

روشی دقیق برای حل اثر بارهای عرضی و حرکت جانبی در ساختمان

نوشته

مهندس جمشید حسینی

روشهای تقریبی محاسبه‌ی اثر نیروهای افقی و حرکت جانبی ساختمانهای هیپر استاتیک اصولاً فاقد دقت کافی میباشند بطوریکه در بعضی موارد خطای محاسبه تا ۰.۵٪ مقدار حقیقی نیز میرسد و چون گاهی جهت خطا (از حیث اضافی و نقصانی بودن آن) مشخص نیست اکثر ناچاریم ضریب اطمینان بزرگتری اختیار کنیم^(۱).

روشی که در این شماره برای حل قابها با منظور داشتن اثر نیروهای افقی و حرکت جانبی عرضه میشود برای حل هر قاب فقط معادل ۱۰ الی ۲ برابر پخش لنگر نیروهای افقی بطریقه‌ی کراس وقت می برد ولی در ضمن دقت محاسبه را میتوان تا حد دقت مورد نظر بالا برد.

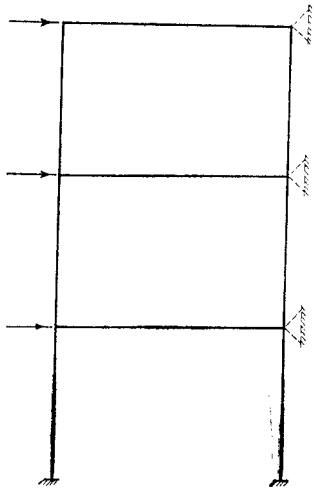
میدانیم که پخش لنگر نیروهای قائم بطریقه‌ی کراس با فرض عدم امکان حرکت جانبی ساختمان و عبارت دیگر با فرض مفصلی بودن طبقه‌ها صورت میگیرد (شکل الف) و از اینرو اثر نیروهای عرضی که

۱- البته ساختمان همانگونه که محاسبه شده عمل میکند. ولی این نکته را نباید از نظر دور داشت که وظیفه‌ی مهندس در محاسبه‌ی ساختمان تنها تأمین حداکثر اطمینان نیست بلکه باید حداقل اطمینان را با حداقل هزینه‌ی ساختمان تأمین نماید. با توجه باین وظیفه‌ی اساسی مهندس است که اهمیت دقت در محاسبه‌ی قسمت‌های مختلف ساختمان آشکار میشود، زیرا هر قدر اثر نیروهای وارد بر ساختمان بر روی بنا دقیق تر محاسبه شود (آنهام بنحوی که مقدار خطا و جهت اضافی یا نقصانی آن معلوم باشد)، هزینه‌ی اضافی محاسبه از راه صرنه‌جوئی در مصالح و کار به مراتب جبران خواهد گردید. زیرا درصد اضافه دقت در محاسبه بهمان نسبت از هزینه‌ی اسکلت بکاهد که در ساختمانهای بزرگ و پرخرج رقم قابل ملاحظه‌ای را تشکیل میدهد.

بهانه‌ی منظور نشدن عامل‌های غیر قابل پیش بینی در محاسبه‌ها نیز نمیتواند مهندس را از بکار بردن دقت بیشتر معاف کند زیرا اثر عامل‌های پیش بینی نشده عملاً در ضریب اطمینان‌هایی که برای مصالح پیش بینی شده مستهلک گردیده است.

با توجه به نکته‌های بالا است که در شماره‌های گذشته و این شماره کوشش شده است که تا حد امکان روش‌هایی پیشنهاد و توضیح شود که از نظر محاسبه‌ی خستگی‌های ساختمان دقت بیشتری را تأمین کند.

معمولاً به انتهای طبقه‌ها وارد می‌سازیم و همچنین اثر عدم تقارن ساختمان که طبیعتاً حرکت جانبی ایجاد



شکل الف

میکنند منظور نمیشود. روش پیشنهادی برای محاسبه‌ی اثر توأم نیروهای افقی وقائم شبیه به رویه‌ی محاسبه لنگر بطریقه‌ی کراس میباشد با این تفاوت که طبقه‌ها را آزاد میگذاریم تا حرکت جانبی انجام پذیرد. برای روشن شدن نحوه‌ی عمل لازم است که روش کراس مورد بررسی قرار گیرد.

