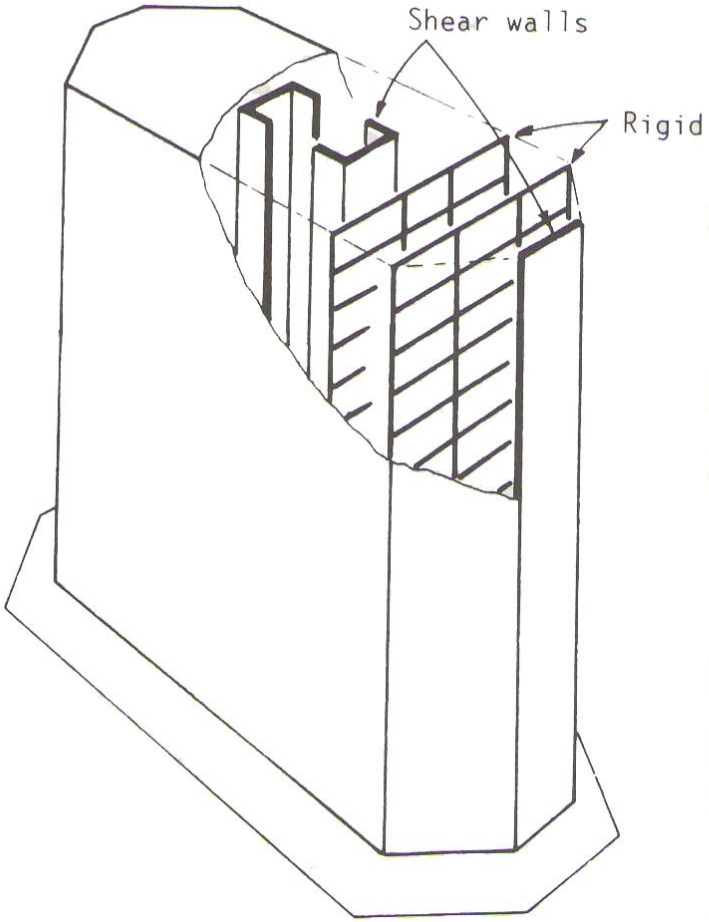
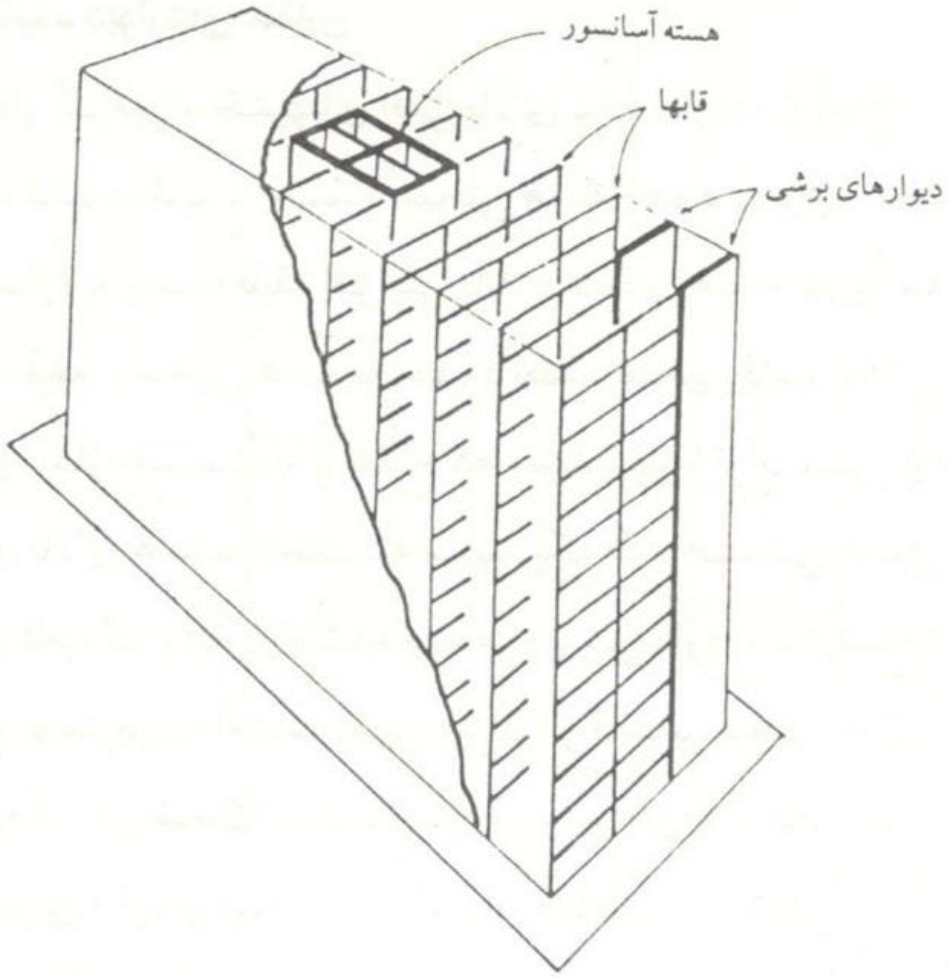
سیستم سازه ای قاب دیوار Wall - Frame Structures

-در این سیستم سازه‌ای قابهای صلب به همراه دیوارهای برشی بارهای ثقلی و جانبی را تحمل می‌کنند.

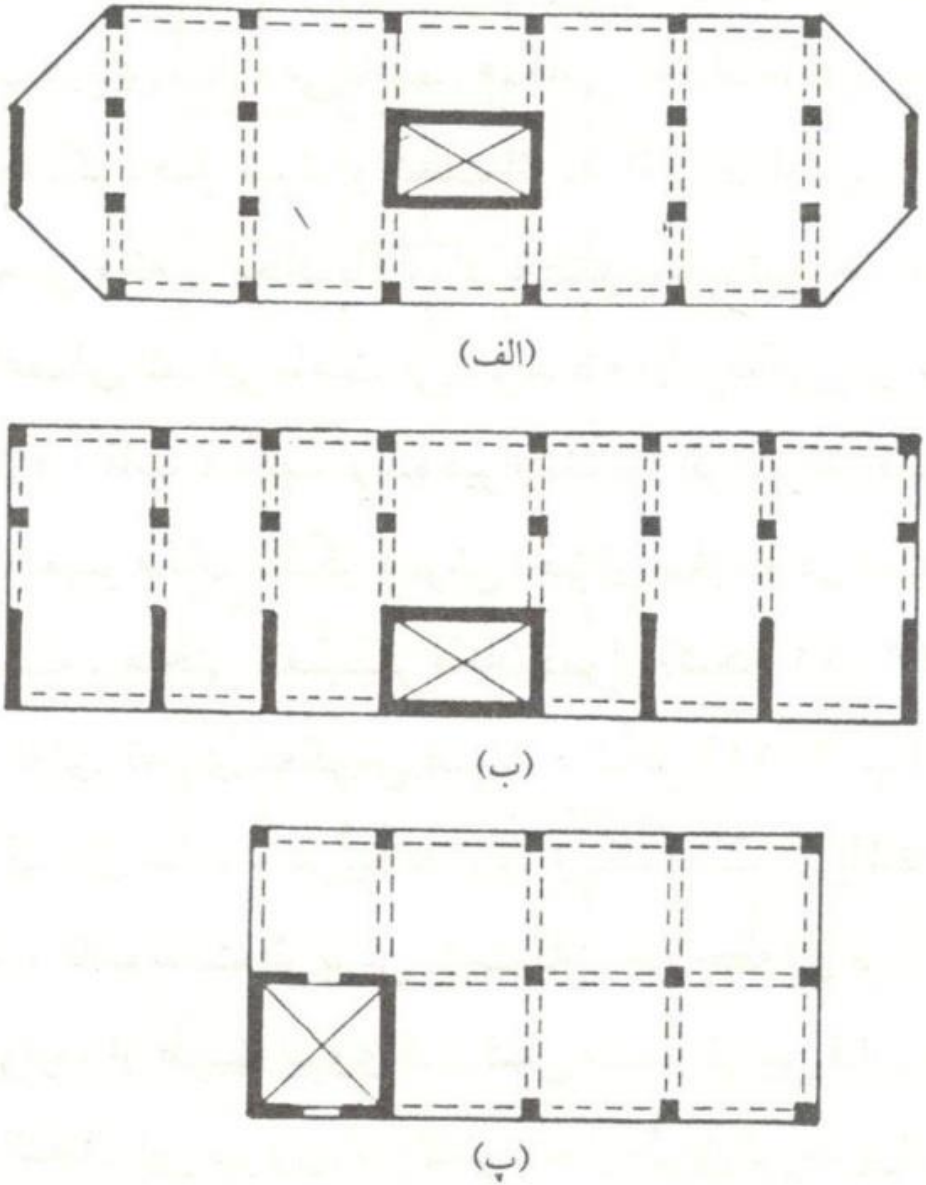
-**دیوارها در تغییر شکلهای خمشی و قابها در تغییر شکلهای برشی توسط تیرها و دالها مقید شده** و اجبارا تغییر شکل یکسانی خواهند داشت. در نتیجه قابها و دیوارها در جهت افقی و بخصوص در ساختمانهای بلند با یکدیگر همکاری نموده و سازه مقاومتر و سخت تری تشکیل می‌دهند.

-سازه ترکیبی قاب دیوار برای ساختمانهای ۲۰ تا ۶۰ طبقه مناسب است. این تعداد طبقه بسیار بیشتر از تعداد طبقات ساختمانها با قاب صلب یا دیوار برشی تنهاست.





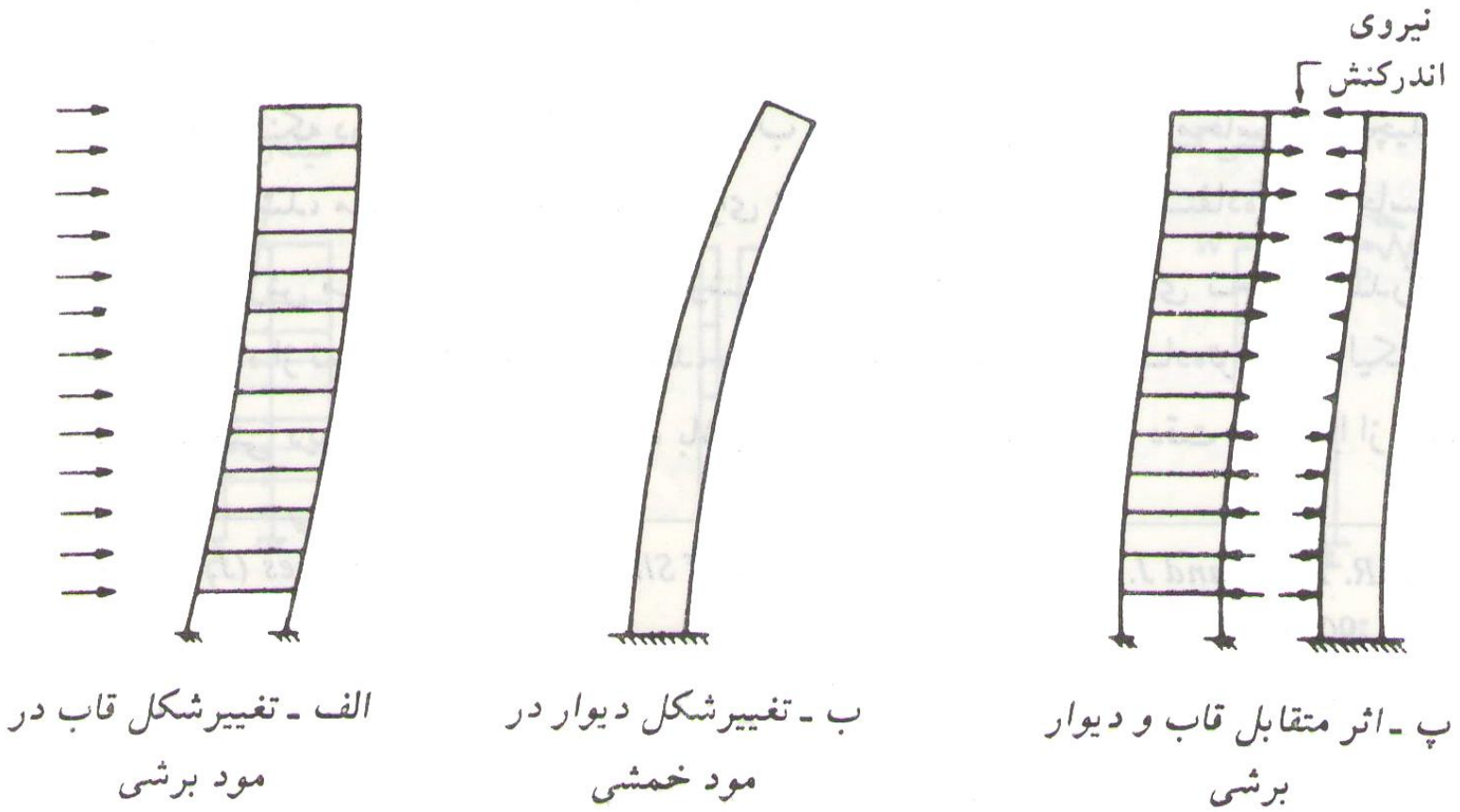
شکل ۸ الف- نمونه ای از سیستم سازه ای قاب دیوار



ادامه شکل ۸ – الف وب - سازه قاب – دیوار با پلان متقارن پ- سازه قاب – دیوار با پلان نا متقارت

در سیستم سازه‌ای قاب- دیوار، قاب خمشی که از تیرها و ستونها تشکیل شده است، اساسا در مود برشی تغییر شکل می‌دهد (شکل ۹-الف) و دیوار برشی اساسا در مود خمشی تغییر شکل می‌دهد(شکل ۹-ب)،

اثر متقابل این دو تغییر شکل باعث می‌شود، **که در طبقات پائین قاب به دیوار برشی تکیه کند،** یعنی در طبقات پائین اکثر نیروی برشی طبقات توسط دیوارهای برشی تحمل گردد و **در طبقات بالا دیوار برشی به قاب تکیه نماید،** یعنی نیروی برشی طبقات بالا بیشتر توسط قاب تحمل می شود(شکل ۹-ج).



الف ـ تغییرشکل قاب در مود برشی

ب ـ تغییرشکل دیوار در مود خمشی

پ ـ اثر متقابل قاب و دیوار برشی

شکل ۹- اندرکنش قاب-دیوار در سیستم سازه ای قاب دیوار

قابلیت سازه های قاب- دیوار به اندرکنش افقی بین این دو که متاثر از سختیهای نسبی دیوارها و قابهاست، بستگی دارد.

هر چه سازه بلندتر باشد و هرچه قابها سختتر باشند، اندر کنش بیشتر خواهد بود.

مزایای مهم منظور نمودن اندر کنش افقی در طراحی قاب – دیوار:

۱- جابجایی ها بسیار کمتر از حالتی است که فقط دیوارها بارهای جانبی را تحمل کنند.

۲- لنگرهای خمشی دیوارها یا هسته ها کمتر از حالت عملکرد تکی آنهاست.

۳- ستونهای قابها را می توان بصورت مهارشده در طراحی در نظر گرفت.

۴-در بسیاری از حالتها برش قابها درارتفاع تقریبا یکنواخت می باشد، در نتیجه اعضای کفها را بصورت تکراری در ارتفاع می توان طراحی کرد.

-رفتار قاب – دیوارهای متقارن

در یک سازه ده طبقه با سیستم قاب- دیوار (شامل یک هسته از دیوارهای برشی در اطراف آسانسورها و قاب صلب) اگر سختی هسته بتنی حدود ده برابر سختی قاب باشد.

همین سازه با ارتفاع ۲۰ طبقه سختی هسته حدود سه برابر سختی قاب خواهد شد.

اگر ارتفاع این سازه به ۵۰ طبقه افزایش یابد سختی هسته بتنی به حدود نصف سختی قاب کاهش می یابد.

این تغییر بسیار زیاد در نسبت سختی ها به دلیل انعطاف پذیری بالای هسته است که مانند یک طره خمشی عمل می کند($\Delta = \frac{PL^3}{3EI}$) .

در مقابل انعطاف پذیری یک قاب که همانند یک طره برشی عمل می کند با ارتفاع تناسب مستقیم دارد.

در نتیجه ارتفاع مهمترین پارامتر در تعیین میزان اثر قاب بر سختی جانبی قاب دیوار است.

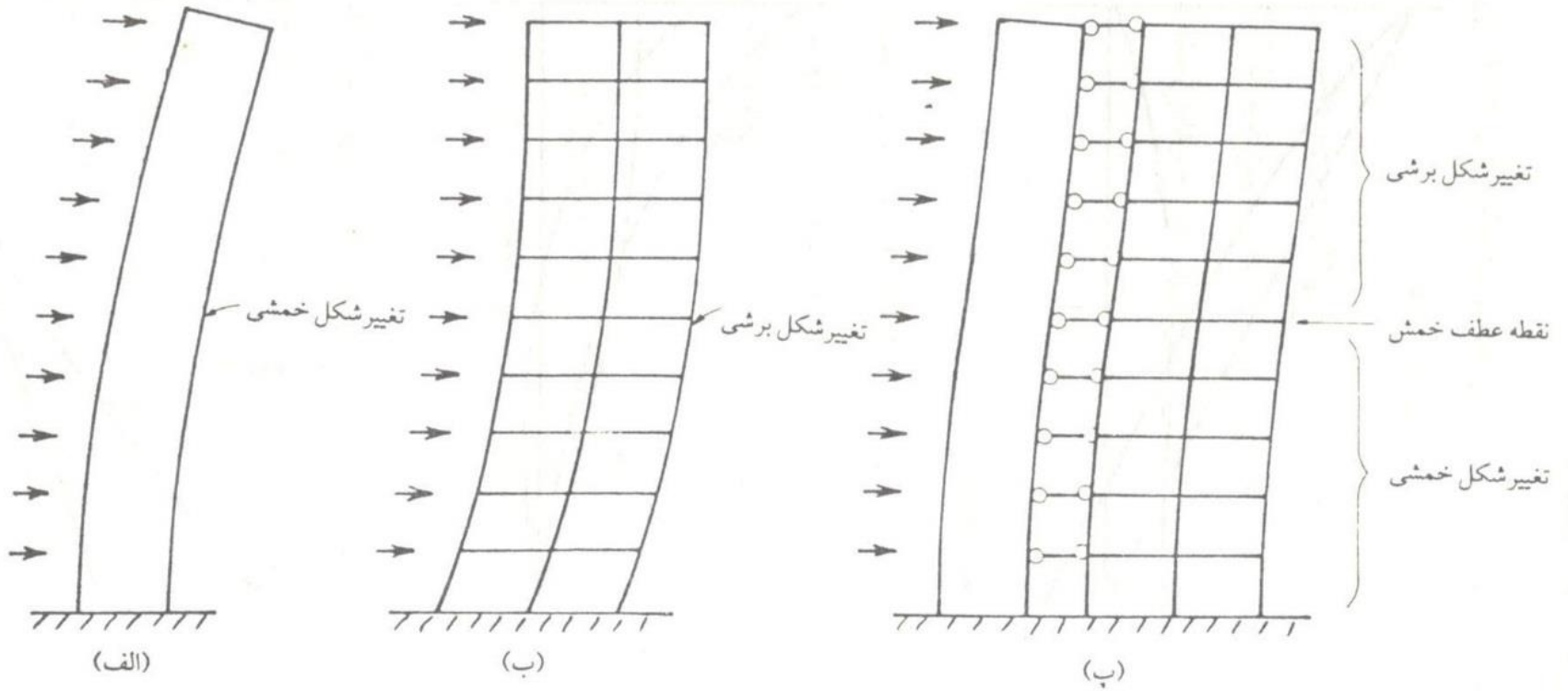
برای روشن تر شدن اندرکنش بین قاب و دیوار در یک سازه قاب – دیوار، تغییر مکانهای مجزای قاب و دیوار تحت اثر بار جانبی در شکل ۱۰نشان داده شده است.

