

# در رفتار صفحات مربع روی چهار تکیه گاه واقع در رئوس

نوشته‌ی

دکتر مهندس بیژن اعلامی

دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی آریامهر

خلاصه :

این مقاله که خلاصه‌ی قسمتی از محاسبات انجام شده در مورد پوشش‌ریک مخزن فشار میباشد مربوط به محاسبه تغییر مکان و تنش‌های ایجاد شده در صفحات مربع شکلی میباشد که در چهار رأس خود روی تکیه گاه‌های سخت نشسته‌اند. شرایط سرحدی طوری انتخاب شده است که با شرایط سرحدی موجود در یک واحد از مجموعه چنین صفحاتی که تشکیل یک سطح مستوی را میدهند مطابقت میکنند. علاوه بر بار عمود بر صفحه، بار در امتداد صفحه و ناهمواری‌های اولیه صفحه نیز در نظر گرفته شده است. از محاسبات چنین نتیجه شده است که در مورد صفحات پوشش مخزن بررسی شده میتوان با تقریبی نزدیک از معادلات خطی برای تخمین تنش‌های ایجاد شده استفاده نمود.

## نشانه‌ها

محور مختصات دو بدو متعامد	$y \quad x$
ضریب ارتجاعی یا ننگ	$E$
ضریب پواسون	$\nu$
طول صفحه	$a$
ضخامت صفحه	$h$
شدت بار عمودی (عمود بر سطح صفحه)	$q$
تغییر مکان عمود بر سطح صفحه	$w$
ناهمواری اولیه مربوط به $w$	$w_0$

## نشانه‌ها

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$	صلابت خمشی صفحه	D
$\left( \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \right)$		$\Delta^4$
$\frac{(\text{انقباض لبه‌های صفحه})}{a}$	تغییر طول نسبی اعمال شده	S
تابع آری (Airy's Stress Function) مطابق تعریف در مرجع ۶		f

## پیشگفتار :

دیواره‌های جانبی و پوشش فوقانی مخزن فشارکارخانه برق اتمی دانجنس (۱) در انگلستان، که احتمالا می‌تواند شکل می‌باشد؛ توسط یک صفحه فولادی ضخامت ۰٫۲ اینچ پوشانیده شده است. این صفحه بوسیله میخ‌هایی (۲)، که بفواصل ۶ و یا ۱۲ اینچ از یکدیگر روی رئوس شبکه مربعی قرار گرفته است، بدیوار بتونی مخزن متصل شده است. از جمله نکاتی که در طرح این پوشش و تعیین فواصل میخ‌ها مورد بررسی قرار گرفت کنترل تنش‌های ایجاد شده در این پوشش بود.

بعلت در دست نبودن اطلاع کافی در مورد رفتار پوشش فوق، نویسنده مأمور گردید تا برای APC (۳) در این مورد مطالعات و محاسباتی بنماید. این محاسبات مربوط به رفتار الاستیک پوشش تحت اثر نیروهای امتدادی دو محوری (۴) (نیروهای واقع در صفحه پوشش در دو جهت عمود برهم) با در نظر گرفتن ناهمواریهای اولیه (۵) پوشش می‌باشد. آن قسمت از محاسبات که نتایج آن تازگی دارد در این مقاله بطور خلاصه داده شده است. حالت پلاستیک که ممکن است در پوشش بوجود آید در نظر گرفته نشده است.

حادثه‌ترین وضعیت از نظر میزان تنش‌های ایجاد شده در پوشش موقعی در نظر گرفته شد که فشار مخزن قطع شده دستگاه سرد میگردد. در این موقع در مخزن فشاری منفی (مکش) برابر با ۱۰ پوند بر اینچ مربع ایجاد میشود، و در عین حال پوشش در هر دو جهت در امتداد خود در اثر انقباض دیوار بتونی فشرده میشود. شدت ماکزیم انقباض پوشش در هر جهت تا  $1000 \mu s$  (۶)  $(-1 \times 10^{-3})$  تعیین شده است.