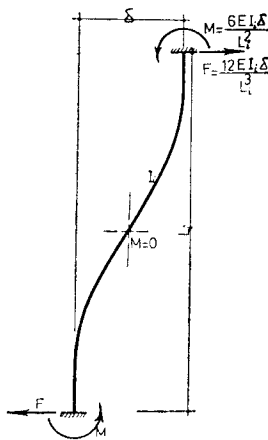
در روش کراس در «مرحله‌ی اول» فرض میشود که گره‌های ساختمان گیردار بوده و امکان دوران و تغییر مکان وجود ندارد، در نتیجه لنگر وارد به انتهای هر تیر معادل میشود با لنگر گیرداری‌ی بارهای وارد بر آن تیر.

در «مرحله‌ی دوم» تک تک گره‌ها را با فرض گیردار بودن بقیه‌ی

گره‌ها آزاد می‌کردیم تا لنگر نامتعادل وارد به گره به نسبت $\frac{I}{l}$ ضلع‌های گره بین آنها تقسیم شود و چون انتهای دیگر هر ضلع که به گره آزاد مفروض منتهی میشود گیردار فرض شده است $\frac{1}{4}$ لنگر حاصل به انتهای ضلع نامبرده منتقل میگشت. وقتی این عمل برای تمام گره‌های ساختمان تکرار میشود، در هر گره لنگر نامتعادل جدیدی بدست می‌آید که از لنگر نامتعادل اولیه بمراتب نزدیکتر به لنگر متعادل نهائی است. در مرحله‌ی سوم و مرحله‌های بعدی همانگونه که در مرحله‌ی دوم ذکر کردیم عمل کرده و این کار را آنقدر تکرار می‌کردیم تا لنگرهای متعادل با دقت مورد لزوم تعیین گردند.

برای منظور داشتن حرکت جانبی - در انتهای هر مرحله از عمل و برای هر طبقه از ساختمان حرکتی

جانبی منظور می‌داریم، تا در نتیجه‌ی آن حرکت میزان برش افقی در آن طبقه معادل مقدار حقیقی شود. طبیعی است که چون در این حالت گره‌ها بدون امکان دوران فرض شده‌اند، در اثر حرکت جانبی δ_n (برای طبقه n) به طرفین هر یک از m ستون آن طبقه لنگرهای معادل مقدارهای زیر وارد خواهد شد.



شکل ب

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} M_1 = \frac{6E_1 I_1 \delta_n}{l_1^2} \\ \dots \\ M_i = \frac{6E_i I_i \delta_n}{l_i^2} \\ \dots \\ M_m = \frac{6E_m I_m \delta_n}{l_m^2} \end{array} \right.$$

حال اگر F_i نیروئی باشد که در ستون بطول I_i همان لنگر M_i را بوجود آورد (شکل ب) مقدار آن مساوی خواهد بود با:

$$(۲) \quad F_i = \frac{۲M_i}{l_i}$$

و اگر از رابطه های (۱) و (۲) M_i حذف و F_i را استخراج نمائیم رابطه های زیر نتیجه میشوند:

$$(۳) \quad \left\{ \begin{array}{l} F_1 = \frac{۱۲E_1 I_1 \delta_n}{l_1^3} \\ \dots \dots \dots \\ F_i = \frac{۱۲E_i I_i \delta_n}{l_i^3} \\ \dots \dots \dots \\ F_m = \frac{۱۲E_m I_m \delta_n}{l_m^3} \end{array} \right.$$

پس نیروی افقی ای که لازم است تا به طبقه n که مرکب از m ستون میباشد حرکت جانبی ای معادل δ_n بدهد برابر میباشد با:

$$(۴) \quad F_N = F_1 + \dots + F_i + \dots + F_m = ۱۲\delta_n \left(\frac{E_1 I_1}{l_1^3} + \dots + \frac{E_i I_i}{l_i^3} + \dots + \frac{E_m I_m}{l_m^3} \right)$$

که اگر $E_m = \dots = E_i = \dots = E_1 = E$ فرض شود، رابطی (۴) بصورت زیر درمیآید:

$$(۵) \quad F_N = ۱۲E\delta_n \left[\frac{I_1}{l_1^3} + \dots + \frac{I_i}{l_i^3} + \dots + \frac{I_m}{l_m^3} \right] = ۱۲E\delta_n \sum_1^m \left(\frac{I_i}{l_i^3} \right)$$

و اگر در رابطه های (۳) بجای $۱۲E\delta_n$ مقدار آنرا از رابطی (۵) قرار دهیم رابطه های زیر بدست میآید:

$$(۶) \quad \left\{ \begin{array}{l} F_1 = F_N \cdot \frac{\frac{I_1}{l_1^3}}{\sum_1^m \left(\frac{I_i}{l_i^3} \right)} \\ \dots \dots \dots \\ F_i = F_N \cdot \frac{\frac{I_i}{l_i^3}}{\sum_1^m \left(\frac{I_i}{l_i^3} \right)} \\ \dots \dots \dots \\ F_m = F_N \cdot \frac{\frac{I_m}{l_m^3}}{\sum_1^m \left(\frac{I_i}{l_i^3} \right)} \end{array} \right.$$

از رابطه های (۶) نتیجه میشود که با فرض عدم امکان دوران گره ها اگر حرکتی جانبی برای طبقه ای منظور

داریم تلاش افقی به نسبت $\frac{I_i}{I_i^3}$ بین m ستون آن طبقه تقسیم میشود.