تغییر مکان دیوار در مود خمشی و با تحدب در جهت بار جانبی دارای حداکثر شیب در بالای سازه است.

تغییر مکان قاب در مود برشی و با تقعر در جهت بار جانبی دارای حداکثر شیب در پای سازه است.

وقتی که قاب و دیوار توسط اعضای اتصالی دو سر مفصل به یکدیگر وصل می شوند(سیستم قاب – دیوار بدون پیچش که قاب و دیوار تغییر مکانهای یکسانی در هر تراز خواهند داشت) و تحت اثر بار افقی قرار میگیرند، تغییر مکانهای طبقات پایین سازه بصورت خمشی و تغییر مکانهای طبقات بالا بصورت برشی تغییر شکل می دهند.

نیروهای محوری اعضای اتصالی باعث می شوند در طبقات پایین سازه، دیوار نگهدارنده قاب و در بالای سازه قاب نگهدارنده دیوار باشد.



شکل ۱۰- الف- دیوار تحت اثر بار افقی گسترده یکنواخت ب- قاب تحت اثر بار افقی گسترده یکنواخت پ- سازه قاب – دیوار تحت اثر بار افقی

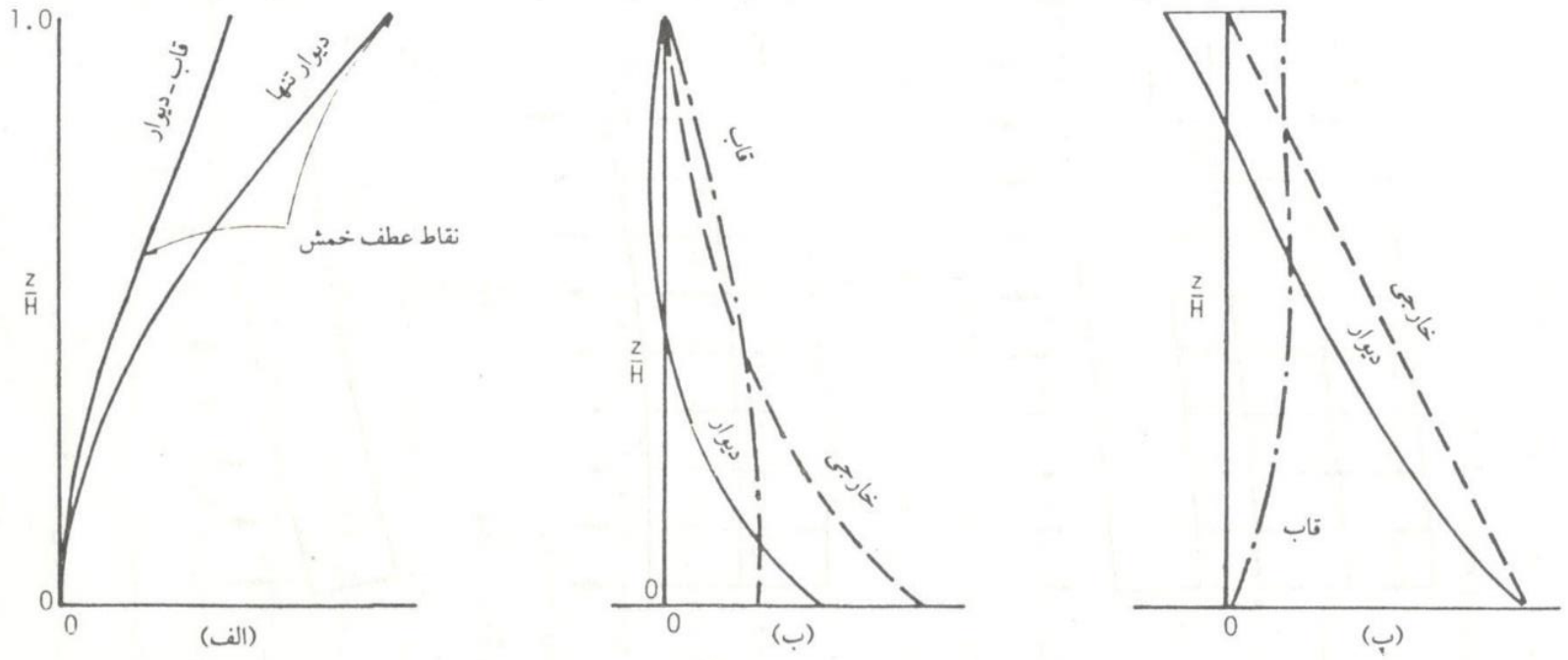
اثرات اندر کنش قاب – دیوار که در منحنیهای مربوط به تغییر مکان و لنگر خمشی و نیروی برشی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

منحنی تغییر مکان و منحنی لنگر خمشی دیوار دارای انحنای معکوس است.

نمودار برش نشان می دهد که نیروی برشی به جز در پای سازه، تقریبا در ارتفاع سازه یکنواخت است.

در بالای سازه که نیروی برشی خارجی صفر است، قاب تحت برش مثبت قابل ملاحظه ای قرار می گیرد. این برش توسط برش منفی بالای دیوار، از طریق نیروی اندرکنش متمرکز بین قاب و دیوار خنثی می شود.

در طراحی باید به انتقال این برش از طریق تیرها و یا دالها توجه نمود.



شکل ۱۱- الف- تغییر مکان سازه قاب – دیوار تحت بار جانبی ب- لنگر خمشی اجزای قاب - دیوار پ- نیروی برشی اجزای قاب – دیوار تحت اثر بار افقی

تئوری تقریبی قاب – دیوارهای متقارن(بدون پیچش):

قاب – دیوار مسطح شکل ۱۲ را می توان به عنوان مدلی از یک سازه شامل قابها و دیوارها در یک صفحه، یا قابها و دیوارهای واقع در صفحات موازی در نظر گرفت.

چون در یک سازه متقارن بدون پیچش قابها و دیوارها انتقال یکسانی دارند، پس معرفی آنها با یک مدل مسطح امکان پذیر است.

برای تحلیل سازه لازم است آن را با یک مدل پیوسته یکنواخت (شکل ۱۲-ب) و اجزای با تغییر مکانهای یکسان معرفی نماییم.

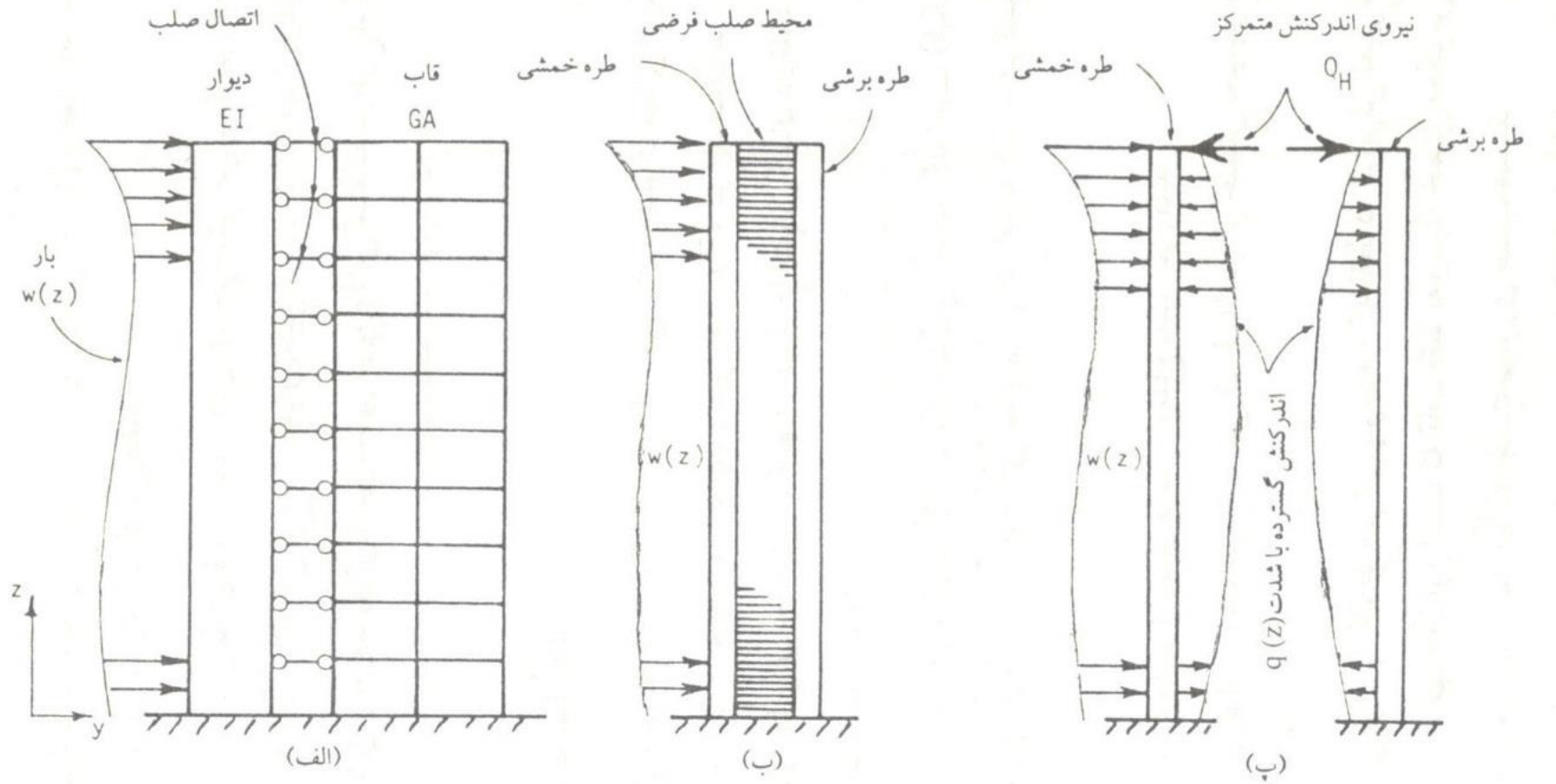
فرضیات برای تحلیل سازه قاب – دیوار متقارن:

۱- مشخصات دیوار و اعضای قاب با ارتفاع تغییر نمی کنند.

۲- دیوار با یک طره خمشی که فقط در اثر خمش تغییر شکل می دهد، در نظر گرفته می شود.

۳- قاب را می توان با یک طره برشی پیوسته که فقط در اثر برش تغییر شکل می دهد در نظر گرفت. یعنی قاب فقط بوسیله خمش معکوس ستونها و تیرها تغییر شکل میدهد و ستونها در جهت محوری صلب هستند.

۴- اعضای اتصالی را می توان با یک محیط صلب افقی که فقط نیروهای افقی را انتقال می دهد و موجب تغییر مکان یکسان طره های خمشی و برشی می گردد در نظر گرفت.



شکل ۱۲- الف- سازه قاب – دیوار مسطح، ب- شبیه سازی پیوسته سازه قاب - دیوار پ- نمودار آزاد قاب و دیوار

با در نظر گرفتن قاب و دیوار بصورت جداگانه(شکل ۱۲-پ) بار خارجی افقی وارد به سازه و نیروی اندرکنش داخلی به ترتیب w و q که شدت آنها تابعی از ارتفاع خواهد بود.

Q_Hیک نیروی متمرکز افقی است که در بالای سازه و در بین دیوار و قاب عمل می کند.
معادله برش در عضو خمشی بصورت رابطه زیر خواهد شد.

$$-EI\frac{d^3y}{dz^3}=\int_z^H[w(z)-q(z)]dz-Q_H \qquad (1)$$

معادله برش در طره برشی بصورت زیر خواهد شد:

$$(\mathrm{GA})\frac{dy}{dz}=\int_z^H q(z)dz+Q_H \qquad (2)$$

(GA) معرف صلبیت برشی متوسط یک طبقه از قاب است (مانند اینکه قاب یک عضو برشی با سطح برش A و مدول برشی G باشد).

پس از مشتق گیری از روابط ۱ و ۲ و جمع آنها خواهیم داشت:

$$EI\frac{d^4y}{dz^4}-(GA)\frac{d^2y}{dz^2}=w(z) \qquad (3)$$

$$\frac{d^4y}{dz^4}-\alpha^2\frac{d^2y}{dz^2}=\frac{w(z)}{EI} \qquad (4)$$

$$\alpha^2=\frac{(GA)}{EI}$$

معادله ۴ معادله دیفرانسیل معرف تغییر مکان قاب – دیوار است.

اگر بار جانبی وارد شده بار یکنواخت به شدت W باشد مثل بار ناشی از باد، در اینصورت جواب معادله ۴ بصورت زیر خواهد شد:

$$y(z) = c_1 + c_2 z + c_3 \cosh \alpha z + c_4 \sinh \alpha z - \frac{w z^2}{2EI\alpha^2} \qquad (5)$$

ضرایب C_1 و C_2 و C_3 و C_4 از اعمال شرایط مرزی محاسبه می شوند.

شرایط مرزی:

تکیه گاه سازه به فونداسیون گیردار است:

$$y(z=0) = 0$$

$$\frac{dy}{dz}(0) = 0$$

در بالای طره خمشی لنگر خمشی صفر است:

$$M_b(H) = \frac{d^2 y}{dz^2}(H) = 0$$

$$\cosh x = \frac{e^{x} + e^{-x}}{2}$$

$$\sinh x = \frac{e^{x} - e^{-x}}{2}$$

$$\tanh x = \frac{\sinh x}{\cosh x} = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}}$$

$$\coth x = \frac{1}{\tanh x} = \frac{e^{x} + e^{-x}}{e^{x} - e^{-x}}$$

در بالای سازه نیروی برشی صفر است:

$$EI\frac{d^3y}{dz^3}(H)-(GA)\frac{dy}{dz}(H)=0$$

با اعمال ۴ شرط فوق ضرایب C_1 و C_2 و C_3 و C_4 محاسبه و معادله تغییر شکل سازه بصورت زیر خواهد بود:

$$y(z)=\frac{wH^4}{EI}\left\{\frac{1}{(\alpha H)^4}\left[\frac{(\alpha H\sinh\alpha H+1)}{\cosh\alpha H}(\cosh\alpha z-1)-\alpha H\sinh\alpha z+(\alpha H)^2\left[\frac{z}{H}-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{H}\right)^2\right]\right]\right\}$$

(6)

در رابطه ۶ جملات داخل آکولاد کنترل کننده شکل منحنی تغییر شکل سازه و جمله $\frac{wH^4}{EI}$ کمیت تغییرمکان کل سازه را مشخص می کند.

در رابطه ۶ شکل تغییر مکان یافته سازه تابعی از پارامتر بدون بعد αH که معرف مشخصات سازه ای قاب – دیوار است، می باشد:

$$\alpha H = H\sqrt{\frac{(GA)}{EI}}$$

کمیت αH مشخص کننده رفتار سازه قاب – دیوار است. سازه های با αH یکسان و بارهای اعمالی یکسان دارای تغییر مکان و نیروهای داخلی برابر می باشند.

شاخص جابجایی طبقه که همان نسبت جابجایی طبقه تقسیم بر ارتفاع طبقه می باشد همان مشتق رابطه تغییر شکل سازه است که بصورت رابطه زیر خواهد بود.

$$\frac{dy}{dz}(z)=\frac{wH^3}{EI}\left\{\frac{1}{(\alpha H)^3}\left[\frac{(\alpha H\sinh\alpha H+1)}{\cosh\alpha H}(\sinh\alpha z)-\alpha H\cosh\alpha z+\alpha H\left(1-\frac{z}{H}\right)\right]\right\} \qquad (7)$$

لنگرهای خمشی قاب – دیوار:

دیوار رفتاری مانند طره خمشی دارد، در نتیجه لنگر خمشی آن بصورت زیر خواهد بود:

$$M_b(z)=EI\frac{d^2y}{dz^2}(z) \qquad (8)$$

$$\frac{d^2y}{dz^2}(z)=\frac{wH^2}{EI}\left\{\frac{1}{(\alpha H)^2}\left[\frac{(\alpha H\sinh\alpha H+1)}{\cosh\alpha H}(\cosh\alpha z)-\alpha H\sinh\alpha z-1\right]\right\} \quad (9)$$

$$M_b(z)=wH^2\left\{\frac{1}{(\alpha H)^2}\left[\frac{(\alpha H\sinh\alpha H+1)}{\cosh\alpha H}(\cosh\alpha z)-\alpha H\sinh\alpha z-1\right]\right\} \quad (10)$$

لنگر قاب در هر تراز، برابر است با لنگر خمشی خارجی منهای لنگر خمشی دیوار در همان تراز:

$$M_s(z)=\frac{w(H-z)^2}{2}-M_b(z) \quad (11)$$

نیروهای برشی قاب – دیوار:

نیروی برشی دیوار از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Q_b(z) = -EI\,\frac{d^3y}{dz^3}(z)$$

$$\frac{d^3y}{dz^3}(z) = \frac{wH}{EI}\left\{\frac{1}{(\alpha H)}\left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\sinh \alpha z) - \alpha H \cosh \alpha z\right]\right\}$$

(12)

$$Q_b(z) = -wH\left\{\frac{1}{(\alpha H)}\left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\sinh \alpha z) - \alpha H \cosh \alpha z\right]\right\}$$

(13)

برش قاب در هر تراز برابر است با برش خارجی منهای برش دیوار:

$$Q_s(z) = w(H - z) - Q_b(z) \qquad (14)$$

نیروی اندر کنش متمرکز در بالای سازه (Q_H):

نیروی اندر کنش افقی متمرکز در بالای سازه بین قاب و دیوار در اثر شیب در بالای سازه $\frac{dy}{dz}(H)$ است که متناظر با نیروی برشی در بالای قاب و برابر مقدار زیر است:

$$Q_s(H) = (GA)\frac{dy}{dz}(H) \qquad (15)$$

با توجه به اینکه نیروی برشی کل در بالای سازه صفر است، بنا براین عکس العمل برش قاب بصورت برش معکوس به دیوار اثر می کند:

$$Q_b(H) = -EI\frac{d^3y}{dz^3}(H) \qquad (16)$$

این اندرکنش افقی بین قاب و دیوار که در اثر نیروهای برشی فوق الذکر ایجاد می شود همان نیروی Q_H است.