در حقیقت چسبندگی بین پوشش و جدار بتونی تا حدی مانع میشود که پوشش، در اثر فشار مخزن، از جدار بتونی جدا شود و در نتیجه از شدت تنش‌های خمشی که در اثر جدا شدن پوشش از مخزن ایجاد میشود کاسته میشود ولی در محاسبات بعلت عدم اطمینانی که در موجودیت و میزان این چسبندگی در دست بود از اثرات مفید آن صرف نظر شد. بعلاوه در محاسبات، بعلت تقارن پوشش و تغییرات آرام نیرو در طول مخزن، بطول تقریبی فرض

۱- Dungeness B Pressure Vessel

۲- Studs

۳- Atomic Power Construction Ltd. London

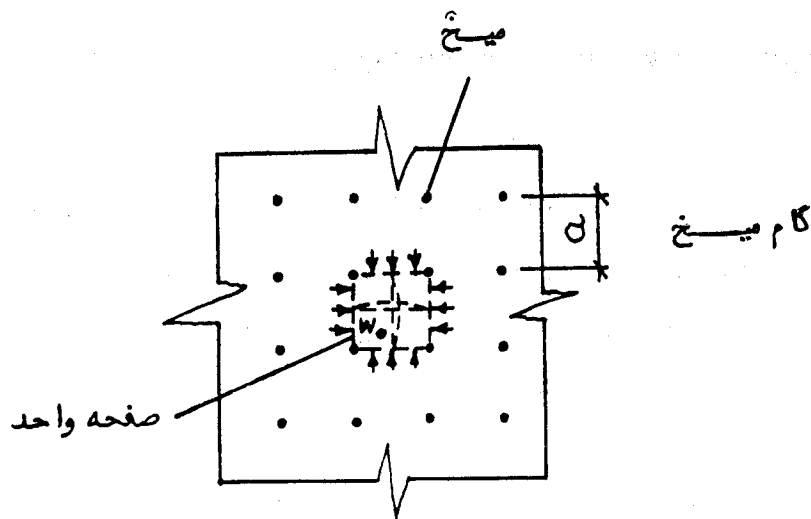
۴- Biaxial In-plane Stresses

۵- Initial deformations

۶- Micro-strain

شده است که قسمت‌هایی از پوشش که بوسیله چهار میخ بشکل مربع محدود شده است (شکل ۱) و مجاور یکدیگر قرار دارند تحت شرایط یکسان واقعند، و برای محاسبات یکی از این قسمت‌ها (صفحه واحد) بعنوان قسمت نمونه پوشش مورد مطالعه قرار گرفت. در نتیجه محاسبات تبدیل به بررسی رفتار صفحه‌ای مربع شکل روی چهار تکیه‌گاه منفرد واقع در رئوس آن و با شرایط سرحدی خاصی گردید.

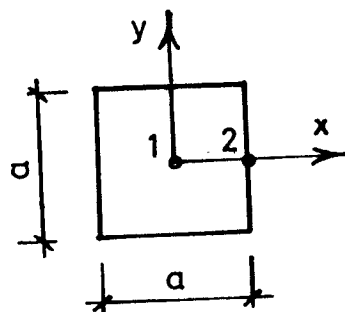
در جوانب مخزن، که بصورت استوانه‌ای بقطر متوسط  $\phi$  فوت ساخته شده است، پوشش دارای انحنا اولیه میباشد. این انحنا در طول یک گام میخ میتواند حداکثر در حدود ناهمواریهای اولیه پوشش



شکل ۱ - قسمتی از پوشش که در آن صفحه واحد مشخص شده است باشد. بنابراین در محاسبات صفحه واحد معادلات دیفرانسیل صفحات مستوی مورد استفاده قرار گرفت و انحنا اولیه صفحه بوسیله عباراتی در این معادلات که معرف ناهمواریهای اولیه صفحه میباشد بیان گردید.

### تئوری:

معادلات رفتار صفحات الاستیک با ناهمواریهای اولیه تحت اثر نیروهای عمودی<sup>(۱)</sup> و امتدادی<sup>(۲)</sup> که در آن اختلاط عمل<sup>(۳)</sup> بین خمش و کشش پوسته‌ای در نظر گرفته شده است بصورت زیر بیان میگردد (مرجع ۱ و ۲)



شکل ۲ - محور مختصات

$$(1) \quad \nabla^4 w = \frac{1}{D} \left[ q + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right] + \nabla^4 w_0$$

$$(2) \quad \nabla^4 f = Eh \left[ \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] - Eh \left[ \left( \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \right]$$

شرایط سرحدی صفحه واحد را بعلاقی تقارنی که بین وضعیت صفحات مجاور فرض شده است میتوان بصورت زیر توصیف کرد .