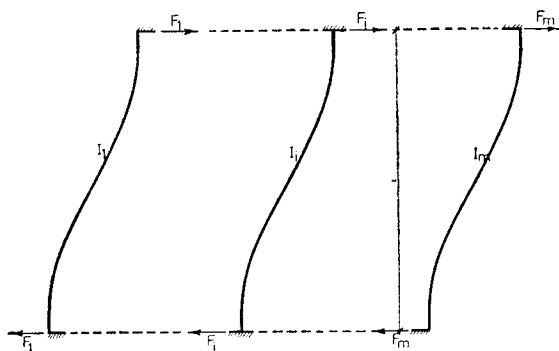
$$\sum_i^m \left(\frac{I_i}{I_i^3} \right)$$

با توجه به رابطه های (۲) و (۶) میتوان چنین نوشت:

$$(۷) \quad M_i = F_N \cdot \frac{I_i}{\gamma} \left[\frac{\frac{I_i}{I_i^3}}{\sum \left(\frac{I_i}{I_i^3} \right)} \right]$$

از روی رابطه (۷) مقدار لنگر M_i که به دو طرف هرستون وارد آمده و ناشی از منظور داشتن نیروی افقی F_N است بدست میآید.

در حالت عمومی که ارتفاع هر طبقه مقدار ثابتی است رابطه ی (۷) بصورت ساده تر زیر درمیآید:



شکل ج

$$(۸) \quad M_i = F_N \cdot \frac{I_i}{\gamma} \left[\frac{I_i}{\sum (I_i)} \right]$$

باید توجه داشت که برش افقی F_N معادل است با برش حقیقی F_n منهای برش افقی F_k که در هر مرحله از پخش لنگر با رویه ی کراس به طبقه ی n وارد میشود:

$$(۹) \quad F_N = F_n - F_k$$

با بدست آوردن مقدار برش افقی F_N در هر طبقه میتوان بکمک فرمول (۷) یا (۸) مقدار لنگر وارد به طرفین ستونهای آن طبقه را در هر مرحله از پخش لنگرها بطریقه ی کراس منتها با فرض امکان حرکت جانبی آن طبقه بدست آورد. ضمناً نباید فراموش کرد که مقدار این لنگرها با فرض عدم امکان دوران گره ها بدست آمده اند و در نتیجه باید در مرحله ی بعدی پخش لنگر، وقتی می خواهیم گره ها را آزاد کنیم، اثر این لنگرها را نیز منظور داریم.

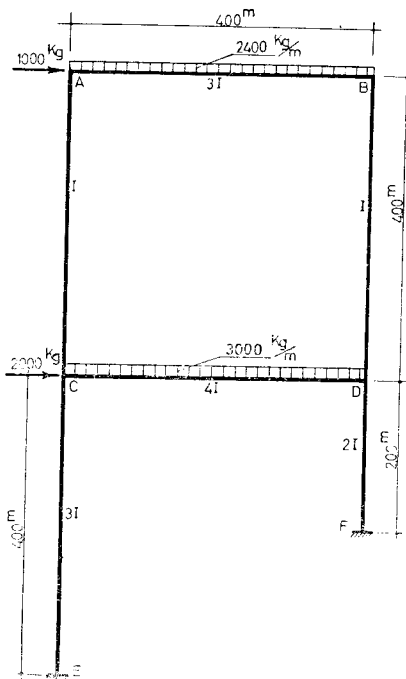
محاسبه ی نیروی افقی F_N و لنگر M_i ناشی از آن (برای ستونهای i) در هر مرحله از پخش لنگر بطریقه ی

کراس (با گیردار فرض شدن تمام گره ها) تا وقتی ادامه داده میشود که M_i قابل چشم پوشی شود.