نیروهای داخلی محاسبه شده برای دیوار برشی در طراحی دیوار قابل استفاده است.

قاب برای نیروهای داخلی محاسبه شده، تحلیل شده و نیروهای داخلی اعضای قاب از این تحلیل محاسبه شده و برای طراحی اعضا مورد استفاده قرار می گیرند.

در روشهای تقریبی با استفاده از نیروهای برشی قاب و روش پرتال و برای سازه های بلند با استفاده از لنگر های خمشی قاب و روش طره ای می توان قاب را آنالیز نمود.

برش در طبقه اول قاب:

فرض شیب صفر در پای سازه $\left(dy/dz = 0\right)$ به این معنی است که در پای سازه دیوار

تمام برش را تحمل کرده و قاب هیچ سهمی از آن نخواهد داشت. ولی در یک سازه حقیقی با جابجایی اولین کف ستونهای طبقه اول تحت برش قرار میگیرند، بنابراین این فرض نمی‌تواند صحیح باشد، نیروی برشی در طبقه اول را با استفاده از تعریف صلبیت برشی این طبقه می توان بدست آورد.

در واقع صلبیت برشی برابر است با نیروی برشی طبقه که شیب واحد در طبقه ایجاد نماید.

$$\delta_i = \frac{(Qh)_i}{(GA)_i} \Rightarrow \quad Q_i = (GA)_i \left(\delta/h\right)_i = (GA)_i \phi_i \qquad (17)$$

$$Q_1 = (GA)_1 \left(\delta/h\right)_1$$

اگر پای سازه گیردار باشد:

$$Q_s(1) = \frac{12E\left(1+\frac{\sum\left(I_c/h_c\right)_1}{6\sum\left(I_g/L_g\right)_1}\right)}{h_1^{\,2}\left(\frac{1}{\sum\left(I_c/h_c\right)_1}+\frac{2}{3\sum\left(I_g/L_g\right)_1}\right)}\times y(1) \qquad (18)$$

اگر پای سازه مفصلی باشد:

$$Q_s(1) = \frac{12E}{h_1^{\,2}\left(\frac{4}{\sum\left(I_c/h_c\right)_1}+\frac{3}{2\sum\left(I_g/L_g\right)_1}\right)}\times y(1) \qquad (19)$$

معادله ۶ برای محاسبه تغییر مکان و معادله ۷ برای شاخص جابجایی طبقه و معادله ۱۰ برای لنگر خمشی دیوار و معادله ۱۳ برای نیروی برشی دیوار بکار می روند.

معادله ۶ را بصورت زیر می توان نوشت:

$$y(z)=\frac{wH^4}{8EI}\left\{\frac{8}{(\alpha H)^4}\left[\frac{(\alpha H\sinh\ \alpha H+1)}{\cosh\ \alpha H}(\cosh\ \alpha z-1)-\alpha H\sinh\ \alpha z\right]\right\}$$
$$+(\alpha H)^2\left[\frac{z}{H}-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{H}\right)^2\right]$$

$$y(z)=\frac{wH^4}{8EI}K_1(\alpha H\ ,\ z/H) \qquad (20)$$

در رابطه ۲۰ تابع K_1 جایگزین جملات داخل آکولاد شده و تابعی از αH , z/H می باشد.

$$K_1 = \frac{8}{(\alpha H)^4}\left[\begin{array}{l}\dfrac{(\alpha H \sinh\ \alpha H + 1)}{\cosh\ \alpha H}(\cosh \alpha z - 1) - \alpha H \sinh\ \alpha z \\ + (\alpha H)^2\left[\dfrac{z}{H} - \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{z}{H}\right)^2\right]\end{array}\right] \quad (21)$$

رابطه K_1 نشان دهنده توزیع تغییر مکان برای مقادیر مختلف αH قاب – دیوار می باشد و جمله جلوی آکولاد در معادله ۲۰ تعیین کننده کمیت توزیع می باشد.

جمله $\frac{wH^4}{8EI}$ معرف تغییر مکان بالای دیوار وقتی که دیوار به تنهایی بارها را تحمل میکند، می باشد. یعنی در حالتی که GA و در نتیجه αH برابر صفر باشد.

بنابراین تغییرات K_1 در ارتفاع و برای $\alpha H = 0$ معرف تغییر مکان طره خمشی خالص است که حداکثر مقدار آن برابر یک و در بالای طره خواهد بود.

منحنیهای K_1 برای αH های مختلف در شکلهای ۱۳ و ۱۷ و ۲۱ برای بارهای مختلف ارائه شده[30] است.

اگر معادلات ۷ (شاخص جابجایی طبقه) و ۱۰ (لنگر خمشی دیوار) و ۱۳(نیروی برشی دیوار) همانند معادله ۶ بصورت تابعی از αH , z/H نوشته شوند، معادلات ۲۲و ۲۴ و ۲۶ حاصل می شوند.

شاخص جابجائی طبقه یا نسبت تغییر مکان جانبی نسبی طبقه به ارتفاع طبقه:

$$\frac{dy}{dz}(z) = \frac{wH^3}{6EI} K_2(\alpha H , z/H) \qquad (22)$$

$$K_2 = \frac{6}{(\alpha H)^3}\left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\sinh \alpha z) - \alpha H \cosh \alpha z + \alpha H \left(1 - \frac{z}{H}\right)\right] \qquad (23)$$

لنگر خمشی دیوار:

$$M_b(z) = \frac{wH^2}{2} K_3(\alpha H , z/H) \qquad (24)$$

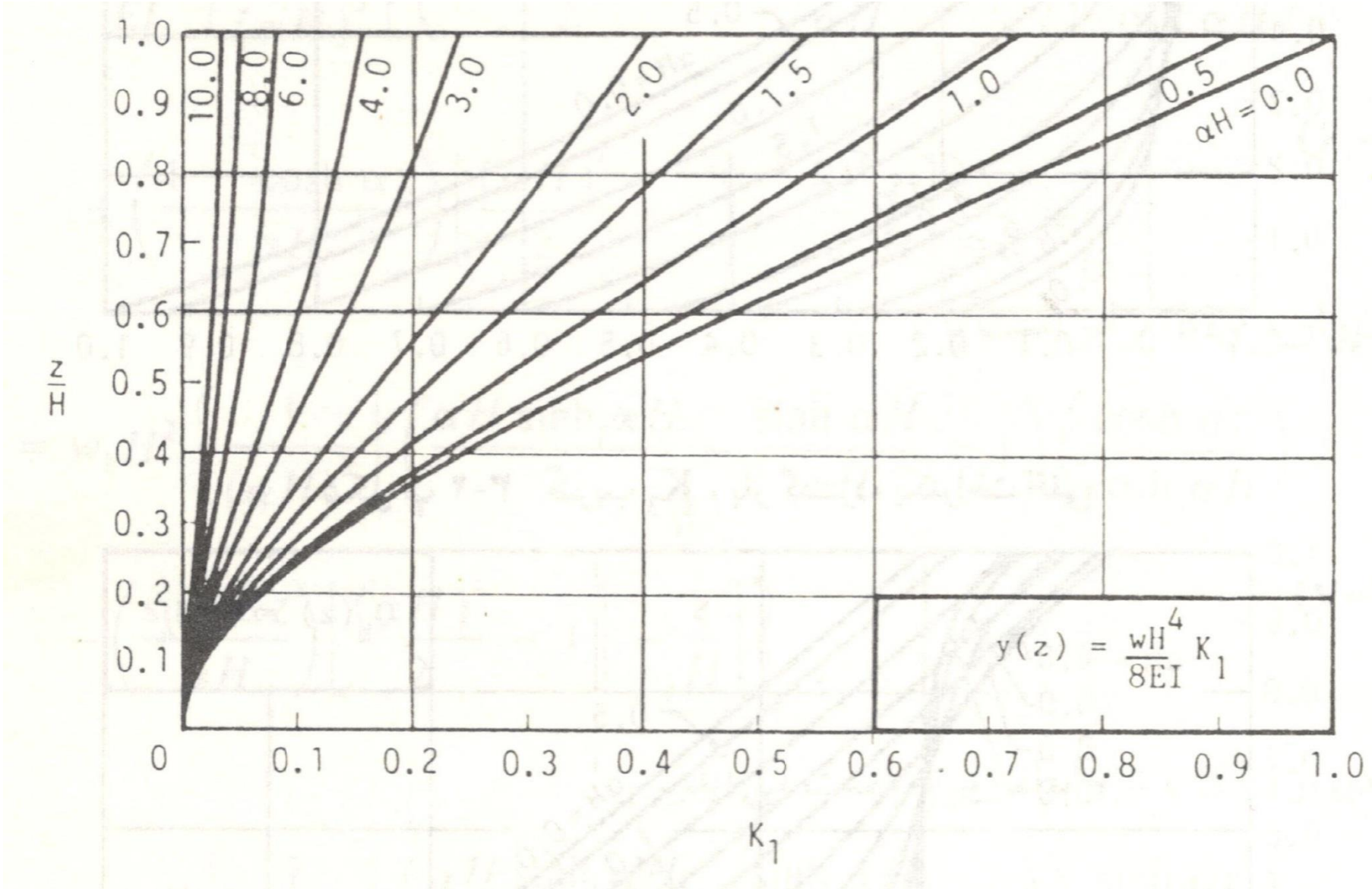
$$K_3 = \frac{2}{(\alpha H)^2}\left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\cosh \alpha z) - \alpha H \sinh \alpha z - 1\right] \quad (25)$$

نیروی برشی دیوار:

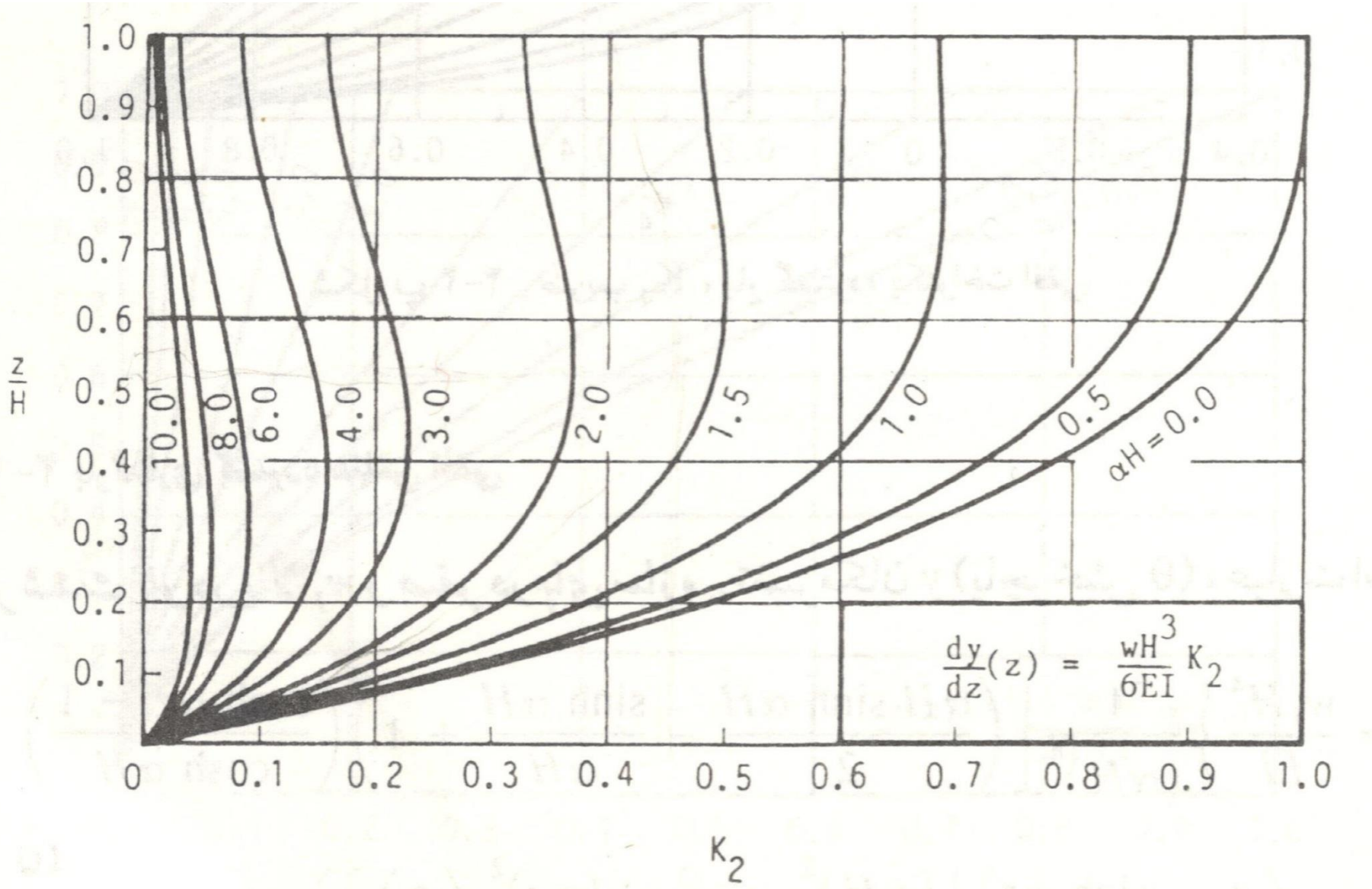
$$Q_b(z) = wH\, K_4(\alpha H\,,\, z/H) \quad (26)$$

$$K_4 = -\frac{1}{(\alpha H)}\left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\sinh \alpha z) - \alpha H \cosh \alpha z\right] \quad (27)$$

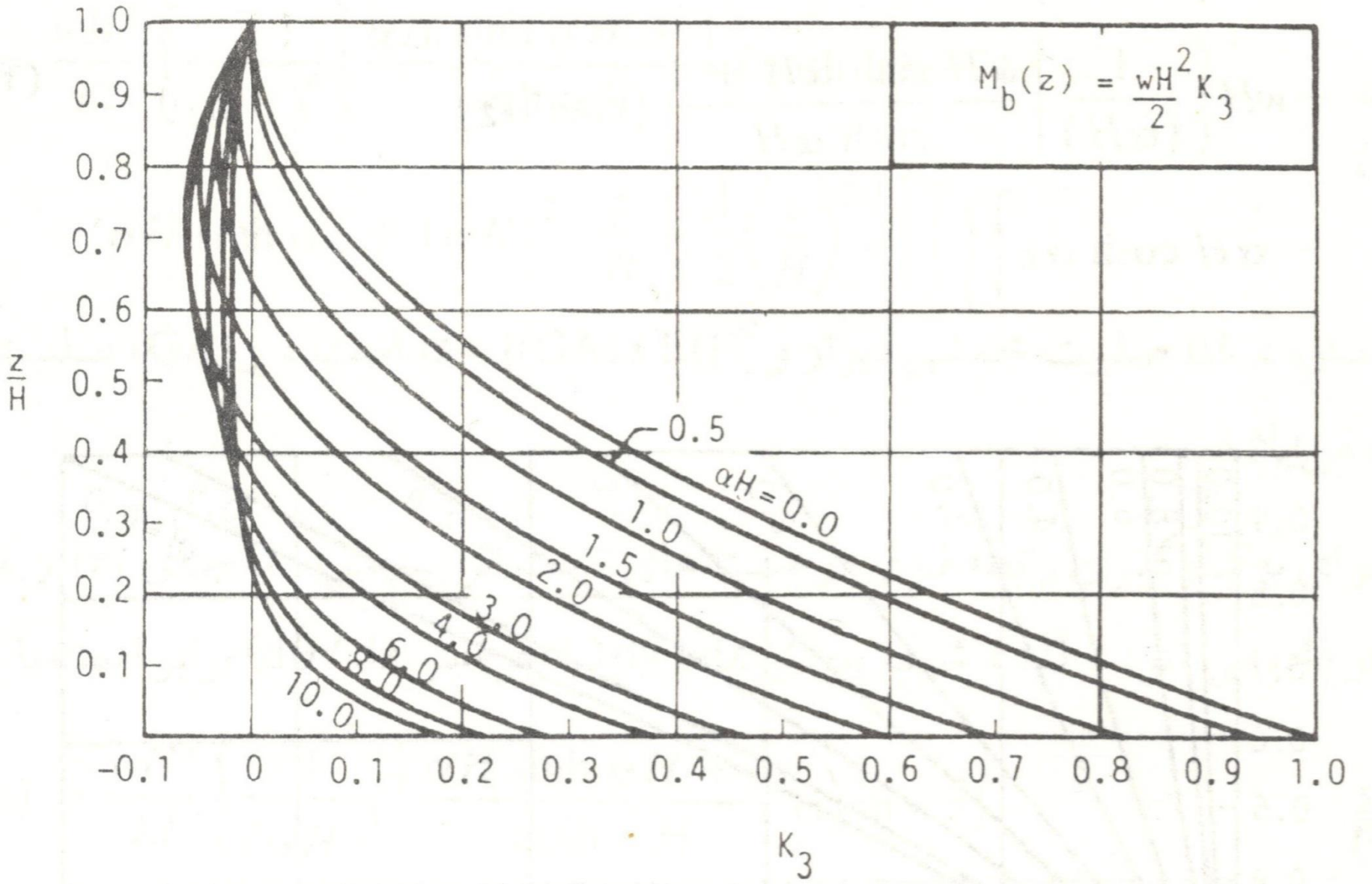
در معادلات ۲۰ و ۲۲ و ۲۴ و ۲۶ پارامترهای K_1 , K_2 , K_3 , K_4 معرفت توزیع کنش در ارتفاع سازه بر حسب پارامتر αH و جمله ماقبل K معرف حداکثر مقدار کنش دیوار وقتی که بار را به تنهائی تحمل می کند، می باشد. در نتیجه حداکثر مقادیر K_1 , K_2 , K_3 , K_4 برابر یک می باشد. منحنیهای K_2 , K_3 , K_4 برای مقادیر αH های مختلف در شکلهای ۱۳ الی ۲۴ ارائه شده است.