### ۱ - شرایط سرحدی خمشی<sup>(۱)</sup>

آ - زاویه چرخش بین دو صفحه واحد مجاور برابر با صفر میباشد .

$$\text{در } x = \frac{a}{2}$$

$$(3) \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

$$\text{در } y = \frac{a}{2}$$

$$(4) \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 0$$

ب - بین دو صفحه واحد بعلاقی تقارن نیروی برشی عمودی<sup>(۲)</sup> ایجاد نمیکردد ، بنابراین :

$$\text{در } x = \frac{a}{2}$$

$$(5) \quad \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y^2} \right) = 0$$

$$\text{در } y = \frac{a}{2}$$

$$(6) \quad \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2 \partial y} \right) = 0$$

در گوشه های صفحه  $w = 0$  .

### ۲ - شرایط سرحدی پوسته ای<sup>(۳)</sup>

آ - بین دو صفحه واحد در اثر تقارن تنش برشی پوسته ای<sup>(۴)</sup> برابر با صفر میباشد .

$$\text{در } x = \frac{a}{2} \text{ و در } y = \frac{a}{2}$$

$$(7) \quad \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = 0$$

ب - پهلوهای صفحات واحد شکل مستقیم خود را حفظ میکنند و هر یک عمود بر خورد باندازه :

۱ - Flexural boundary conditions

۲ - Transverse shear

۳ - Membrane boundary conditions

۴ - In-plane shear stress

$$S = \frac{2u}{a} = \frac{2v}{a}$$

در اثر انقباض دستگاه تغییر مکان می‌دهند .

$$\text{در } x = \frac{a}{2}$$

$$(8) \quad u = \frac{1}{Eh} \int_0^a \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) dx - \frac{v}{Eh} \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)_{x=\frac{a}{2}} - \frac{1}{2} \int_0^a \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \left( \frac{\partial w_0}{\partial x} \right)^2 \right] dx$$

$$\text{در } y = \frac{a}{2}$$

$$(9) \quad v = \frac{1}{Eh} \int_0^a \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) dy - \frac{v}{Eh} \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)_{y=\frac{a}{2}} - \frac{1}{2} \int_0^a \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 - \left( \frac{\partial w_0}{\partial y} \right)^2 \right] dy$$

البته ممکن است در قسمت‌هایی از مخزن، بعلت بد ساختن پوشش، صفحه‌های واحد دارای شرایط سرحدی نامتقارن و در نتیجه متفاوت با شرایط سرحدی مفروض در فوق باشند. مثلاً ممکن است در اثر ناهمواریهای اولیه یکی از صفحه‌های واحد از جدار بتونی جدا و دور شده در حالیکه صفحه‌های مجاور بجدار بتونی فشرده شوند. جدا شدن این صفحه ممکن است از خط میخ‌ها هم تجاوز نماید.

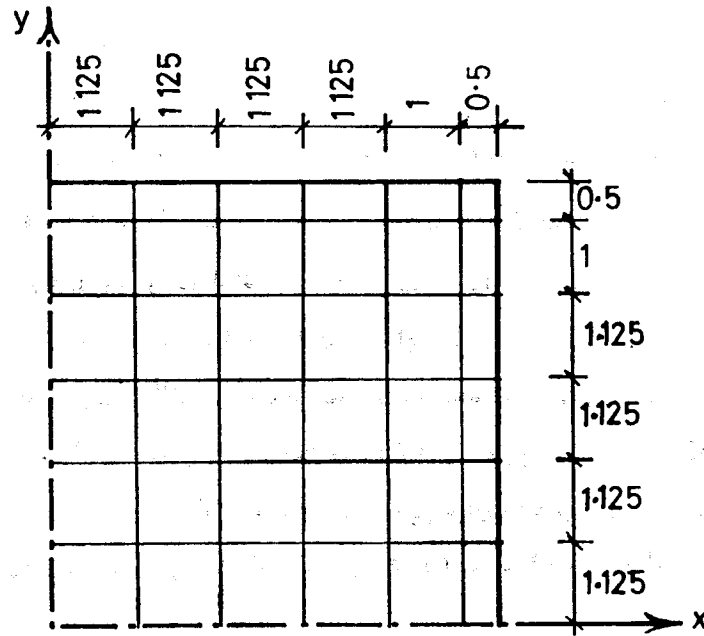
برای بدست آوردن تنش‌های ایجاد شده، در محاسبات از روش تفاوت‌های محدود استفاده گردید. باین ترتیب که ربع اول صفحه واحد را بصورت شبکه‌ای تقسیم کرده معادلات ۱ و ۲ و همچنین شرایط سرحدی برای گره‌های (۱) این شبکه بصورت معادلات تفاوت‌های محدود بیان گردید. سپس این معادلات در دو ماتریس که یکی مربوط برفتار خمشی صفحه (حاصل از معادله ۱) و دیگری مربوط برفتار پوسته‌ای صفحه (حاصل از معادله ۲) میباشد مرتب شد. برای انتخاب درشت‌ترین شبکه‌ایکه بتواند نتایجی بادقت کافی تضمین نماید، و در ضمن صرفه‌جویی در مصرف زمانی ماشین حساب الکترونیکی را هم تأمین کند، چند شبکه منظم (۲) با تقسیمات  $12 \times 12$  تا  $32 \times 32$  در صفحه مورد مطالعه قرار گرفت. در عین حال چند شبکه مرتب شده (۳) نیز بررسی گردید.