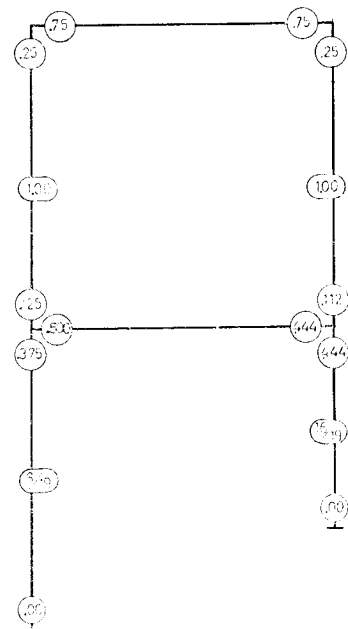
راه عمل

برای روشن شدن مطالبهای بالا مثال شکل (د) را که در دوشماره‌ی قبل در مقاله‌ی ای تحت عنوان

«راه جدید حل قابهای هیبراستاتیک» بررسی شد با این روش حل میشود:



شکل د



شکل ه

در شمای (ه) نسبت $\frac{I_j}{\sum(\frac{I_j}{I_j})}$ برای هر ضلع در گره‌ها مشخص شده است ضمناً مقدار:

$$\frac{I_j}{2} \cdot \frac{\frac{I_i}{I_i^3}}{\sum(\frac{I_i}{I_i^3})}$$

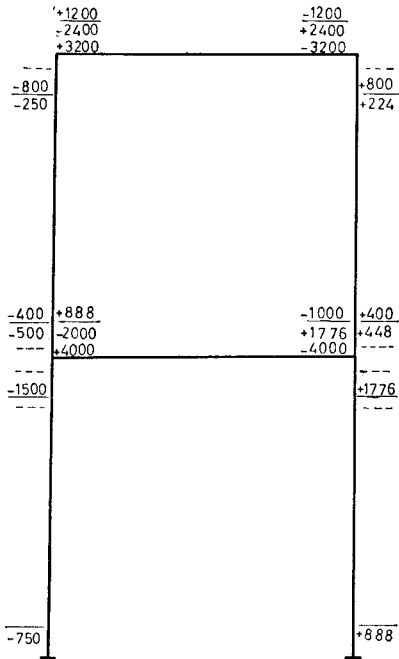
برای ستون‌های هر طبقه محاسبه و در وسط ستونها نوشته شده است.

لنگرهای گیرداری تیرها، ناشی از بارهای قائم را به هر گره وارد کرده و متعادل می‌کنیم و لنگرهای انتقالی را نیز منتقل می‌نمائیم شکل (و) نتیجه‌ی این محاسبه را نشان میدهد. در شکل (و) لنگر وارد به انتهای هر ستون محاسبه و در داخل مستطیل‌ها نوشته شده است.

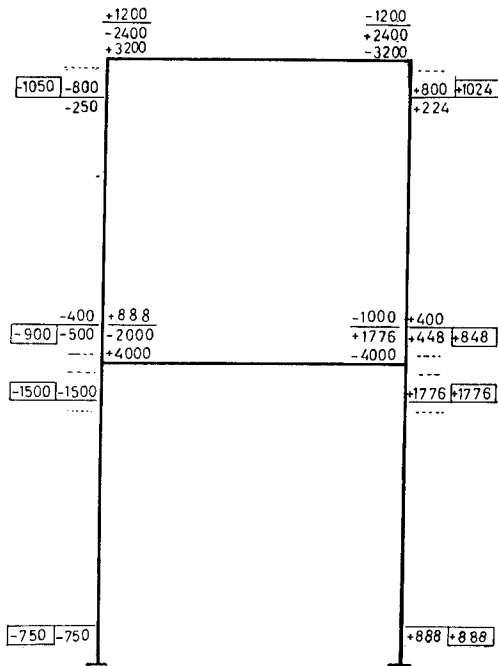
مقدار F_k برای طبقه‌های مختلف بشرح زیر محاسبه میشود:

طبقه بالا
$$F_{1k} = \frac{-1000 - 900}{4} + \frac{1024 + 848}{4} = -190 \text{ Kg}$$

طبقه پایین
$$F_{2k} = \frac{-1000 - 700}{4} + \frac{1776 + 888}{2} = 770 \text{ Kg}$$