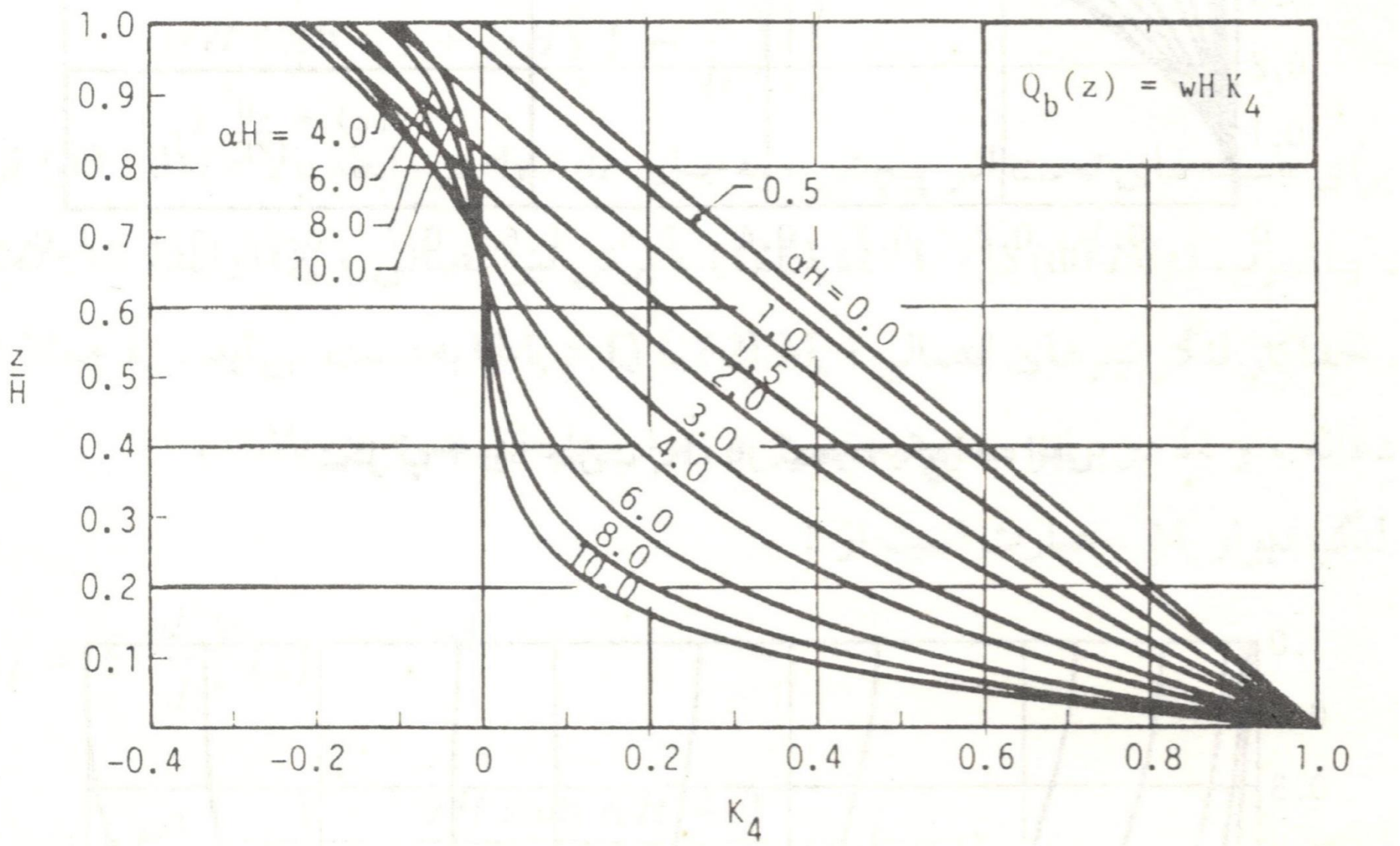
شکل ۱۳- منحنیهای K_1 برای بار گسترده یکنواخت افقی



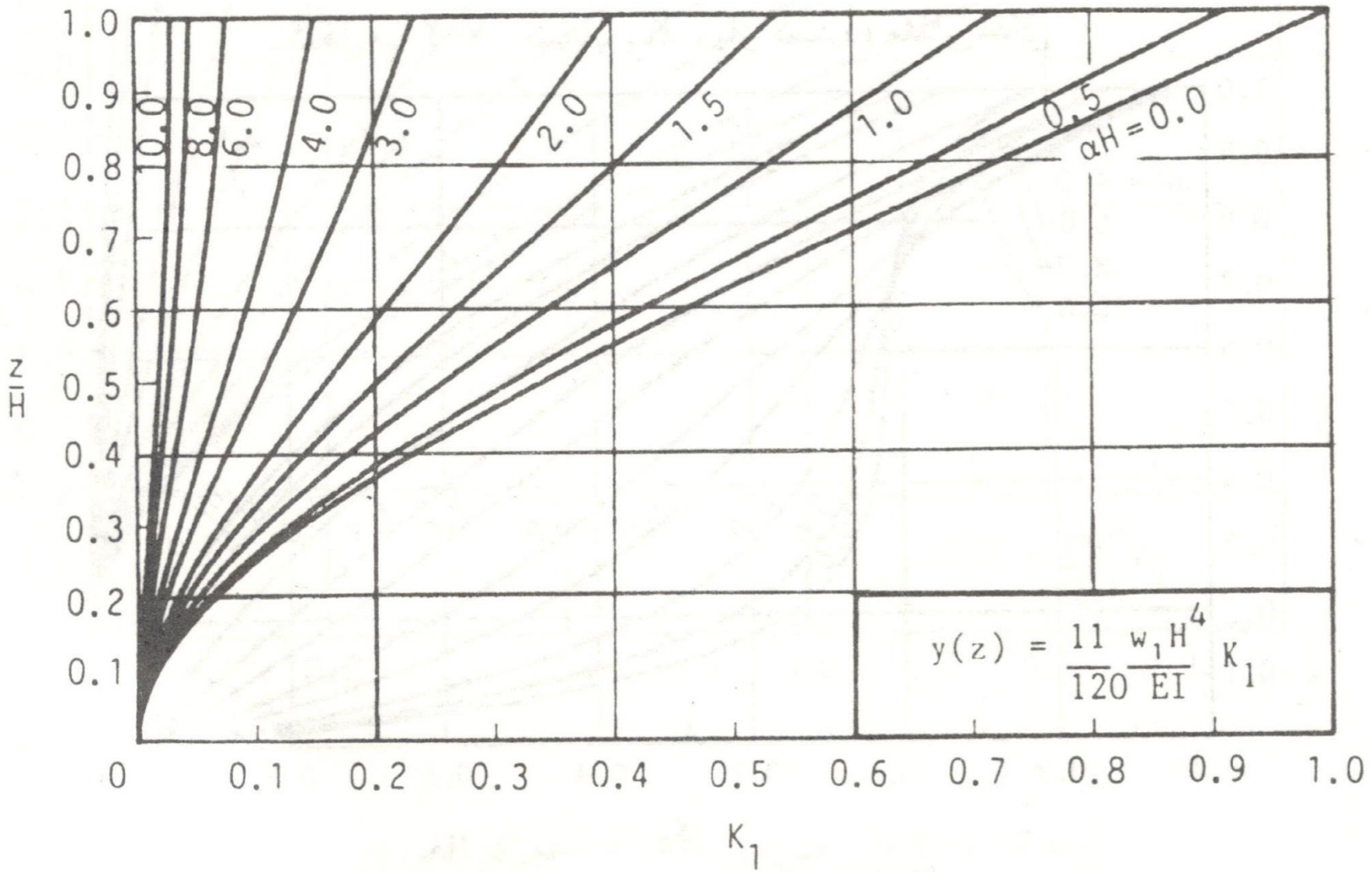
شکل ۱۴- منحنیهای K_2 برای بار گسترده یکنواخت افقی



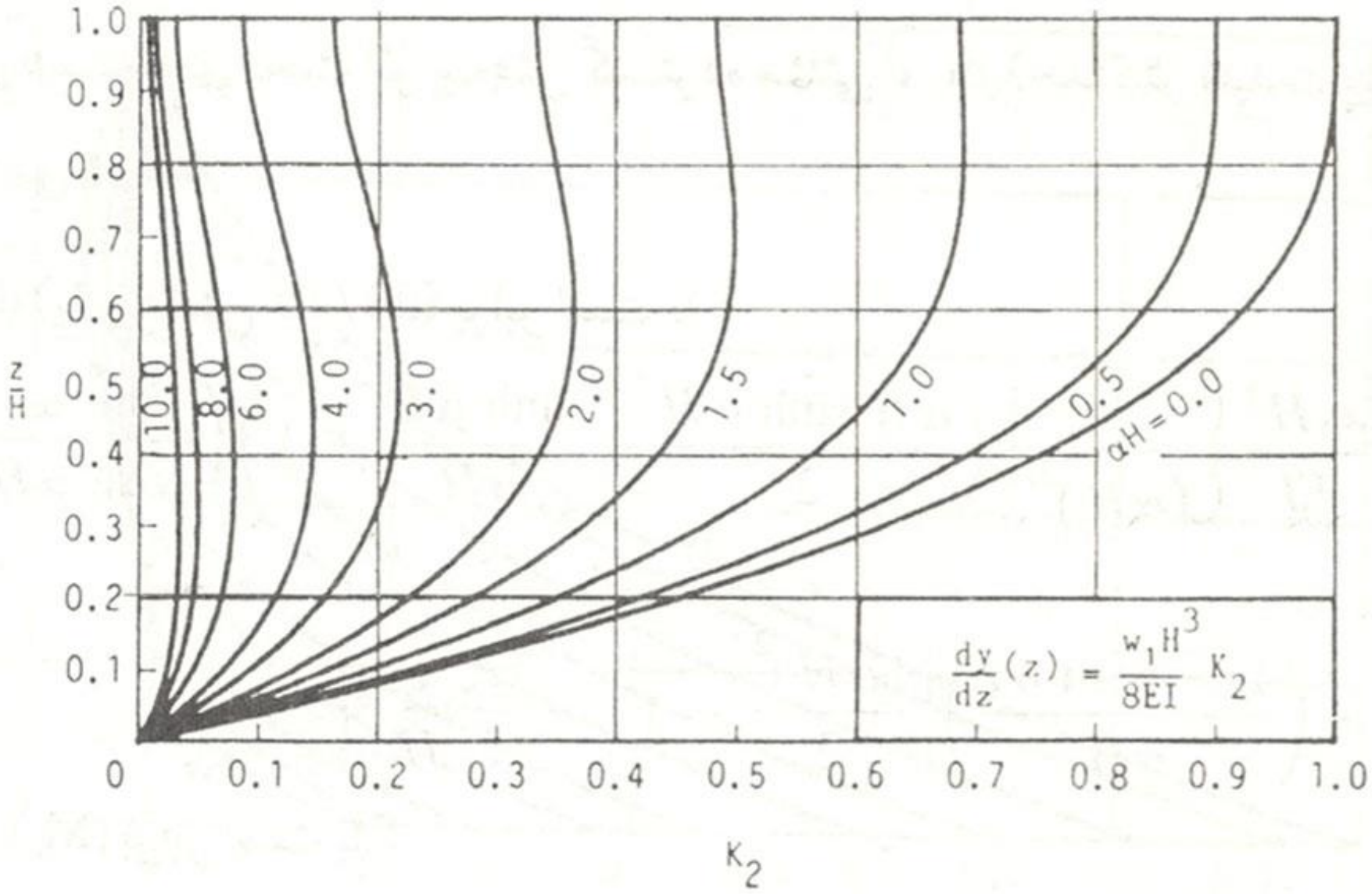
شکل ۱۵- منحنیهای K_3 برای بار گسترده یکنواخت افقی



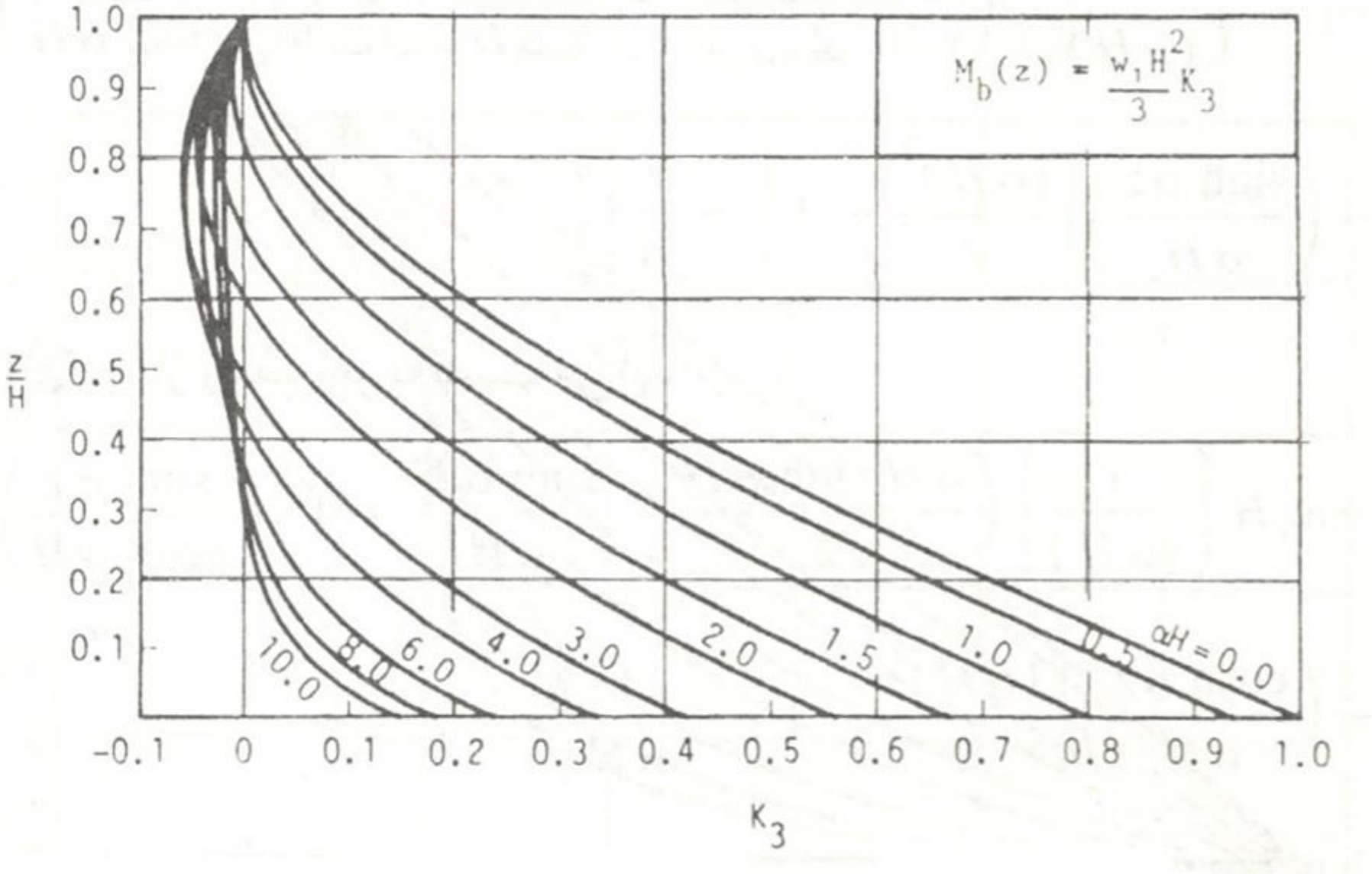
شکل ۱۶- منحنیهای K_4 برای بار گسترده یکنواخت افقی



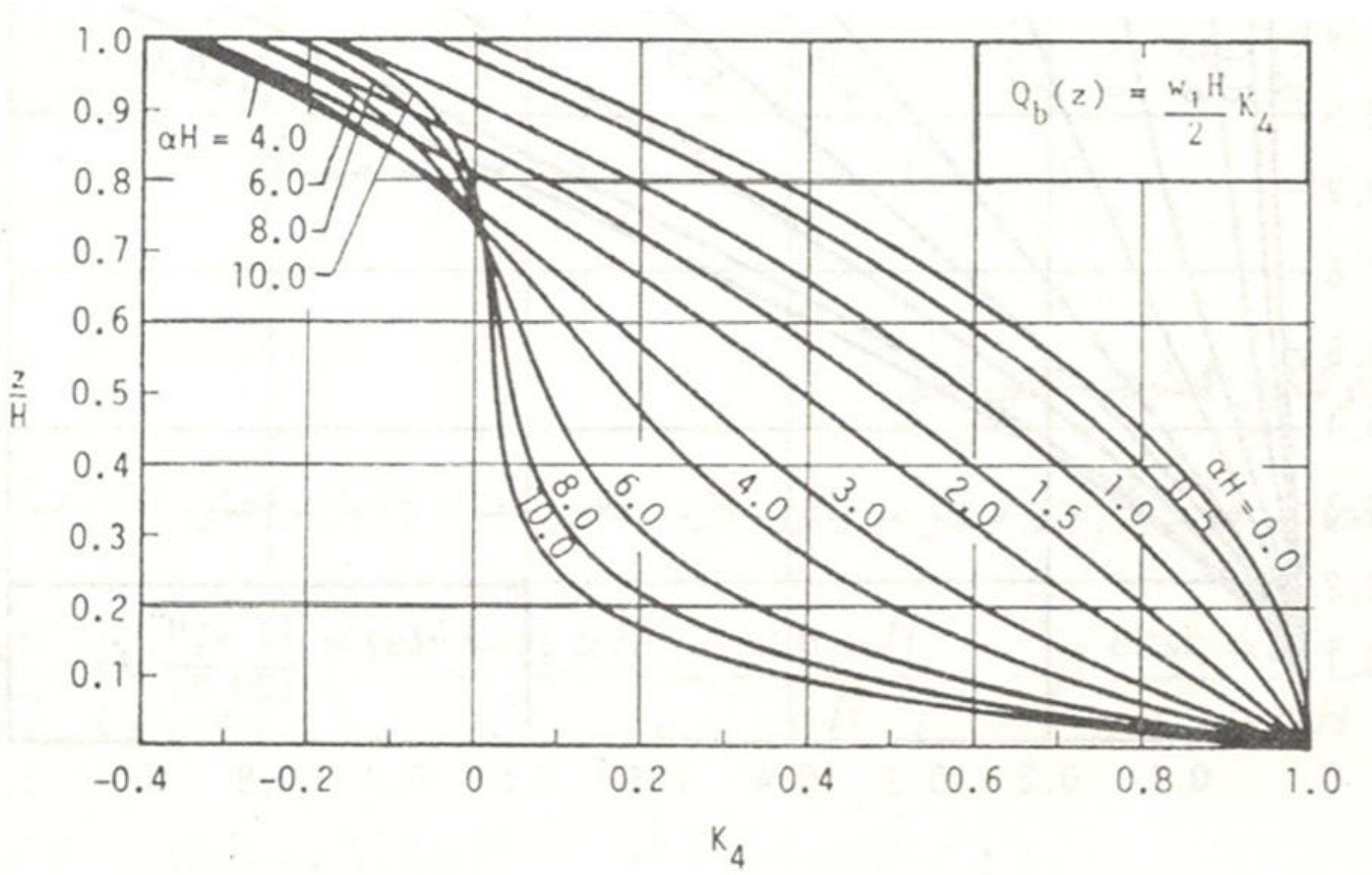
شکل ۱۷- منحنیهای K_1 برای بار گسترده مثلثی افقی



