle\sum_{i=1}^{n} \dfrac{P_i(l-a_i)}{l} - \dfrac{M_1+M_2}{l} \\[2ex] R_B = \dfrac{p \cdot l}{2} + \displaystyle\sum_{i=1}^{n} P_i a_i + \dfrac{M_1+M_2}{l} \end{cases}$$

جهت مثبت لنگرها همان جهت مثبت در روش کانی یعنی جهت عقربه‌های ساعت است .

باتوجه باین عکس‌العملها میتوان نیروی برشی و لنگر خمشی درنقطه‌ای بفاصلهٔ x از پایه A که دربین نیروهای P_j و P_{j+1} واقعست بدست آورد :

$$(8)\begin{cases} M(x) = -\dfrac{p}{2}x^2 + \left(\dfrac{p\,l}{2} + \displaystyle\sum_{i=1}^{n} P_i - \sum_{i=1}^{j} P_i - \dfrac{1}{l}\sum_{i=1}^{n} P_i a_i - \dfrac{M_1+M_2}{l}\right)x + M_1 + \displaystyle\sum_{i=1}^{j} P_i a_i \\[2ex] Q(x) = -px + \dfrac{p\,l}{2} + \displaystyle\sum_{i=1}^{n} P_i - \sum_{i=1}^{j} P_i - \dfrac{1}{l}\sum_{i=1}^{n} P_i a_i - \dfrac{M_1+M_2}{l} \end{cases}$$

پس باتوجه باین معادلات بسادگی میتوان درهرنقطه‌ای ازتیر مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی را حساب کرد .

چنانچه میدانیم لنگر خمشی ماکزیمم در مقطعی از تیر ایجاد میشود که درآن مقطع نیروی برشی برابر صفر باشد. باتوجه باین نکته برای محاسبهٔ لنگر خمشی ماکزیمم در تیرها بکمک حسابگر بدو طریق میتوان اقدام کرد :

۱- در روش اول با تعیین نیروی برشی در مقاطع مختلف تیر بتدریج میتوان مقطعی را که در آن نیروی برشی برابر صفر است پیدا کرد و بدین‌ترتیب عمل میشود که ابتدا مقدار دلخواهی به x نسبت داده

و $Q(x)$ حساب میشود سپس بطور مرتب مقدار دلخواهی مساوی $\triangle x$ بآن اضافه میشود تا جائیکه بازاء اضافه نمودن یک $\triangle x$ بآن علامت $Q(x)$ عوض شود. لذا روشن است که $Q(x)$ در فاصلهٔ x و $x+\triangle x$ صفر میشود. حال بازاء :

$$x=x+\frac{\triangle}{2^1}$$

مقدار $Q(x)$ تعیین میشود. یا $Q(x)$ حاصله صفر است که دراینصورت x حاصله نتیجه مطلوب میباشد یا صفر نیست که دراینحال علامت آن با $Q(x)$ قبلی و $Q(x+\triangle x)$ مقایسه میشود و برحسب اینکه علامت آن مخالف $Q(x)$ قبلی یا $Q(x+\triangle x)$ باشد x جدید برابر $x+\frac{x}{2^2}$ یا $x-\frac{x}{2^2}$ گرفته شده ومراحل بالا تکرار میگردد. این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا بازاء x حاصله مقدار $Q(x)$ برابر صفر شود.

درحالتیکه نیروهای متمرکز بر تیر وارد شوند ممکن است در منحنی نیروی برشی در نقطهٔ اثر این نیروها ایجادشکستگی باتغییرعلامت‌شود که دراینحال چون $Q(x)$ هیچگاه‌صفرنمیشودلذا باروش فوق هیچگاه‌نمیتوان به نتیجهٔ مطلوب رسید لیکن میتوان مقدار x آن مقطع را بامحدودکردن تعداد تکرارمحاسبات فوق باتقریب کافی بدست آورد.

روش فوق یک روش کلی است که میتوان آنرا درمورد هر نوع بارگذاری بکار برد. لیکن زمان اجرای آن بکمک حسابگر نسبتاً طولانی میباشد.