شکل I و



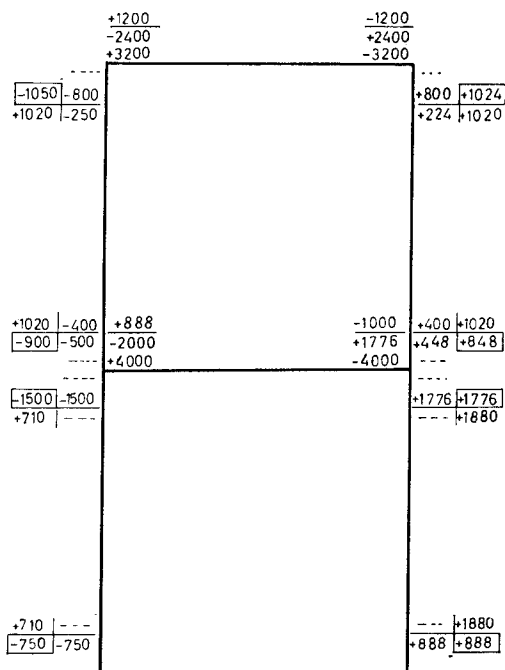
شکل II و

و میزان F_n برای همین طبقه ها مساوی است با:

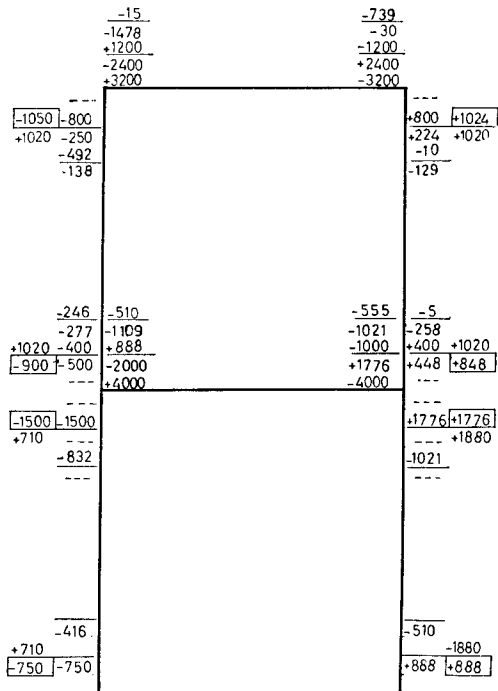
$$F_{1n} = 1000 \text{ Kg}$$

$$F_{2n} = 1000 + 2000 = 3000 \text{ Kg}$$

بنابراین مقدار F_N برای هر طبقه، بکمک فرمول (9)، بشرح زیر خواهد شد:



شکل III و



شکل VI و

$$F' = 1000 - (-190) = 10190 \text{ Kg}$$

$$F'' = 2000 - 770 = 1230 \text{ Kg}$$

مقدار لنگروارد به انتهای هرستون با فرض حرکت جانبی برابر خواهد شد با تلاش افقی طبقه ضرب در عددی که در وسط ستون نامبرده در شکل (ه) نوشته شده است. مقدار این لنگرها در شکل (و III) در زیر مستطیل ها نوشته شده است.

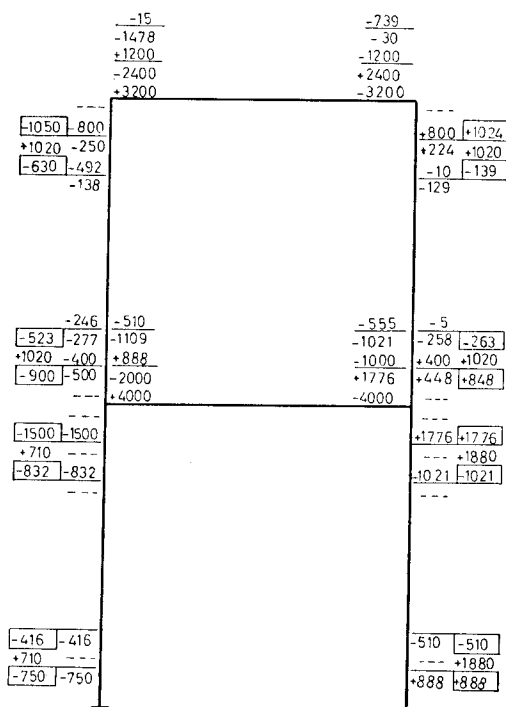
حال جمع جبری لنگرهای انتقالی و لنگرهای ناشی از حرکت جانبی را پس از تغییر علامت بین ضلع های هر گره تقسیم کرده و نصف نتیجه را منتقل می کنیم (شکل و IV).