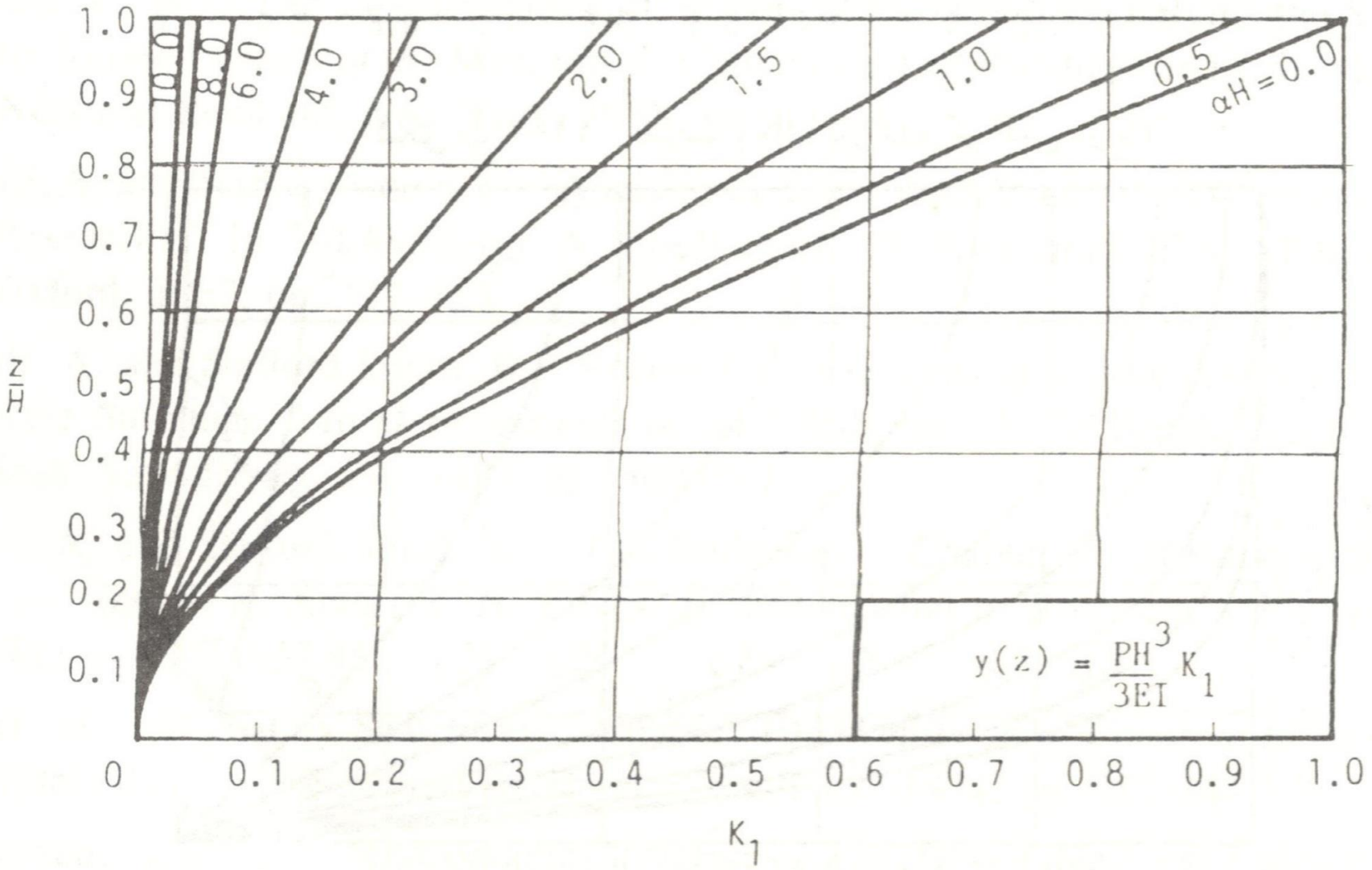
شکل ۱۸- منحنیهای K_2 برای بار گسترده مثلثی افقی



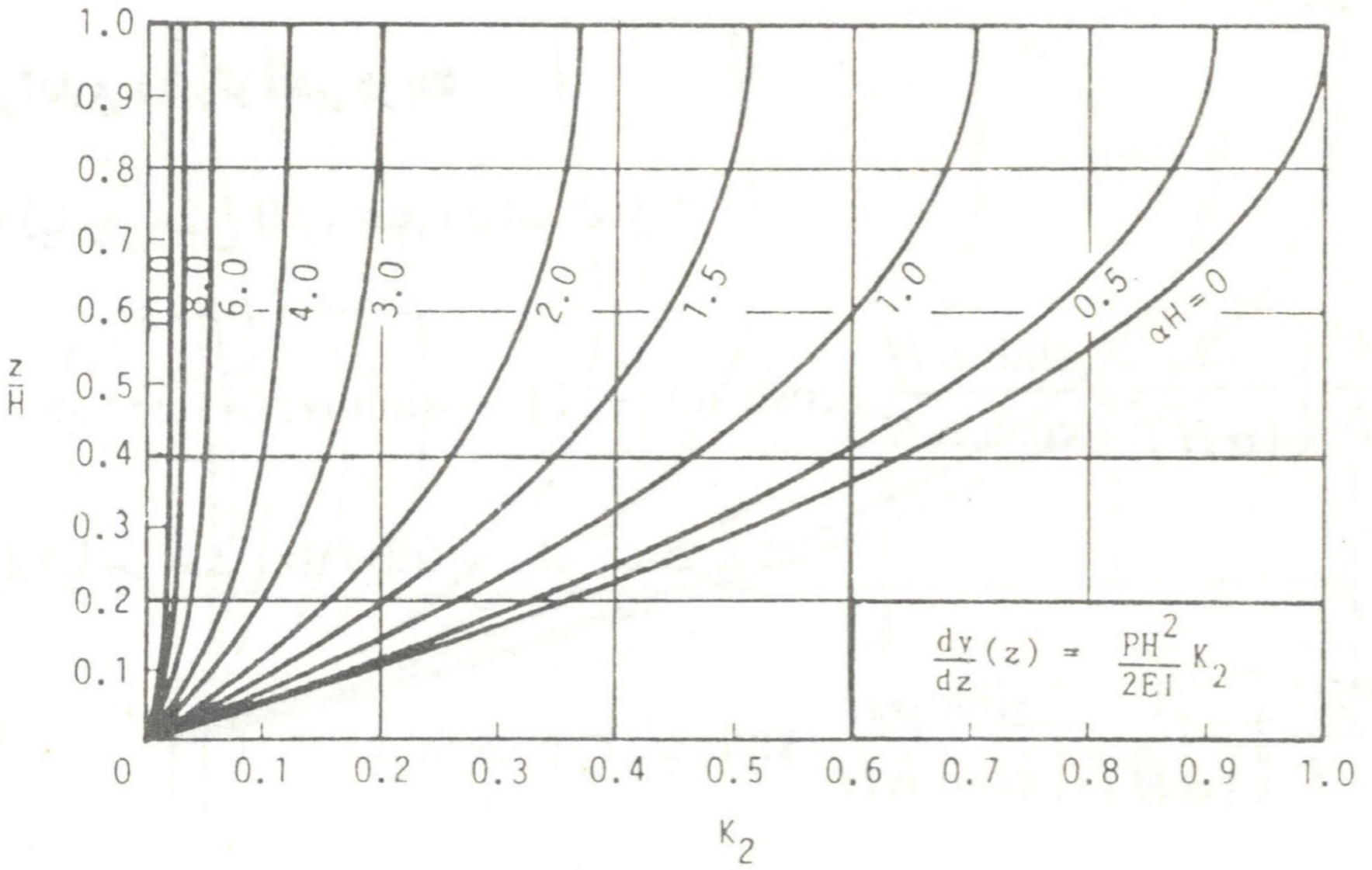
شکل ۱۹- منحنیهای K_3 برای بار گسترده مثلثی افقی



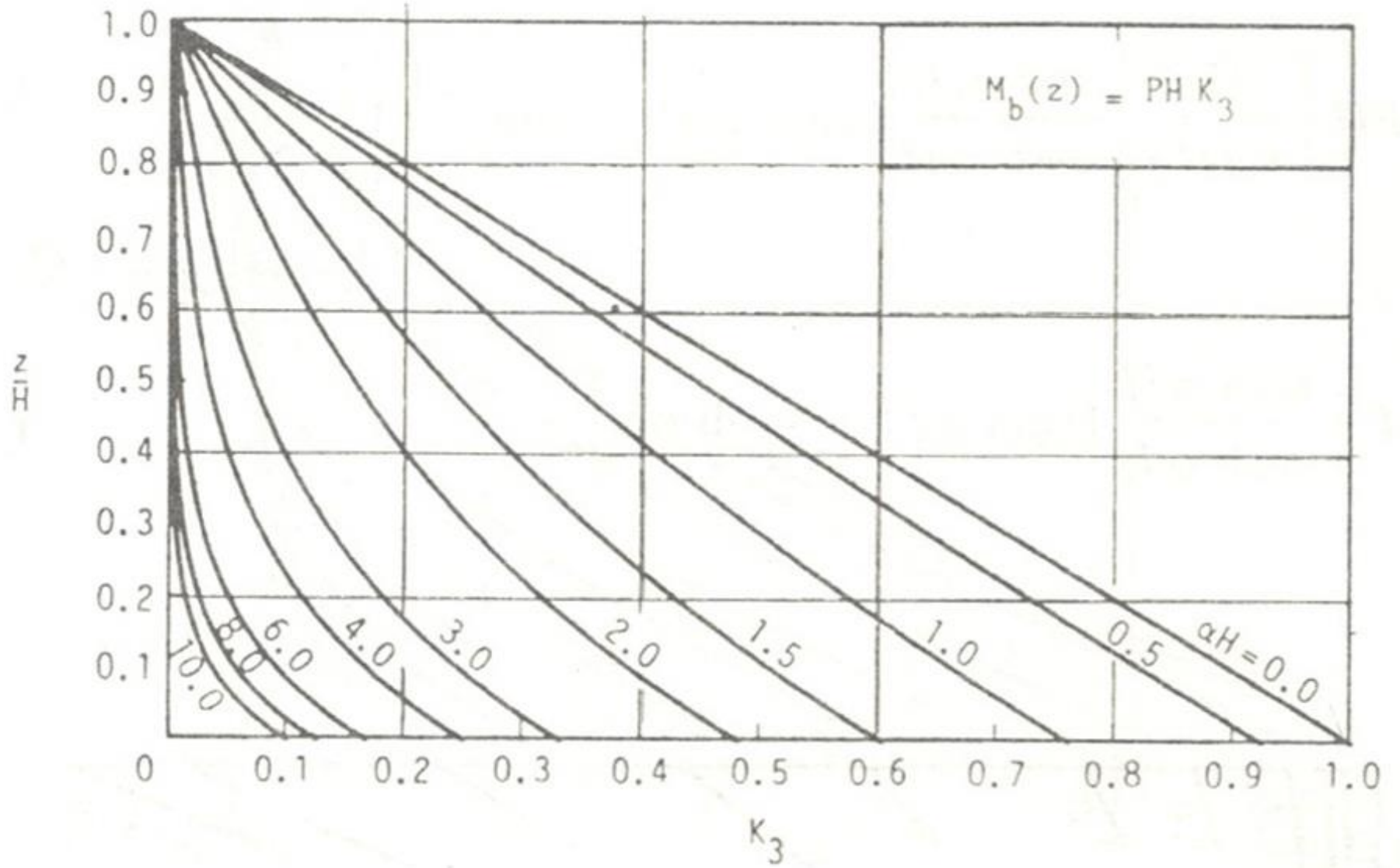
شکل ۲۰- منحنیهای K_4 برای بار گسترده مثلثی افقی



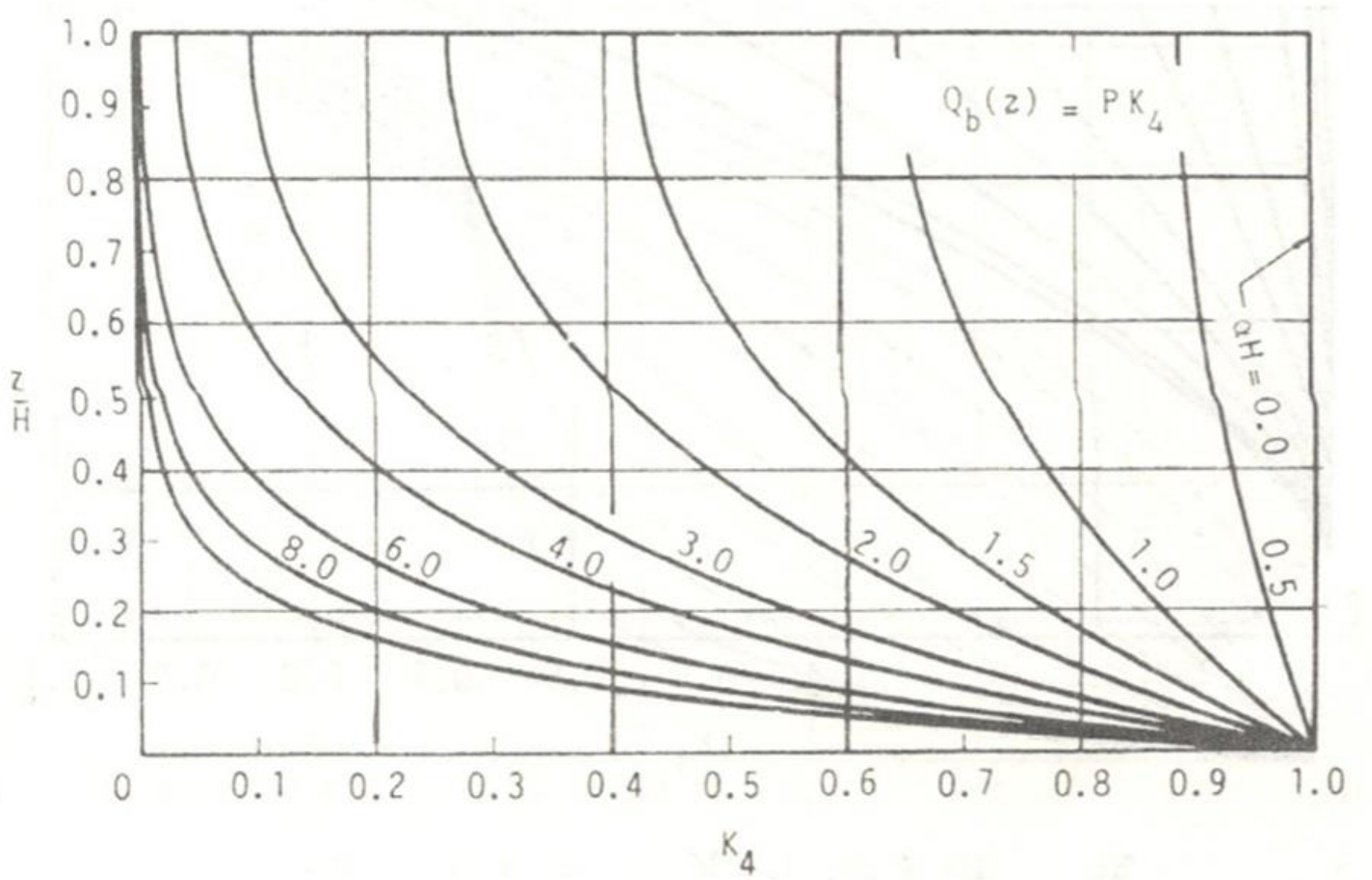
شکل ۲۱- منحنیهای K_1 برای بار متمرکزافقی در بالا