نتایج حاصله از شبکه  $12 \times 12$  مرتب شده (شکل ۳) بدقت نتایج حاصل از ریزترین شبکه منظم بررسی شده بوده در نتیجه برای کلیه محاسبات بعدی، شبکه مرتب شده مزبور مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۱ نتایج حاصل از شبکه منظم شده و حل موجود (مرجع ۳) مقایسه شده‌اند. در این جدول و در باقیمانده مقاله شماره‌های داده شده بصورت پسوند در عبارات، معرف مکانی هستند که عبارات مربوطه، بآنها در صفحه واحد رجوع میکنند.

۱- Nodes

۲- Uniform mesh

۳- Graded mesh



شکل ۳ - شبکه منظم شده ۱۲ × ۱۲ مرکز

جدول ۱: تغییر مکان و تنش‌های خمشی در صفحه واحد تحت فشار عمودی

$h = 0.01 \text{ in.}, a = 1 \text{ in.}$ $q = 10 \frac{\text{lb}}{\text{sq.in.}}$ صفحه واحد		گشتاور خمشی		تغییر مکان	مکان
$\frac{ib}{\text{sq.in.}}$ تنش خمشی		$\frac{M_y}{a^2 q}$	$\frac{M_x}{a^2 q}$		
$\sigma_y$	$\sigma_x$			تغییر مکان $\text{in.} \times 10^{-3}$	
۴۷۱	۴۷۱	۰.۳۳	$0.0363$ $(0.0309)$	$0.0009$ $(0.0008)^*$	۱
۶۲۹	-۱۶۴	۰.۲۵	$0.0485$ $(0.0497)$	$0.004$ $(0.0044)$	۲

\* مقادیر داخل پرانتز از مرجع ۳

در تشریح مطالب این مقاله ، از سبملهائی که برای بیان شرایط سرحدی صفحات بکار برده شده است استفاده گردیده است ، تا بتوان راحتتر مطالب این مقاله را با سایر مقالات ربط داد . این سبملها بصورت یک ویا دومربع مسطییل در گوشه شکلها مشخص شده اند . مربعی که حاوی محور مختصات میباشد معرف شرایط سرحدی خمشی ، و مربع دیگر معرف شرایط سرحدی پوسته ای مفروض میباشد .

### صفحه واحد تحت اثر فشار عمودی و نیرو در امتداد صفحه

اعمال نیروی فشاری در امتداد صفحه باعث میشود که صلبیت خمشی صفحه کاهش یابد . در نتیجه افزایش نیروهای امتدادی در یک صفحه باعث ازدیاد خیز و تنش های خمشی در آن میگردد ، حتی اگر فشار عمودی موجود ثابت بماند . در صورتیکه ابعاد صفحه و شدت بار عمودی طوری باشد که تغییر مکان ماکزیمم صفحه کم باشد ( کمتر از  $\epsilon$  ر. ضخامت صفحه) ؛ میتوان با تقریب نزدیک در معادله ۱ عامل  $f$  را ثابت فرض نمود و بازاء هر بار امتدادی ، حلی خطی برای بارهای عمودی بدست آورد (مرجع  $\epsilon$ ) . معمول این است که (مرجع  $\epsilon$  و  $\sigma$ ) در مورد این نوع بار گذاری ، ابتدا بازاء بار امتدادی برابر با صفر ، تغییر مکان

جدول ۲ - ضریب ازدیاد تغییر مکان عمودی و تنش های خمشی صفحه واحد ، تحت بار عمودی و تغییر مکان دوجوری<sup>(۱)</sup>