طبیعی است که جمع لنگرهایی که جدیداً در محاسبه ها بدست آمده و در مستطیل های شکل (و V) در ردیف دوم و در کنار ستونها نوشته شده است، تعادل قاب را برهم زده و لازم است اثر آنها را صفر کنیم یعنی تلاش افقی که این لنگرهای جدید در قابها ایجاد کرده اند با فرض حرکت جانبی برای قاب ازین بپریم در این حالت برای طبقه ی بالا و پائین چنین خواهیم داشت:

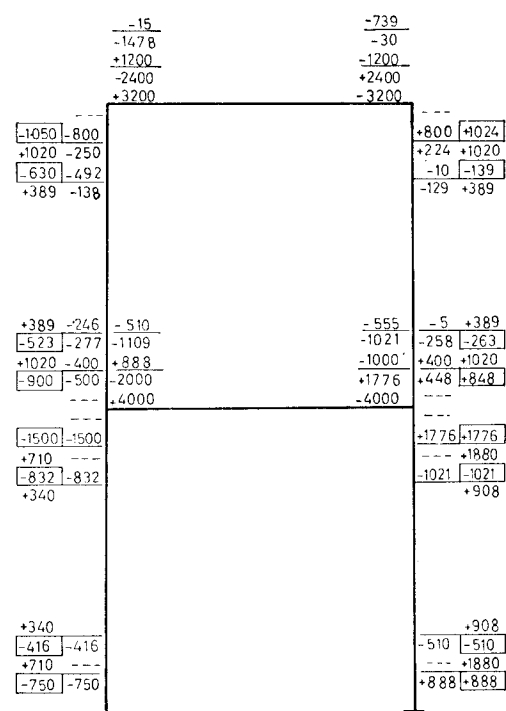
$$F' = -F_{1k} = -\left(\frac{-630 - 492}{4} + \frac{-139 - 138}{4}\right) = +389$$

$$F'' = -F_{2k} = -\left(\frac{-832 - 832}{4} + \frac{-1021 - 1021}{2}\right) = +1078$$

برای بدست آوردن لنگر ناشی از حرکت جانبی طبقه ها کفایت تلاش افقی هر طبقه را در عددی که وسط ستونهای آن طبقه نوشته شده است ضرب نمود. در شکل (و VI) این لنگرها محاسبه شده و در کنار ستون ها نوشته شده است.



شکل و V



شکل و VI

دنباله‌ی محاسبه مطابق آنچه در مرحله‌ی اخیر گذشت آنگاه ادامه داده میشود تا میزان لنگرهای ناشی از حرکت جانبی با توجه بدقتی که در محاسبه مورد نظر بوده است قابل اغماض گردد. شکل (و VII) ادامه‌ی محاسبه را تا پنج مرحله نشان میدهد و مقدار لنگر وارد به ستونها از جمع جبری مقدارهای داخل مستطیل‌ها و عدد هائی که زیر آنها نوشته شده بدست میآید.