شکل ۲۲- منحنیهای K_2 برای بار متمرکزافقی در بالا



شکل ۲۳- منحنیهای K_3 برای بار متمرکزافقی در بالا



شکل ۲۴- منحنیهای K_4 برای بار متمرکزافقی در بالا

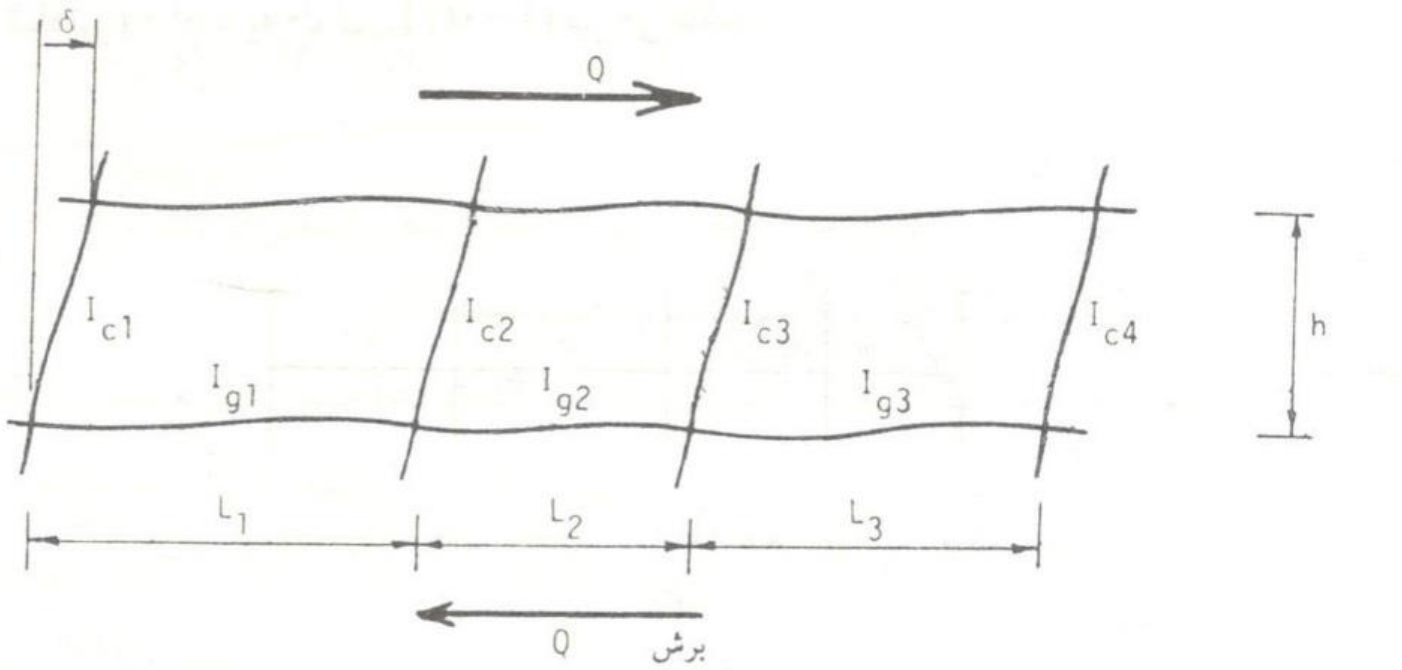
صلبیت برشی طبقه:

صلبیت برشی طبقه (GA) عبارت است از نیروی برشی لازم برای ایجاد یک واحد تغییرمکان در یک واحد ارتفاع، که با توجه به شکل ۲۵ با رابطه زیر می توان بیان نمود.

$$(GA) = \frac{Q}{\delta / h} = \frac{Qh}{\delta} \qquad (28)$$

برای یک طبقه از یک قاب صلب صلبیت برشی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$GA = \frac{24E}{h\left(\frac{2}{\sum Kc} + \frac{1}{\sum K_{bb}} + \frac{1}{\sum K_{bt}}\right)} \qquad (29)$$



شکل ۲۵- یک طبقه از قاب صلب تحت اثر برش

قاب صلب، دیوار و تیر اتصالی:

اتصال قابهای صلب با یک دیوار و یا هسته بوسیله تیرها در ساختمانهای بتنی بسیار متداول است.

صلبیت برشی مجموعه خمشی مرکب را با تقسیم آن به دو قسمت همانند شکل ۲۶ و جمع صلبیتهای آنها $(GA)_1$ ، $(GA)_{11}$ بطور تقریبی می توان بدست آورد:

$(GA)_1$ صلبیت برشی دیوار را می توان نصف صلبیت برشی دیوار برشی کوپل شامل دو دیوار مشابه و با محورهای مرکزی به فاصله $2(a+\alpha L_m)$ در نظر گرفت:

$$(GA)_1 = \frac{1}{2} \times \frac{12EI_g(2a+2\alpha L_m)^2}{(2\alpha L_m)^3 h} \qquad (30)$$

α به موقعیت نقطه عطف تیر اتصالی مربوط بوده و مقدار آن به صورت زیر است:

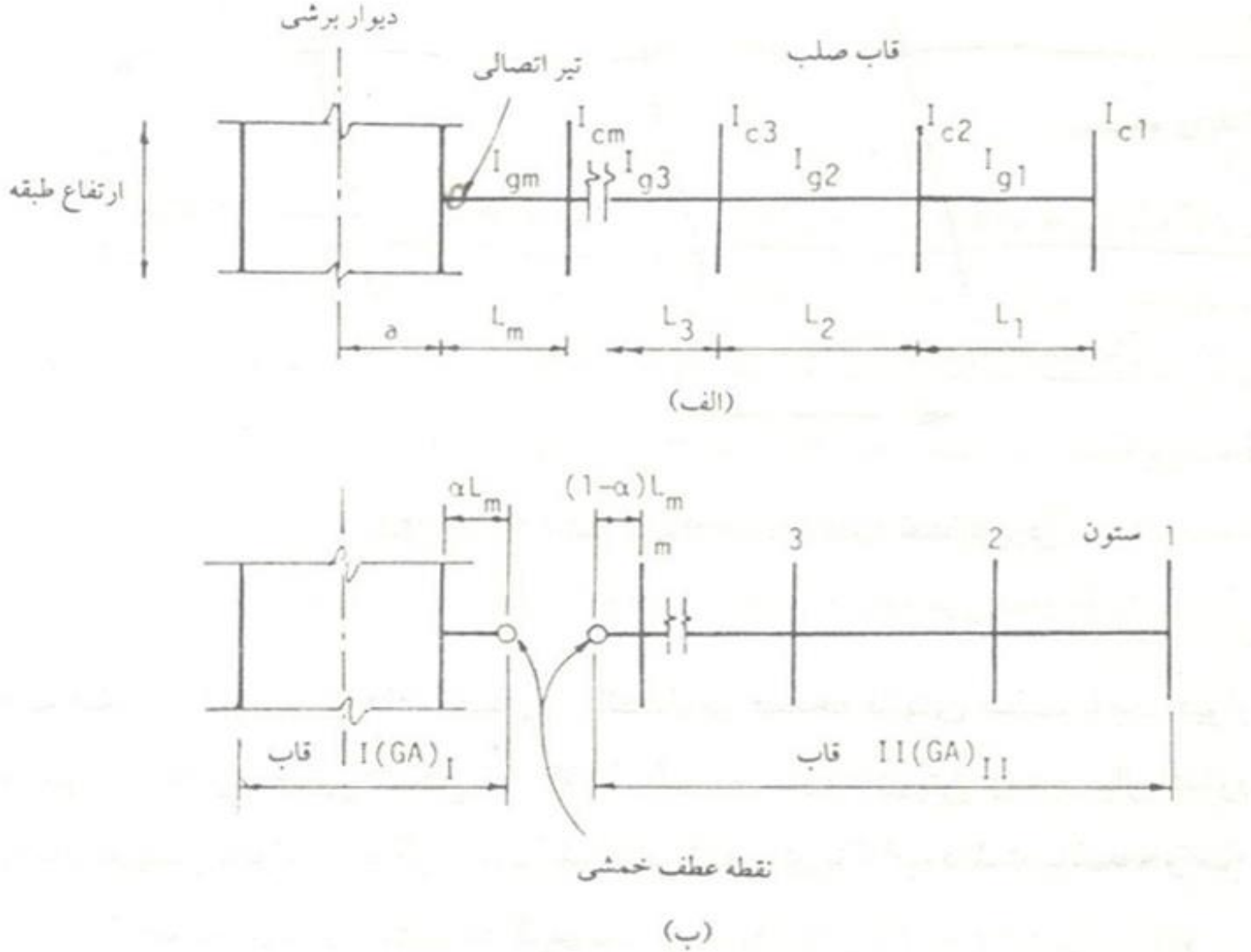
$$m = 1 \quad \Rightarrow \alpha = 0.566 + 0.024\mathrm{Ln}(\eta) + 0.0424\beta$$

$$m > 1 \quad \Rightarrow \alpha = 0.55\mathrm{Ln}(\beta) + 0.635$$

$$\beta = {EI_g}/{EI_c}$$

$$\eta = {a}/{L_m}$$

$(GA)_{11}$ صلبیت برشی قاب صلب که از رابطه ۲۹ محاسبه می شود.



شکل ۲۶- الف- طبقه ای از سازه قاب – دیوار با تیر اتصالی، ب- سازه تقسیم شده معادل

مثال:

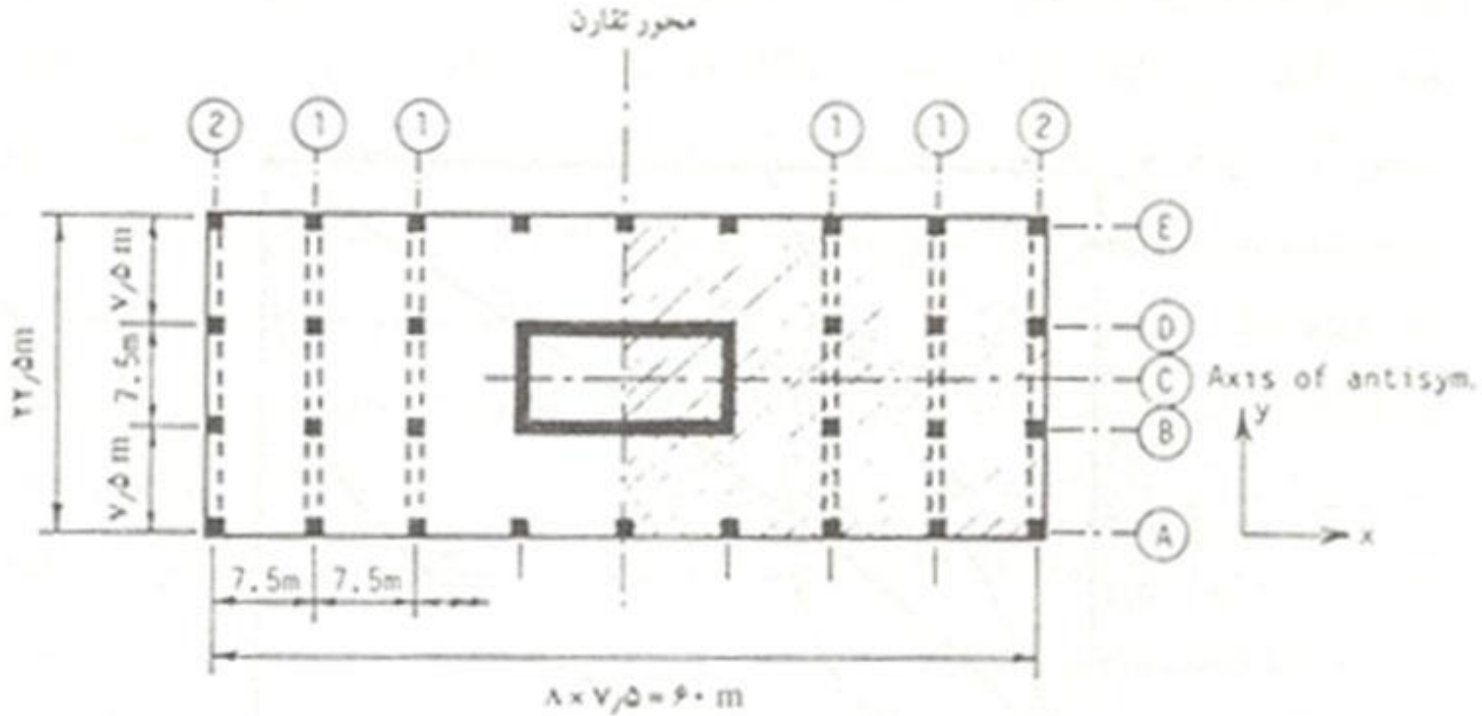
پلان یک سازه قاب – دیوار ۳۵ طبقه به ارتفاع ۱۲۲/۵ متر در شکل زیر نشان داده شده است. بار باد اعمالی به ضلع بزرگ سازه توسط ۶ قاب و یک هسته مرکزی تحمل می شود.

اگر شدت بار باد $1.5\ kn/m^2$ فرض شود، تغییر مکانها، جابجایی طبقات و نیروهای قابهای عرضی و هسته را در اثر بار باد محاسبه کنید. مشخصات سازه در شکل نشان داده شده است. ارتفاع تمام طبقات مساوی ۳/۵ متر می باشد.

حل: تعیین αH

الف- مجموع صلبیت خمشی تمام دیوارها و هسته ها صلبیت خمشی کل سازه خواهد بود. در این مثال فقط یک هسته مرکزی وجود دارد:

$$(EI)_t = 2\times10^7 \times 313 = 6.26\times10^9 \quad kn.m^2$$



	ستون داخلی I_{xx}	ستون خارجی I_{xx}	شاه‌تیر I_{xx}
قاب 1	۰٫۰۸۳ m^4	۰٫۰۵۰ m^4	۰٫۰۱۱ m^4
قاب 2	۰٫۰۵۰ m^4	۰٫۰۳۴ m^4	۰٫۰۰۵ m^4

ممان اینرسی هسته = 313 m^4 مدول الاستیسیته = 2×10^7 kn/m^2

ب- صلبیت برشی سازه از جمع صلبیت برشی قابها طبق رابطه ۲۹ محاسبه می شود.

$$GA = \frac{24E}{h\left(\frac{2}{\sum K_c} + \frac{1}{\sum K_{bb}} + \frac{1}{\sum K_{bt}}\right)} = \frac{12E}{h\left(\frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{\sum K_b}\right)}$$

$$\sum K_{bb} = \sum K_{bt} = \sum K_b$$

$$\sum K_c = \sum \frac{I_c}{L_c} = \frac{2(0.083 + 0.05)}{3.5} = 0.076$$

$$\sum K_{bb} = \sum K_{bt} = \sum \frac{I_b}{L_b} = \frac{3 \times 0.011}{7.5} = 0.0044$$

صلبیت برشی قاب ۱:

$$GA = \frac{12 \times 2 \times 10^7}{3.5\left(\frac{1}{0.076} + \frac{1}{0.0044}\right)} = 2.85 \times 10^5 \quad kn$$

صلبیت برشی قاب ۲:

$$\sum K_c = \sum \frac{I_c}{L_c} = \frac{2(0.034+0.05)}{3.5} = 0.048$$

$$\sum K_{bb} = \sum K_{bt} = \sum \frac{I_b}{L_b} = \frac{3\times 0.005}{7.5} = 0.002$$

$$GA = \frac{12\times 2\times 10^7}{3.5\left(\frac{1}{0.048}+\frac{1}{0.002}\right)} = 1.316\times 10^5 \quad kn$$

صلبیت برشی کل سازه:

$$(GA)_t = \sum (GA) = 4\times 2.85\times 10^5 + 2\times 1.316\times 10^5 = 14.032\times 10^5 \quad kn$$

محاسبه αH:

$$\alpha H = H\sqrt{\frac{(GA)}{EI}}$$

$$\alpha H = 122.5\sqrt{\frac{14.032\times10^{5}}{6.26\times10^{9}}} = 1.83$$

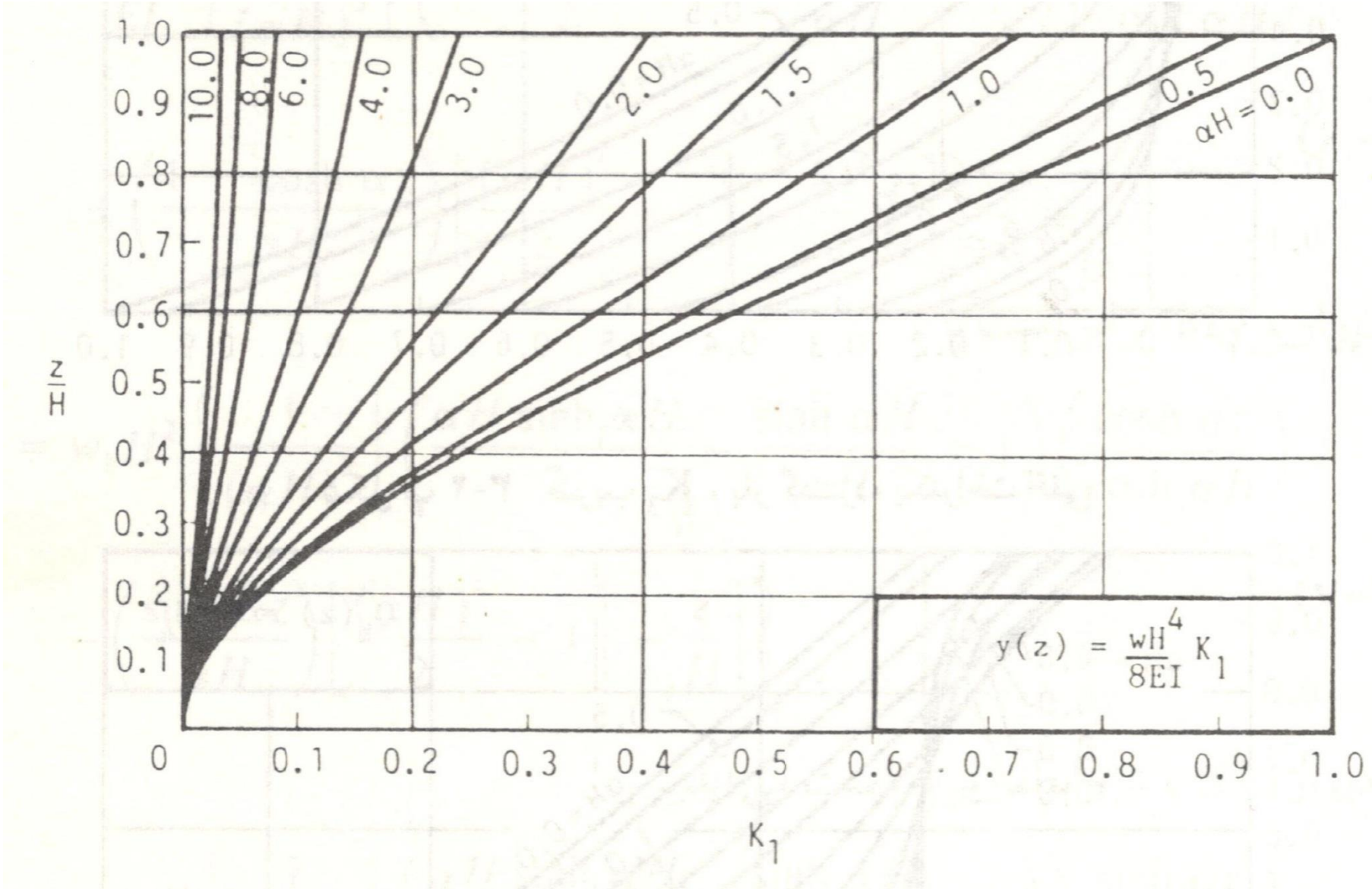
محاسبه تغییر مکان های افقی:

تغییر مکان در ارتفاع z از پای سازه با جایگزینی Z/H و αHدر رابطه ۶ و یا با تعیین K_1 مربوط به مقادیر Z/H و αH از شکل ۱۳ و جایگزینی آن در رابطه زیر محاسبه می شود.

$$y(z) = \frac{wH^{4}}{8EI}K_1(\alpha H\ ,\ {}^{z}\!/_{H})$$

K_1 برای بالای سازه Z/H=1 $K_1 = 0.44$

$$w = 1.5\times60 = 90 \quad kn/m$$



شکل ۱۳- منحنیهای K_1 برای بار گسترده یکنواخت افقی

تغییر مکان در بالای سازه:

$$y(z)=\frac{90\times122.5^4}{8\times6.26\times10^9}\times0.44=0.178 \quad m$$

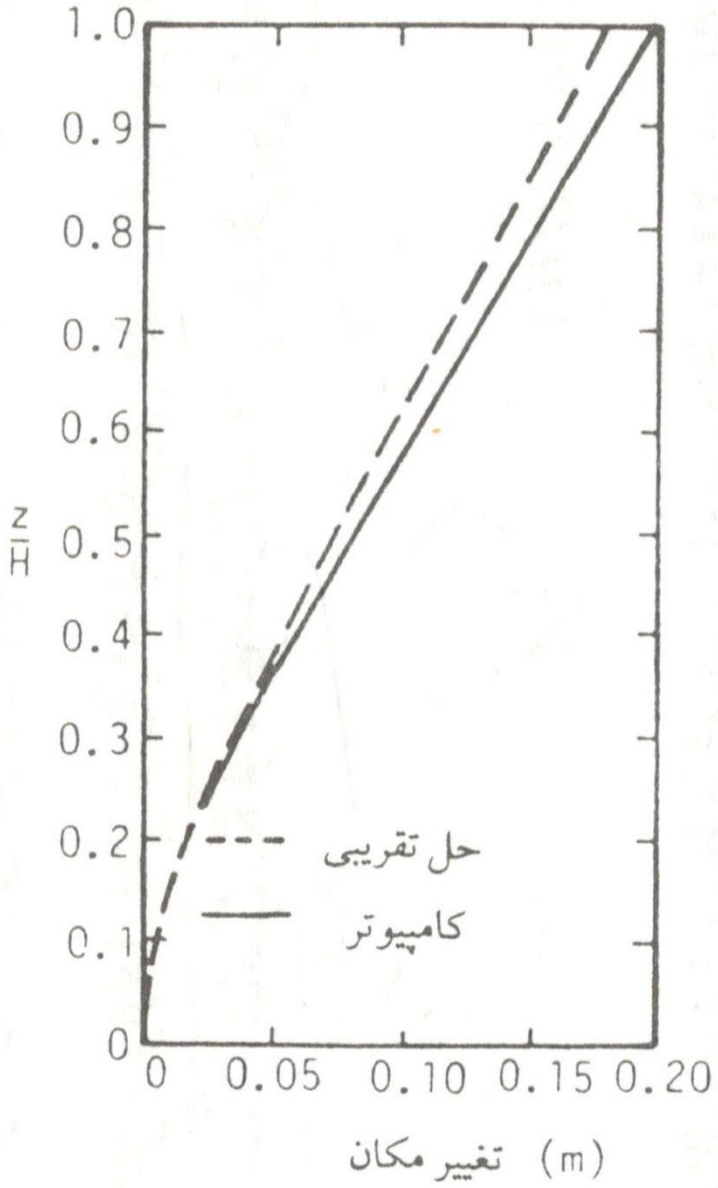
تغییر مکان در بالای سازه در ترازهای دیگر همانند بالای سازه محاسبه می شود، نتیجه محاسبات تغییر مکان در ترازهای دیگر در شکل ۲۷ بصورت منحنی آمده است.

محاسبه حداکثر شاخص جابجائی طبقه:

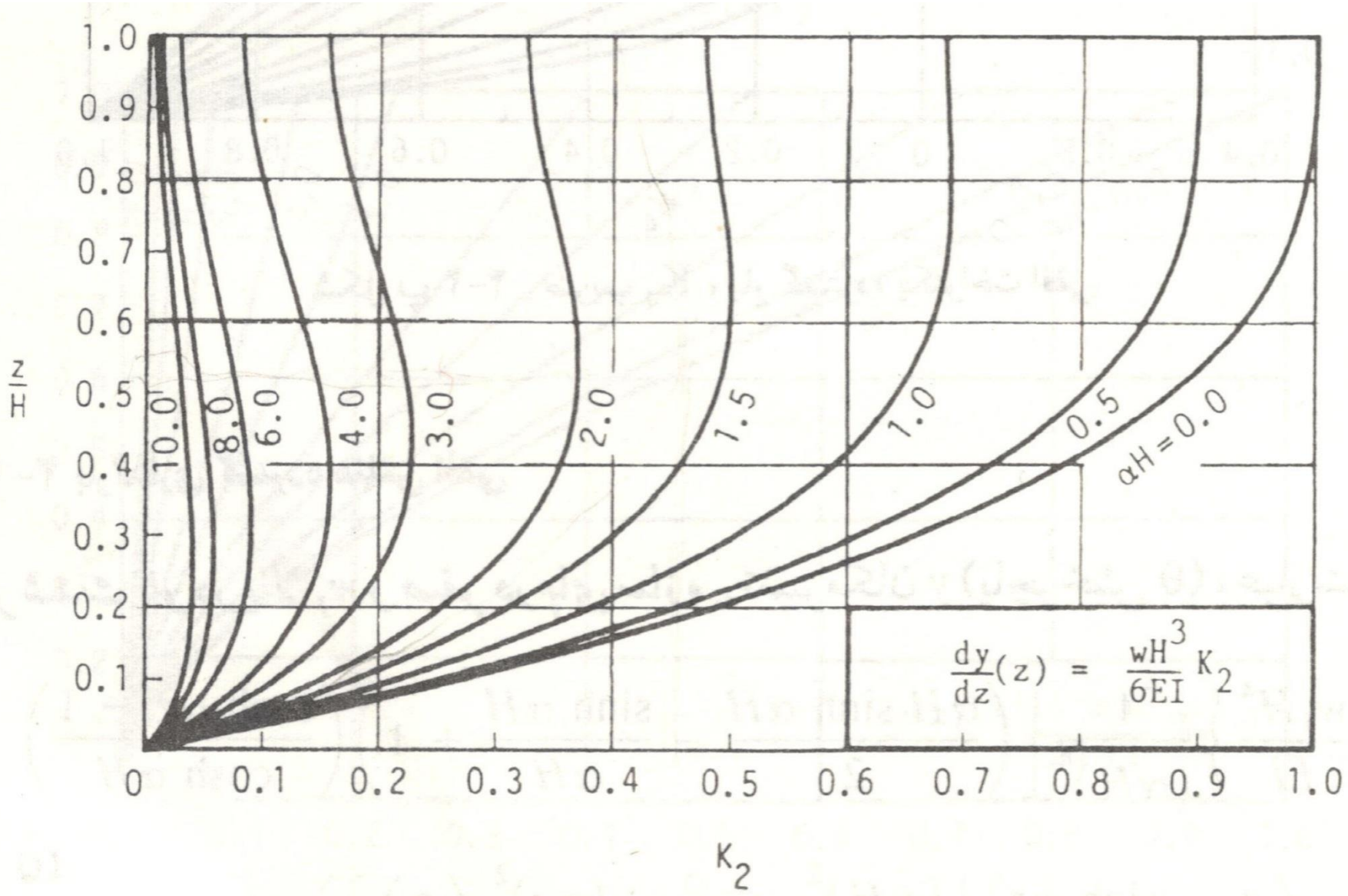
حداکثر شاخص جابجائی طبقه با انتخاب منحنی αH مناسب و محاسبه K_2 با استفاده از منحنیهای شکل ۱۴ و رابطه زیر (رابطه۲۲)محاسبه می شود.

$$\frac{dy}{dz}(z)=\frac{wH^3}{6EI}K_2(\alpha H\ ,\ {}^{z}\!/_{H}) \quad , \quad K_{2,\max}=0.41$$

$$\frac{dy}{dz}(\max)=\frac{90\times122.5^3}{6\times6.26\times10^9}\times0.41=0.0018=\frac{1}{555}$$



شکل ۲۷- نمودار تغییر مکان جانبی ساختمان ۳۵ طبقه



شکل ۱۴- منحنیهای K_2 برای بار گسترده یکنواخت افقی

در شکل ۱۴ و منحنی $\alpha H=1.83$ مقدار K_2 در نسبت $Z/H=0.55$ حداکثر است

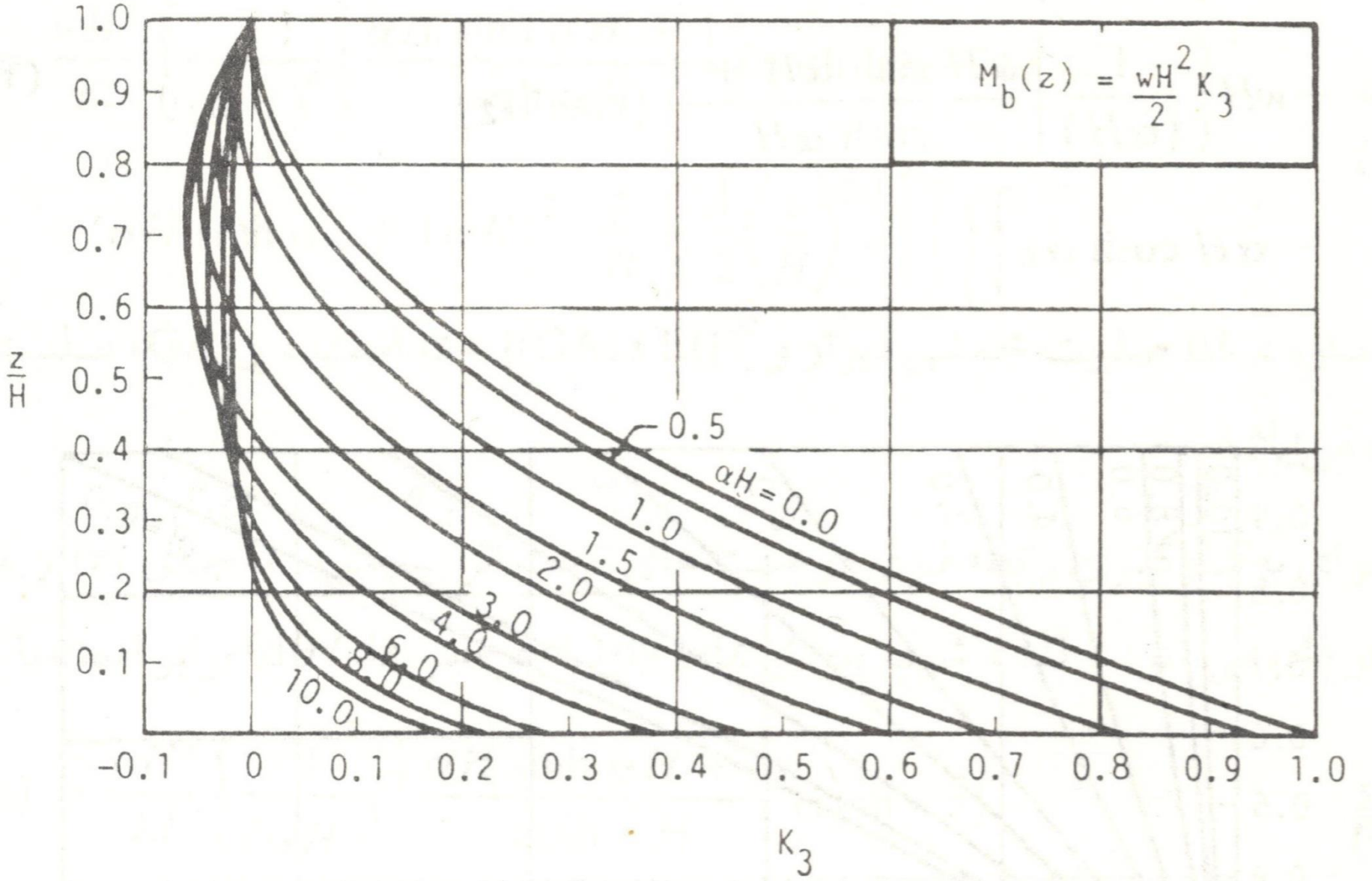
$K_{2,max}=0.41$

محاسبه لنگرهای خمشی قاب و دیوار:

لنگرهای خمشی کل دیوارها در هر ارتفاع z از پای سازه با جایگزینی Z/H و αHدر رابطه ۱۰ و یا با تعیینk_3 مربوط به مقادیر Z/H و αH از شکل ۱۵و جایگزینی آن در رابطه زیر (رابطه ۲۴)محاسبه می شود.

$$M_b(z)=\frac{wH^2}{2}K_3(\alpha H\ ,\ {}^{z}\!/_{H})$$

بعنوان نمونه در وسط طبقه نهم با $z= 29.75\ m$ و $Z/H=0.243$ مقدار$k_3=0.25$ از منحنی شکل ۱۵ بدست می آید.



شکل ۱۵- منحنیهای K_3 برای بار گسترده یکنواخت افقی

بنا براین لنگر خمشی کل هسته در تراز وسط طبقه نهم بصورت زیر خواهد شد:

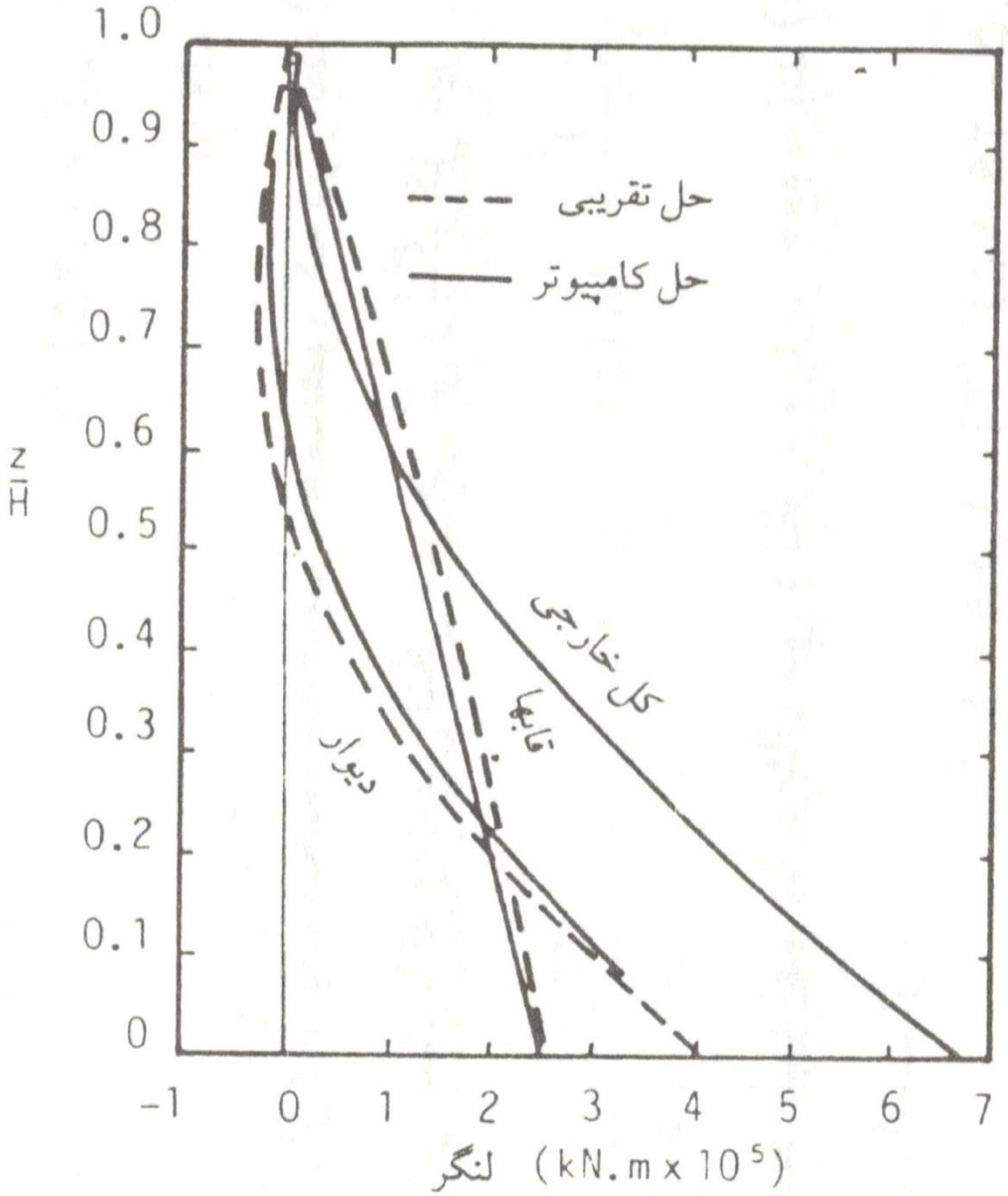
$$M_b(z) = \frac{wH^2}{2} K_3(\alpha H , {}^{z}/_{H})$$

$$M_b = \frac{90 \times 122.5^2}{2} \times 0.25 = 1.69 \times 10^5 \quad kn.m$$

همانند فوق برای تراز های مختلف لنگر خمشی کل هسته را می توان بدست آورد و بصورت منحنی ترسیم نمود(شکل ۲۸).

لنگر خمشی کل در تراز z در مجموعه قابها برابر است با تفاوت لنگر خمشی خارجی کل و لنگر خمشی کل دیوارها در همان تراز(رابطه ۱۱).

$$M_s(z) = \frac{w(H-z)^2}{2} - M_b(z)$$



شکل ۲۸- نمودار لنگرهای خمشی قاب و دیوار ساختمان ۳۵ طبقه

در وسط طبقه نهم لنگر خمشی کل قابها بصورت زیر خواهد شد:

$$M_s(z)=\frac{w(H-z)^2}{2}-M_b(z)=\frac{90\times(122.5-29.75)^2}{2}-1.69\times10^5=$$

$$=2.18\times10^5 \quad kn.m$$

لنگر خمشی کل قابها در هر تراز به نسبت صلبیت برشی بین قابها تقسیم می شود.