۲- این روش تنها درحالتی قابل‌استفاده است که بارهای وارد بر تیر گسترده یکنواخت و نقطه‌ای باشند. چنانچه از فرمول (۸) برمیآید. منحنی نیروی برشی در فاصلهٔ هردو نیروی منفرد معادلهٔ خاصی دارد که میتوان x مربوط به $Q(x)=0$ آنرا بدست آورد مثلا در بین دونیروی P_j و P_{j+1} با استفاده از فرمول (۸) میتوان نتیجه گرفت که :

$$x=\frac{l}{2}+\frac{1}{p}\left(\sum_{i=1}^{n}P_i-\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{n}P_ia_i-\frac{M_1+M_2}{l}-\sum_{i=1}^{j}P_i\right) \qquad (۹)$$

اگر x حاصله در فاصلهٔ a_j و a_{j+1} باشد برای محاسبهٔ لنگر ماکزیمم قابل قبول است و چنانچه x در این فاصله نباشد قابل قبول نیست زیرا معادلهٔ تغییرات نیروی برشی در خارج از این فاصله دیگر از رابطهٔ (۸) پیروی نمی‌کند.

دراین روش از استدلال فوق استفاده میگردد. بدین‌ترتیب از چپ براست در بین هر دو نیروی متمرکز بااستفاده ازفرمول (۹) x ازمعادلهٔ $Q(x)=0$ تعیین‌میشود که $Q(x)$ معادلهٔ نیروی برشی دربین دونیروی متمرکز است.

اگر x حاصله در فاصلهٔ بین دو نیرو باشد برای محاسبهٔ لنگر خمشی ماکزیمم بکار میرود والا این عمل برای هر زوج نیروهای بعدی تکرار میگردد تا مقطع مطلوب بدست آید. درصورتیکه در نقطهٔ اثر یکی

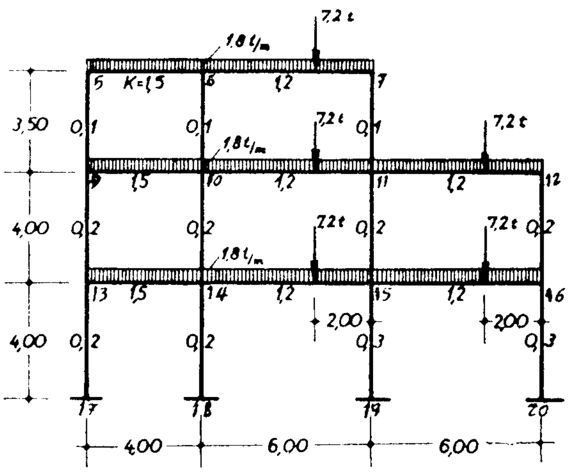
از نیروها منحنی نیروی برشی همراه با یک شکستگی تغییر علامت دهد در اینحال مقطع مطلوب نقطهٔ اثر نیروی مزبوراست .

در این روش مقطع مورد نظر بطورکاملا دقیقی تعیین شده و تعداد تکرار محاسبات حداکثر برابر با تعداد نیروهـای منفردی است که بر تیر وارد میشود. لذا محاسبه لنگر خمشی ماکزیمم برخلاف روش قبلی زمان بسیارکمی لازم داشته و برای قابها که دارای تعداد زیادی تیر هستند مناسبتر است.

در برنامهٔ دوم آنالیز قابها برای محاسبهٔ لنگر خمشی ماکزیمم تیرها از روش فوق استفاده شده‌است که چند مثال حل شده را برای آشنائی با این برنامه‌ها ذکر می کنیم :

مثال ۱ ـ مطلوب محاسبهٔ لنگرهای انتهائی اعضاء قاب شکل زیر است (مثال شمارهٔ ۲ ازکتاب کانی) .

این قاب با درنظر گرفتن حرکت جانبی ساختمان محاسبه شده و نتایج زیر حاصل گردیده است.



JOINT NO.	LEFT MOM.	UP MOM.	RIGHT MOM.	DOWN MOMENT.
5	0.000	0.000	—. 062	. 062
6	8. 982	0. 000	—. 671	. 688
7	·995	0.000	0. 000	— · 995
9	0. 000	. 124	—. 643	· 519
10	5· 054	. 526	—6. 495	· 914
11	13. 166	—· 407	— 13. 217	· 458
12	1. 935	0. 000	0. 000	— 1. 935
13	0. 000	· 500	— . 802	. 302
14	5. 166	· 931	— 6. 712	. 613
15	12. 427	. 388	— 13. 105	. 290
16	3· 422	—1. 776	0. 000	— 1. 645
17	0. 000	. 282	0. 000	0. 000
18	0. 000	—1. 941	0. 000	0. 000
19	0. 000	· 343	0. 000	0. 000
20	0. 000	—. 624	0. 000	0. 000