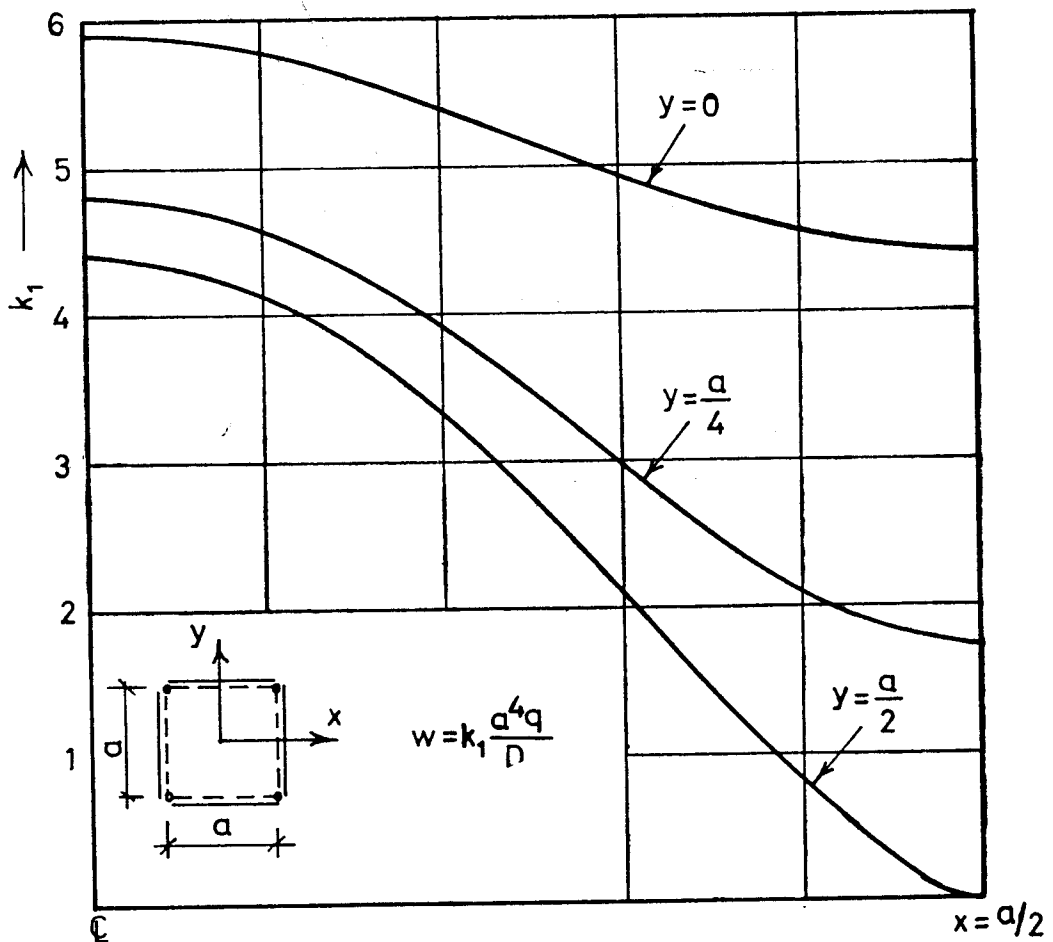
تغییر مکان دوجوری بر حسب میکرواسترین <sup>(۲)</sup>		ضرایب ازدیاد					تغییر مکان نسبی امتدادی
		تنش های خمشی			تغییر مکان ۱		
		مکان ۲		مکان ۱	مکان ۲	مکان ۱	
		$\sigma_y$	$\sigma_x$				
a = ۶ in. h = ۰.۷ in.	۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۰
	۲۰۰	۱.۰۱	۱.۰۲	۱.۰۲	۱.۰۱	۱.۰۱	۰.۰۲۹
	۴۰۰	۱.۰۳	۱.۰۴	۱.۰۴	۱.۰۲	۱.۰۲	۰.۰۵۸
	۶۰۰	۱.۰۴	۱.۰۷	۱.۰۵	۱.۰۳	۱.۰۳	۰.۰۸۶
	۸۰۰	۱.۰۵	۱.۰۹	۱.۰۷	۱.۰۴	۱.۰۴	۰.۱۱۵
	۱۰۰۰	۱.۰۶	۱.۱۲	۱.۰۹	۱.۰۵	۱.۰۶	۰.۱۴۴
a = ۱۲ in. h = ۰.۷ in.	۱۰۰۰	۱.۳۰	۱.۵۸	۱.۴۵	۱.۲۰	۱.۲۶	۰.۵۷۶

۱ - Magnification factors for the deflection and stresses of the unit plate under uniform transverse pressure and and biaxial edge-displacements

۲ - Micro-strain

و تنش در صفحه را معین نمایند ، و اثرات بار امتدادی را بصورت ضریب ازدیاد<sup>(۱)</sup> که توسط آن تغییر مکان و تنش های اولیه صفحه تغییر میکند نشان میدهند .