	+365		-2421																																																																		
	-49		+51																																																																		
	+46		-70																																																																		
	-141		+92																																																																		
	+129		-88																																																																		
	-177		+359																																																																		
	-15		-739																																																																		
	-1478		-30																																																																		
	-1200		-1200																																																																		
	-2400		+2400																																																																		
	+3200		-3200																																																																		
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>-1050</td><td>-800</td></tr> <tr><td>+1020</td><td>-350</td></tr> <tr><td>-630</td><td>-492</td></tr> <tr><td>+389</td><td>-138</td></tr> <tr><td>-57</td><td>-59</td></tr> <tr><td>+7</td><td>+2</td></tr> <tr><td>-40</td><td>-47</td></tr> <tr><td>+12</td><td>+7</td></tr> <tr><td>-16</td><td>-16</td></tr> <tr><td>-365</td><td></td></tr> </tbody> </table>	-1050	-800	+1020	-350	-630	-492	+389	-138	-57	-59	+7	+2	-40	-47	+12	+7	-16	-16	-365			<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>+800</td><td>+1024</td></tr> <tr><td>+224</td><td>+1020</td></tr> <tr><td>-10</td><td>-139</td></tr> <tr><td>-129</td><td>+389</td></tr> <tr><td>+120</td><td>+79</td></tr> <tr><td>-41</td><td>+7</td></tr> <tr><td>+30</td><td>+15</td></tr> <tr><td>-15</td><td>+12</td></tr> <tr><td>+18</td><td>+18</td></tr> <tr><td>+2421</td><td></td></tr> </tbody> </table>	+800	+1024	+224	+1020	-10	-139	-129	+389	+120	+79	-41	+7	+30	+15	-15	+12	+18	+18	+2421																												
-1050	-800																																																																				
+1020	-350																																																																				
-630	-492																																																																				
+389	-138																																																																				
-57	-59																																																																				
+7	+2																																																																				
-40	-47																																																																				
+12	+7																																																																				
-16	-16																																																																				
-365																																																																					
+800	+1024																																																																				
+224	+1020																																																																				
-10	-139																																																																				
-129	+389																																																																				
+120	+79																																																																				
-41	+7																																																																				
+30	+15																																																																				
-15	+12																																																																				
+18	+18																																																																				
+2421																																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>-24</td><td></td></tr> <tr><td>+6</td><td>+6</td></tr> <tr><td>+12</td><td>-23</td></tr> <tr><td>-9</td><td>+14</td></tr> <tr><td>+7</td><td>-30</td></tr> <tr><td>-26</td><td>+4</td></tr> <tr><td>+389</td><td>-246</td></tr> <tr><td>-523</td><td>-277</td></tr> <tr><td>+1020</td><td>-400</td></tr> <tr><td>-900</td><td>-500</td></tr> <tr><td>+4000</td><td></td></tr> </tbody> </table>	-24		+6	+6	+12	-23	-9	+14	+7	-30	-26	+4	+389	-246	-523	-277	+1020	-400	-900	-500	+4000		<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>+1137</td><td></td></tr> <tr><td>+24</td><td></td></tr> <tr><td>-61</td><td></td></tr> <tr><td>+55</td><td></td></tr> <tr><td>-163</td><td></td></tr> <tr><td>+13</td><td></td></tr> <tr><td>-510</td><td></td></tr> <tr><td>-105</td><td></td></tr> <tr><td>+888</td><td></td></tr> <tr><td>-7000</td><td></td></tr> <tr><td>+4000</td><td></td></tr> </tbody> </table>	+1137		+24		-61		+55		-163		+13		-510		-105		+888		-7000		+4000		<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>-5269</td><td></td></tr> <tr><td>-53</td><td></td></tr> <tr><td>+27</td><td></td></tr> <tr><td>-122</td><td></td></tr> <tr><td>+6</td><td></td></tr> <tr><td>-327</td><td></td></tr> <tr><td>-555</td><td></td></tr> <tr><td>-1021</td><td></td></tr> <tr><td>-1000</td><td></td></tr> <tr><td>+1776</td><td></td></tr> <tr><td>-4000</td><td></td></tr> </tbody> </table>	-5269		-53		+27		-122		+6		-327		-555		-1021		-1000		+1776		-4000		
-24																																																																					
+6	+6																																																																				
+12	-23																																																																				
-9	+14																																																																				
+7	-30																																																																				
-26	+4																																																																				
+389	-246																																																																				
-523	-277																																																																				
+1020	-400																																																																				
-900	-500																																																																				
+4000																																																																					
+1137																																																																					
+24																																																																					
-61																																																																					
+55																																																																					
-163																																																																					
+13																																																																					
-510																																																																					
-105																																																																					
+888																																																																					
-7000																																																																					
+4000																																																																					
-5269																																																																					
-53																																																																					
+27																																																																					
-122																																																																					
+6																																																																					
-327																																																																					
-555																																																																					
-1021																																																																					
-1000																																																																					
+1776																																																																					
-4000																																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>-1500</td><td>-1500</td></tr> <tr><td>+710</td><td></td></tr> <tr><td>-832</td><td>-832</td></tr> <tr><td>+340</td><td></td></tr> <tr><td>+11</td><td>+11</td></tr> <tr><td>+76</td><td></td></tr> <tr><td>+41</td><td>+41</td></tr> <tr><td>+24</td><td></td></tr> <tr><td>+18</td><td>+18</td></tr> <tr><td>-1112</td><td></td></tr> </tbody> </table>	-1500	-1500	+710		-832	-832	+340		+11	+11	+76		+41	+41	+24		+18	+18	-1112		<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>F₁ = 2230</td><td></td></tr> <tr><td>F₂ = 1078</td><td></td></tr> <tr><td>F₃ = 241</td><td></td></tr> <tr><td>F₄ = 77</td><td></td></tr> </tbody> </table>	F ₁ = 2230		F ₂ = 1078		F ₃ = 241		F ₄ = 77		<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>+1776</td><td>+1776</td></tr> <tr><td>+1880</td><td></td></tr> <tr><td>-1021</td><td>-1021</td></tr> <tr><td>+908</td><td></td></tr> <tr><td>-327</td><td>-327</td></tr> <tr><td>+203</td><td></td></tr> <tr><td>-123</td><td>-123</td></tr> <tr><td>+65</td><td></td></tr> <tr><td>-53</td><td>-53</td></tr> <tr><td>+3308</td><td></td></tr> </tbody> </table>	+1776	+1776	+1880		-1021	-1021	+908		-327	-327	+203		-123	-123	+65		-53	-53	+3308																				
-1500	-1500																																																																				
+710																																																																					
-832	-832																																																																				
+340																																																																					
+11	+11																																																																				
+76																																																																					
+41	+41																																																																				
+24																																																																					
+18	+18																																																																				
-1112																																																																					
F ₁ = 2230																																																																					
F ₂ = 1078																																																																					
F ₃ = 241																																																																					
F ₄ = 77																																																																					
+1776	+1776																																																																				
+1880																																																																					
-1021	-1021																																																																				
+908																																																																					
-327	-327																																																																				
+203																																																																					
-123	-123																																																																				
+65																																																																					
-53	-53																																																																				
+3308																																																																					
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>+18</td><td></td></tr> <tr><td>+9</td><td>+9</td></tr> <tr><td>+24</td><td></td></tr> <tr><td>+20</td><td>+20</td></tr> <tr><td>+76</td><td></td></tr> <tr><td>+5</td><td>+5</td></tr> <tr><td>340</td><td></td></tr> <tr><td>-416</td><td>-416</td></tr> <tr><td>+710</td><td></td></tr> <tr><td>-750</td><td>-750</td></tr> </tbody> </table>	+18		+9	+9	+24		+20	+20	+76		+5	+5	340		-416	-416	+710		-750	-750		<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr><td>+3184</td><td></td></tr> <tr><td>-26</td><td>-26</td></tr> <tr><td>+65</td><td></td></tr> <tr><td>-61</td><td>-61</td></tr> <tr><td>+203</td><td></td></tr> <tr><td>-163</td><td>-163</td></tr> <tr><td>+908</td><td></td></tr> <tr><td>-510</td><td>-510</td></tr> <tr><td>+1880</td><td></td></tr> <tr><td>+888</td><td>+888</td></tr> </tbody> </table>	+3184		-26	-26	+65		-61	-61	+203		-163	-163	+908		-510	-510	+1880		+888	+888																											
+18																																																																					
+9	+9																																																																				
+24																																																																					
+20	+20																																																																				
+76																																																																					
+5	+5																																																																				
340																																																																					
-416	-416																																																																				
+710																																																																					
-750	-750																																																																				
+3184																																																																					
-26	-26																																																																				
+65																																																																					
-61	-61																																																																				
+203																																																																					
-163	-163																																																																				
+908																																																																					
-510	-510																																																																				
+1880																																																																					
+888	+888																																																																				