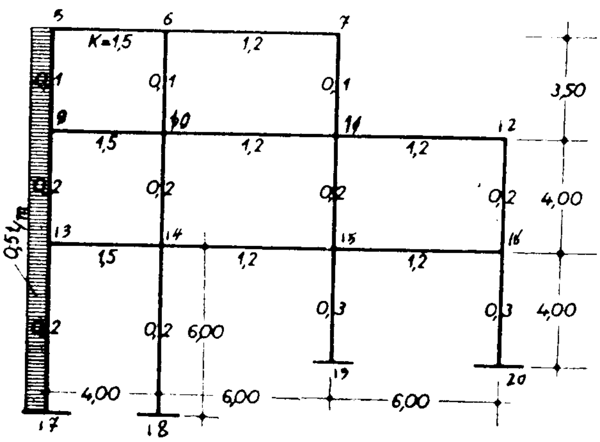
جوابهای برنامهٔ دوم برای نیروهای داخلی عکس‌العملهای ستونها وتیرها ولنگر خمشی ماکزیمم درطول دهانه هر تیر بقرار زیر است :

GIR.NO.	GIR.LEN.	L.REAC.	R.REAC.	IN.FO.	L.MOM.	R.MOM.	X.	MAX.MOM.
5, 6	4.00	1.3	5.8	0.0	.0	8.9	.76	.4
6, 7	6.00	9.2	8.7	—.3	9.6	.9	4.00	12.9
9, 10	4.00	2.4	4.7	—.2	0.6	5.0	1.38	1.0
10, 11	6.00	6.6	11.3	—.3	6.4	13.1	3.71	5.9
11, 12	6.00	9.6	8.3	—.9	13.2	1.9	4.00	11.1
13, 14	4.00	2.5	4.6	.1	.8	5.1	1.39	.9
14, 15	6.00	6.8	11.1	.3	6.7	12.4	3.80	6.3
15, 16	6.00	9.4	8.5	.3	13.1	3.4	4.00	10.1

COL.NO,	UP MOMENT	DW.MOMENT	IN.FORCE	SH.FO.	COL. HEI
5, 9	0.0	.1	1.3	0.0	3.50
6, 10	.6	.5	—15.	.3	3.50
7, 11	—.9	—.4	—8.7	—.4	3.50
9, 13	.5	.5	—3.8	.2	4.00
10, 14	.9	.9	—26.4	.4	4.00
11, 15	.4	.3	—29.7	.2	4.00
12, 16	—1.9	—1.7	—8.3	—.9	4.00
13, 17	.3	.2	—6.3	.1	4.00
14, 18	.6	.4	—38.	.2	4.00
15, 19	— .3	.3	—50.3	.1	4.00
16, 20	—1.6	—.6	—16.5	—.5	4.00

مثال ۲ـ مطلوب محاسبهٔ لنگرهای انتهائی قاب شکل مقابل تحت اثر نیروی افقی باد است (مثال شمارهٔ ۳ کتاب کانی).

محاسبهٔ این قاب ازنقطه نظر نامساوی بودن ستونها قابل توجه است.



JOINT NO.	LEFT MOMENT	UP MOMENT	RIGHT MOMENT	DOWN MOMENT
5	0.000	0.000	.016	—.016
6	.160	0.000	.374	—.534
7	.506	0.000	0.000	—.506
9	0.000	—.986	1.716	—.730
10	1.301	—.521	.790	—1.569
11	.870	—.497	1.097	—1.471
12	1.243	0.000	0.000	—1.243
13	0.000	—2.042	2.303	—.260
14	1.860	—1.546	1.564	—1.878
15	1.995	—1.389	3.500	—4.106
16	4.575	—1.006	0.000	—3.569
17	0.000	—3.382	0.000	0.000
18	0.000	—1.941	0.000	0.000
19	0.000	—4.308	0.000	0.000
20	0.000	—4.039	0.000	0.000

مراجع

۱- Analysis of multistory frames. By Gaspar Kani

۲- مقالهٔ نویسنده در همین شمارهٔ مجله تحت عنوان «جدول تیرهای ماهیچه‌ای با مقطع I»

۳- Hand book of frame Constants.
Published by Portland Cement association (1947)

۴- Multistory formes· By Pr. F· Takabeya
Published by Ernest & Sons

وظیفه خود میدانم که از مساعدتهای بیدریغ آقایان علاقبند و رجائیان رئیس و معاون مرکز محاسبات و تحقیقات الکترونیکی دانشگاه تهران و کارمندان این مرکز تشکر کنم.