تغییرات تغییر مکان صفحه واحد و همچنین تنش های خمشی ایجاد شده در اثر بار عمودی (بار امتدادی برابر با صفر) محاسبه گردیده ، در شکل های ع و ه نشان داده شده اند . در این مورد همانطوریکه در شرایط سرحدی توضیح داده شد ، وضعیت صفحه واحد در پوشش طور است که بار امتدادی بصورت تغییر مکان یکنواخت جاناب صفحه<sup>(۲)</sup> عمل میکند و نه بصورت نیروی یکنواخت مؤثر بر جاناب<sup>(۳)</sup> . تفاوت دو حالت فوق در این است که ، در اثر اعمال تغییر مکان یکنواخت در جاناب صفحه ، توزیع نیروی پوسته ای ایجاد شده در این جاناب غیر یکنواخت میباشد و برعکس . ضرایب ازدیادی که توسط آنها این تغییرات ، در اثر بار امتدادی ، بزرگتر میشود در جدول ۲ خلاصه شده است . همانطوریکه از این جدول استنباط میشود برای گام میخ برابر با ۶ اینچ اثر نیروی محوری ایجاد شده در مخزن ناچیز میباشد ، در صورتیکه بازاء گام برابر با ۱۲ اینچ تنش های خمشی تا ۰.۸ درصد مقادیر اولیه خود ازدیاد می یابند .



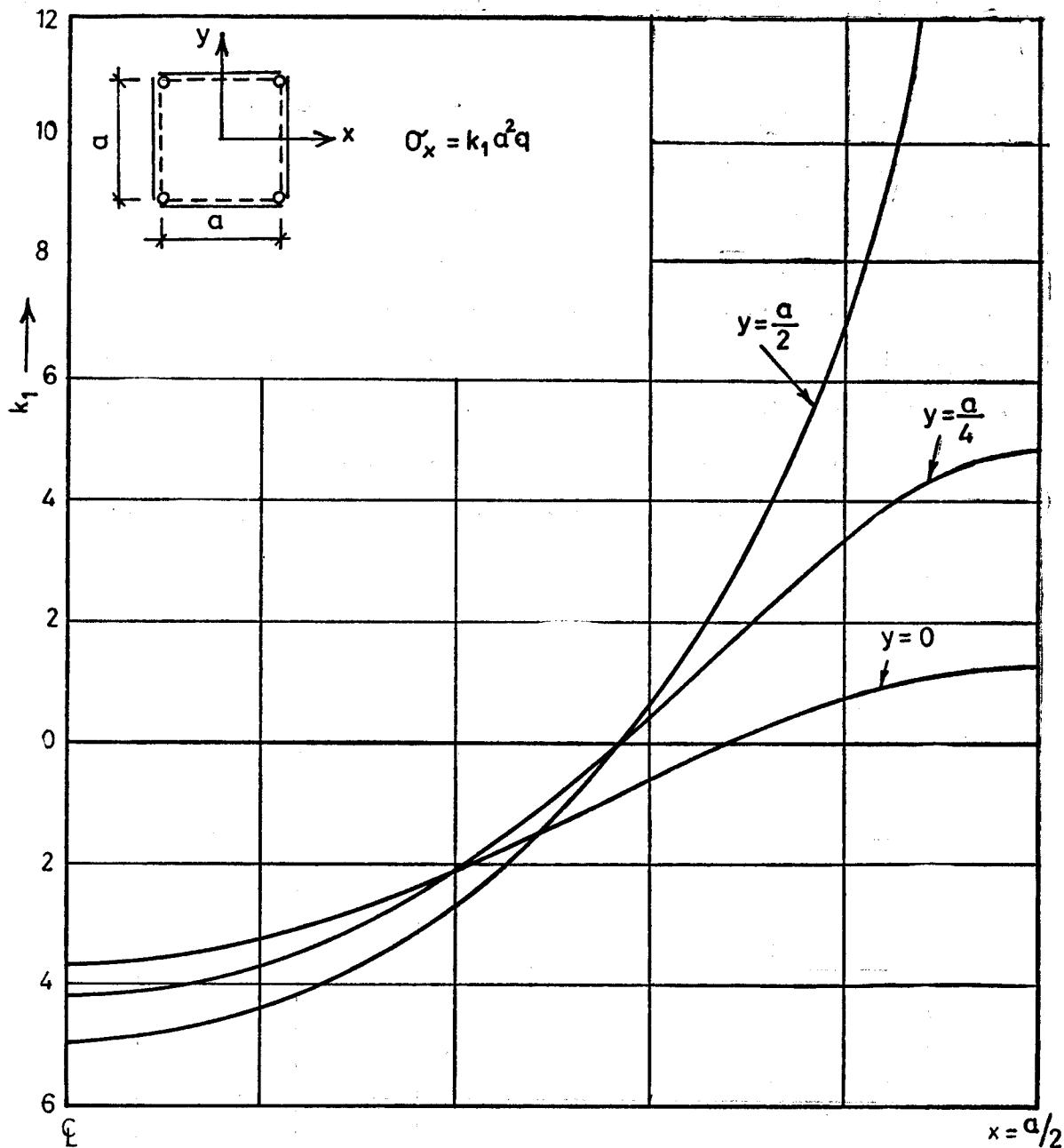
شکل ۴ - صفحه واحد تحت فشار یکنواخت - نیمرخ های تغییر مکان صفحه