شکل و VII

سهولتی که تساوی ارتفاع ستونهای هر طبقه در امر محاسبه ایجاد میکند

قبلاً ذکر شد که اگر ارتفاع ستونهای یک طبقه ثابت باشد برای محاسبه‌ی لنگر ناشی از حرکت

جانبی میتوان از فرمول ساده‌تر (۸) استفاده کرد. اگر در رابطه‌ی (۸) بجای F_N مقدار آنرا از رابطه‌ی (۹)

قرار دهیم نتیجه میشود:

$$M_i = \frac{1}{2} (F_n \cdot l - F_k \cdot l) \frac{I_i}{\sum I_i}$$

مقدار F_k · l مجموع لنگرهای وارد به دو طرف ستونهای هر طبقه بوده و F_n · l برابر حاصلضرب تلاش افقی

طبقه در ارتفاع طبقه میباشد. لذا در حالتیکه ارتفاع ستونهای یک طبقه ثابت باشد احتیاجی به محاسبه‌ی

تلاش افقی در هر مورد نیست و کفایت در حله اول مجموع لنگرهای وارد به دو طرف ستونهای طبقه را که در مرحله اول پخش کراس بدست آمده، محاسبه کرد و از میزان $F_n \cdot l$ آن طبقه کسر نمود و نصف حاصل را بین ستونها به نسبت $\frac{I_i}{\sum I_i}$ های هر یک، تقسیم و آنرا به دو سر ستونها داد. در مرحله های بعد نصف مجموع لنگرهای را که در مرحله ی پیش متعادل شده و به ستونها انتقال یافته است برای هر طبقه تعیین میکنیم و پس از تغییر علامت به نسبت $\frac{I_i}{\sum I_i}$ بین ستونها ی آن طبقه تقسیم و برای هر طرف ستون مربوطه منظور میداریم تا اثر تلاش افقی در این مرحله نیز از بین برود.

برای زودتر رسیدن به نتیجه ممکن است ضرائبی بدست آورد که اگر فرصت باشد در شماره های آینده مورد بررسی قرار خواهیم داد.