لنگر خمشی قاب ۱در وسط طبقه نهم:

$$M_{s1}=\frac{2.85\times10^5}{14.032\times10^5}\times2.18\times10^5=4.43\times10^4 \quad kn.m$$

لنگر خمشی قاب ۲در وسط طبقه نهم:

$$M_{s2}=\frac{1.316\times10^5}{14.032\times10^5}\times2.18\times10^5=20.5\times10^3 \quad kn.m$$

همانند فوق برای تراز های مختلف لنگر خمشی قابها را می توان بدست آورد و بصورت منحنی ترسیم نمود(شکل ۲۸).

محاسبه نیروهای برشی قابها و دیوار:

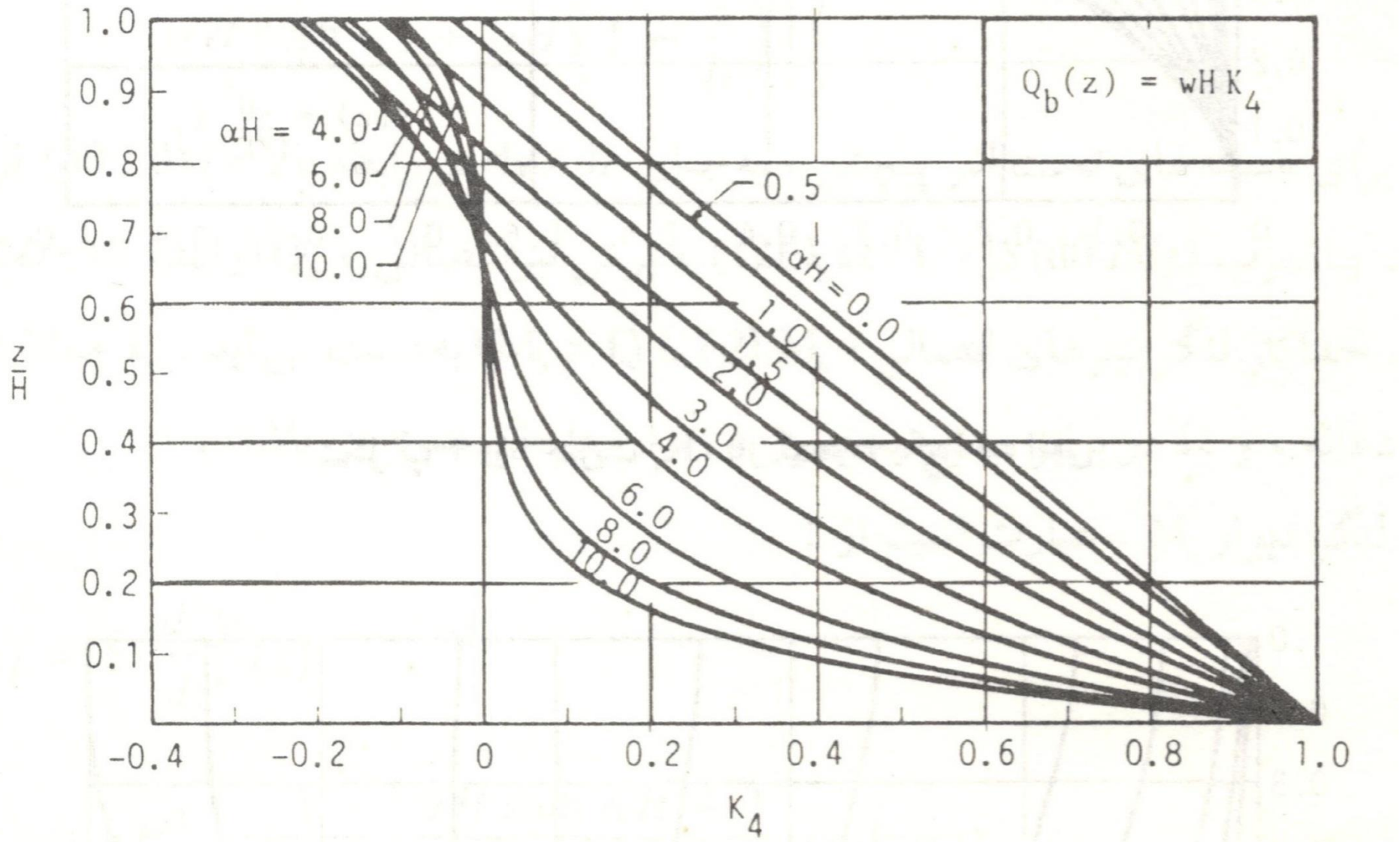
نیروی برشی کل در تراز z دیوار را با جایگزینی Z/H و αH در رابطه ۱۳و یا با تعیین k_4 مربوط به مقادیر Z/H و αH از شکل ۱۶و جایگزینی آن در رابطه زیر (رابطه ۲۶)محاسبه می شود.

$$Q_b(z) = wH\, K_4(\alpha H\ ,\ {}^{z}\!/_{H})$$

بعنوان نمونه در تراز وسط طبقه ۱۸ سازه($z=61.25$ m , $z/H=0.5$)، $k_4=0.27$ است.
در نتیجه نیروی برشی دیوار در این تراز بصورت زیر خواهد شد.

$$Q_b = 90\times 122.5\times 0.27 = 2976 \quad kn$$

در یک سازه با تعداد دیوار متعدد برش دیوارها در هر تراز به نسبت صلبیت خمشی بین دیوارها تقسیم می شود.



شکل ۱۶- منحنیهای K_4 برای بار گسترده یکنواخت افقی

نیروی برشی کل در تراز z در قابها برابر با نیروی برشی کل ناشی از بارهای خارجی در آن تراز منهای نیروی برشی دیوارها در همان تراز می باشد.

$$Q_s(z) = w(H - z) - Q_b(z)$$

در تراز وسط طبقه ۱۸ نیروی برشی کل قابها بصورت زیر خواهد شد:

$$Q_s = 90 \times (122.5 - 61.25) - 2976 = 2536 \quad kn$$

نیروی برشی قاب ۱در وسط طبقه ۱۸:

$$Q_{s1} = \frac{2.85 \times 10^5}{14.032 \times 10^5} \times 2536 = 515 \quad kn$$

نیروی برشی قاب ۲در وسط طبقه ۱۸:

$$Q_{s2} = \frac{1.316 \times 10^5}{14.032 \times 10^5} \times 2536 = 238 \quad kn$$

همانند فوق برای تراز های مختلف نیروی برشی قابها را می توان بدست آورد و بصورت منحنی ترسیم نمود(شکل ۲۹).

نیروی اندر کنش متمرکز در بالای سازه (Q_H):

نیروی اندر کنش افقی متمرکز در بالای سازه بین قاب و دیوار در اثر شیب در بالای سازه $\frac{dy}{dz}(H)$ است که متناظر با نیروی برشی در بالای قاب و برابر مقدار زیر است:

$$Q_s(H) = (GA)\frac{dy}{dz}(H)$$

$$\frac{dy}{dz}(z) = \frac{wH^3}{6EI} K_2(\alpha H\ ,\ z/H)$$

$$Z/H = 1 \quad \Rightarrow K_2 = 0.37$$

$$\frac{dy}{dz}(H) = \frac{90\times 122.5^3}{6\times 6.26\times 10^9}\times 0.37 = 0.00163 = \frac{1}{614}$$

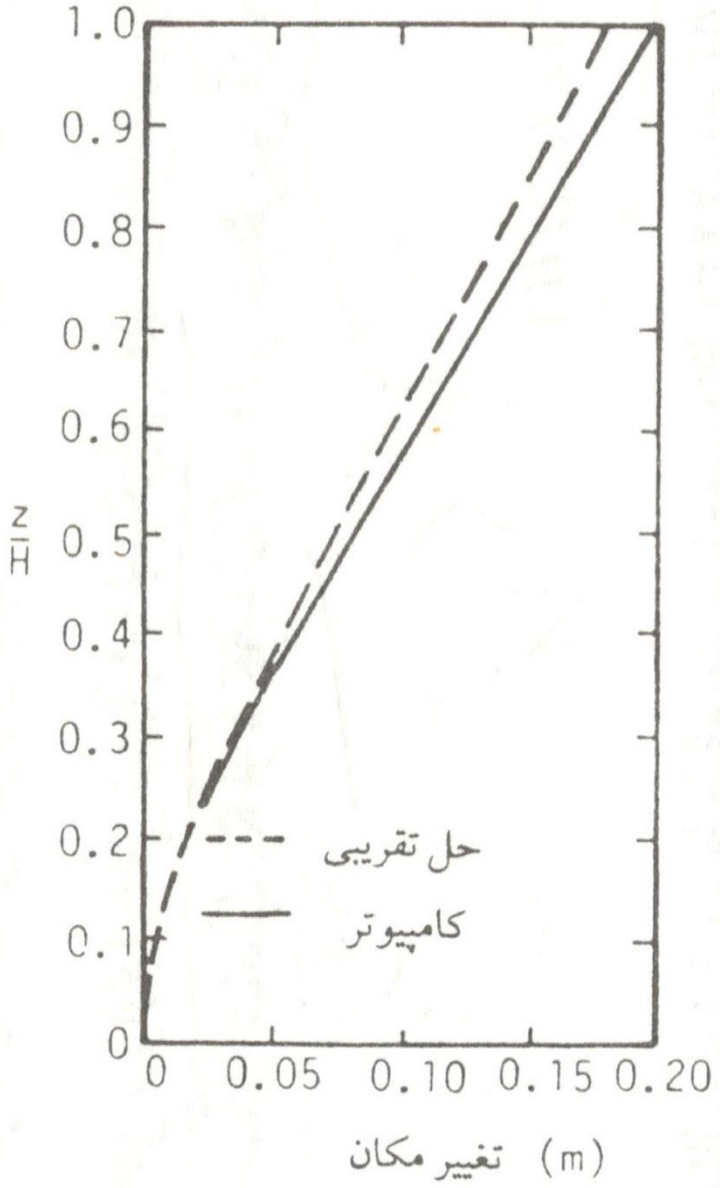
$$Q_s(H) = 14.032\times 10^5 \times 0.00163 = 2287.2 \quad kn$$

$$Q_b(H) = -EI\,\frac{d^3y}{dz^3}(H)$$

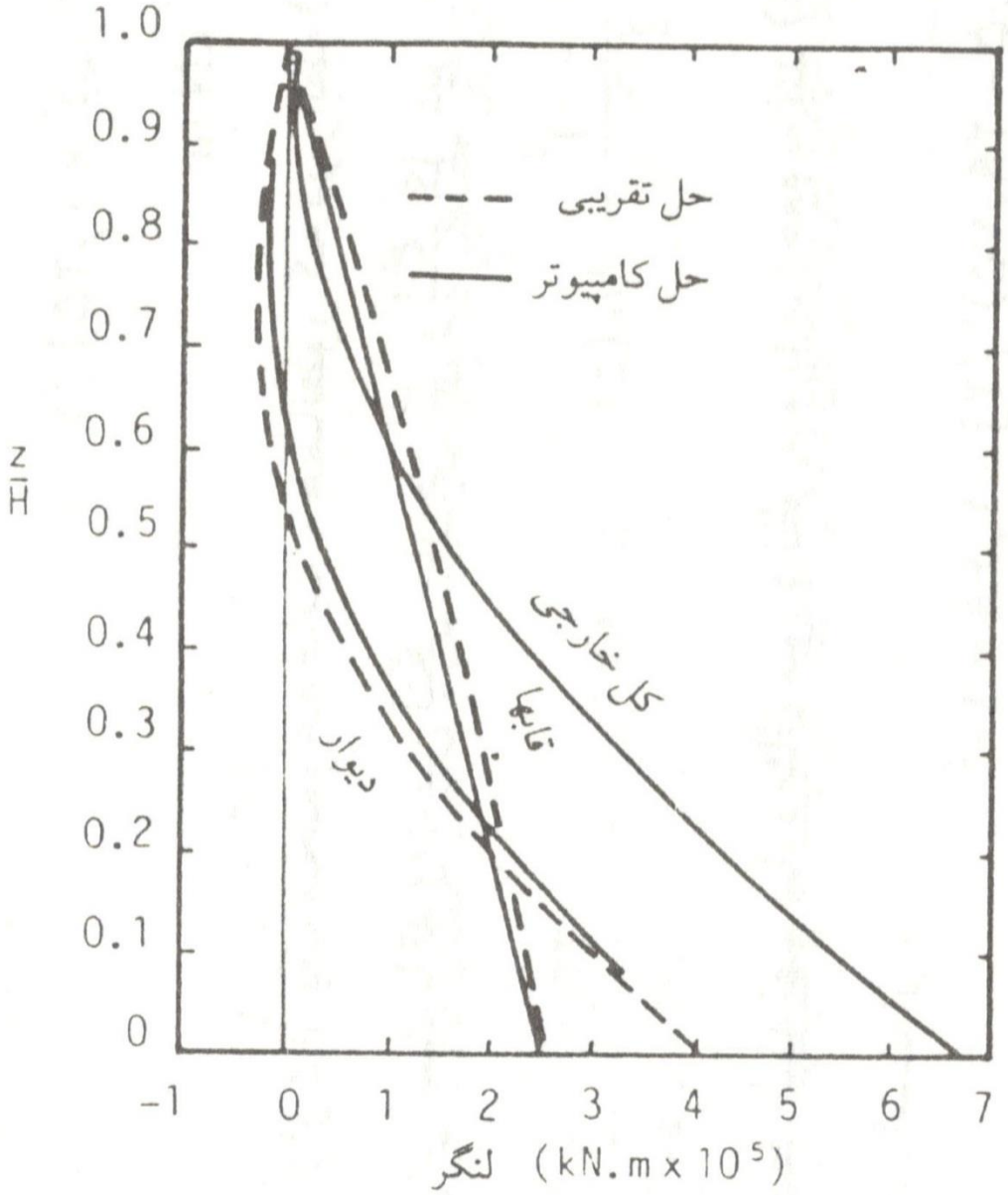
$$Q_b(z) = wH\,K_4(\alpha H\ ,\ {}^{z}\!/_{H})$$

$$K_4(\alpha H = 1.83\ ,\ {}^{z}\!/_{H} = 1) = -0.2$$

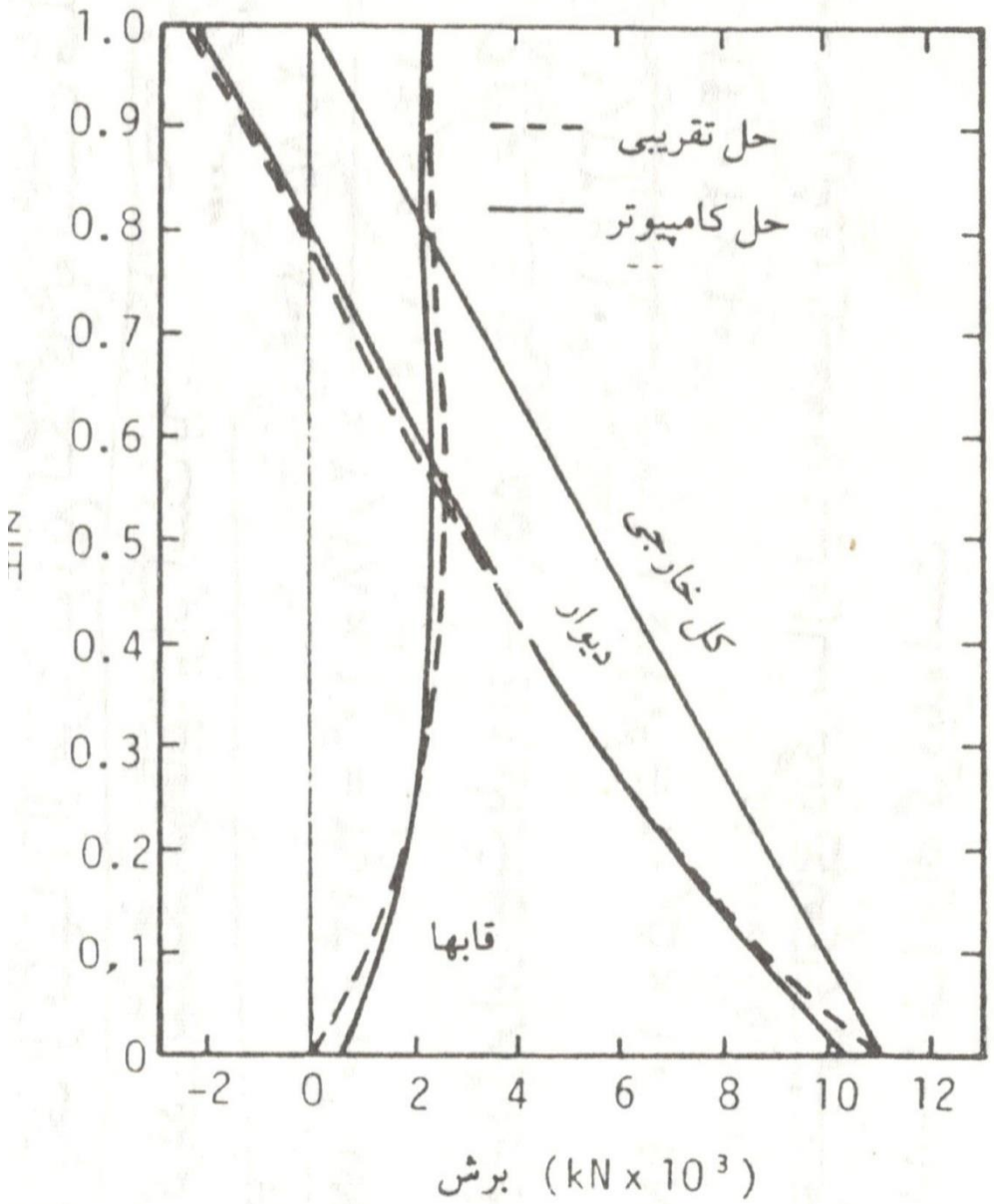
$$Q_b(H) = 90 \times 122.5 \times (-0.2) = -2205 \quad kn$$



شکل ۲۷- نمودار تغییر مکان جانبی ساختمان ۳۵ طبقه



شکل ۲۸- نمودار لنگرهای خمشی قاب و دیوار ساختمان ۳۵ طبقه



شکل ۲۹- نمودار نیروی برشی قاب و دیوار ساختمان ۳۵ طبقه