۱- Magnification factors

۲- Uniform edge-displacement

۳- Uniform edge-compression



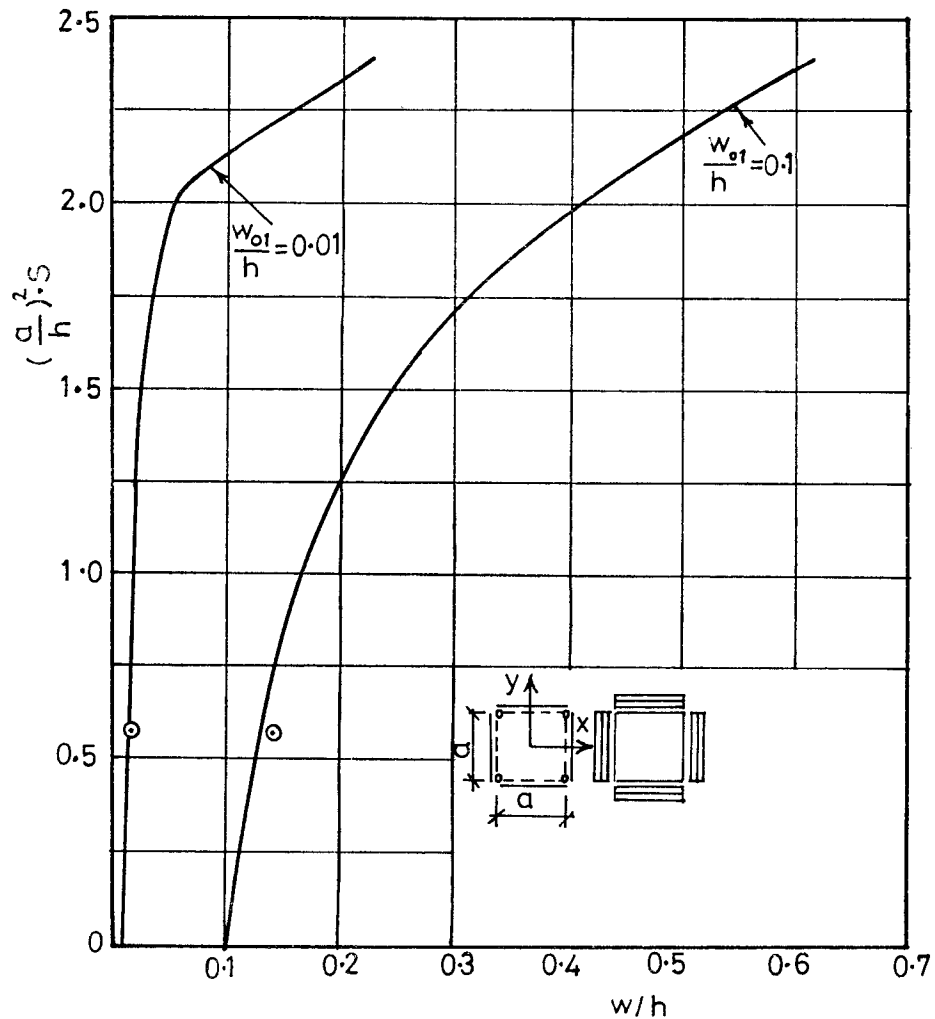


شکل ه - صفحه واحد تحت فشار یکنواخت. توزیع تنش خمشی

### تنش های خمشی حاصله از ناهمواریهای اولیه صفحه واحد

بعلت وضعیت پوشش از نظر مجاورت واتصال آن به دیواره بتونی مخزن ، حادثترین اثرات ناهمواریهای اولیه موقعی میباشد که ما کزیمم ناهمواریهای اولیه در وسط صفحه واحد واقع شده باشد . درائر وجود این ناهمواریها، انقباض مخزن ایجادتنش های خمشی در صفحات واحد مینماید ، که شدت آن بستگی به میزان نیروهای امتدادی و ناهمواریهای اولیه صفحه دارد . در صورتیکه خمیز اولیه صفحه زیاد نباشد (  $\frac{w_0}{h} \leq 0.4$  ) و شدت نیروهای امتدادی نیز کم باشد ( تا حدود ۲۰ درصد نیروی بحرانی ) ، میتوان بطور تقریب حلی خطی برای

تنش های خمشی ایجاد شده در صفحه ، در اثر نیروهای امتدادی ، پیدا نمود . طریقه محاسبه باینترتیب است که ، ابتدا با فرض  $w = w_0$  از معادله ۳ مقدار  $f$  محاسبه میشود . حال با در دست بودن  $f$  و  $w_0$  از معادله ۱ مقدار تازه  $w$  معین گردیده با استفاده از آن تنش های خمشی بدست میاید . راه حل فوق گرچه تقریبی است ولی دارای این مزیت است که جنبه عمومیت آن قویتر میباشد ، و بازا از یک مقدار معین بار امتدادی ، میتوان تنش های حاصله را در اثر نا همواریهائی هم شکل ولی با شدتهای مختلف محاسبه نمود . درعین حال دقت نتایج حاصله ، بمنظور کار برد آنها در طرح صفحات ، همانطوریکه از شکل ۴ استنباط میشود کافی میباشد . در



شکل ۶ - صفحه واحد باناهمواری اولیه تحت بار امتدادی دوسجوری . تغییر مکان وسط صفحه

شکل ۴ نمایش غیر خطی تغییر مکان ماکزیمم صفحه با بار امتدادی ، که از حل همزمان معادلات ۱ و ۳ بدست آمده است ، نشان داده شده است . ناهمواریهای اولیه صفحه بصورت زیر فرض شده اند .

$$w_0 = \frac{w_0 \max}{\xi} \left( \cos \frac{2\pi x}{a} \cdot \cos \frac{2\pi y}{a} + \cos \frac{2\pi x}{a} + \cos \frac{2\pi y}{a} + 1 \right)$$

بمنظور مقایسه ، در شکل ۴ نقاطیکه از حل خطی معادلات ۱ و ۳ بازا ماکزیمم نیروی در نظر گرفته شده در

مخزن بدست آمده‌اند نیز نمایش داده شده‌اند. با در نظر گرفتن اینکه آنچه که از منحنی شکل ۴ نتیجه می‌شود ماکزیمم خطائی است که در محاسبات صفحه پوشش مخزن موجود می‌باشد، روش خطی در این مورد می‌تواند پایه محاسبات قرار گیرد.

با استفاده از این روش ضرایبی برای حداکثر تغییر مکان و ماکزیمم تنش‌های خمشی ایجاد شده در صفحه واحد و همچنین در صفحه‌ای گیر دار روی پایه‌های سخت محاسبه شده در جدول ۳ جمع آوری شده است.

جدول ۳ - تغییر مکان و تنش‌های خمشی حاصله در صفحات با ناهمواریهای

اولیه تحت اثر تغییر مکان دو محوری

تنش خمشی ماکزیمم مقادیر $k^{**}$		تغییر مکان صفحه در اثر بار مقادیر $k^*$		تغییر مکان نسبی امتدادی $\left(\frac{a}{h}\right)^2 S$	حالت	
مکان ۲		مکان ۲	مکان ۱			
$\sigma_y$	$\sigma_x$					
۰.۰۲۳	-۰.۰۴۳۶	۰.۰۶۳۴	۰.۰۱۶	۰.۰۶۲	۰.۱۴۴	صفحه واحد پوشش
۰.۲۲۳	-۰.۲۰۳۰	۰.۰۲۰	۰.۰۶۸	۰.۳۰۶	۰.۵۷۶	مخزن
-۰.۱۷۰	-۰.۰۵۶۶	۰.۰۶۰۱	.	۰.۰۴۶	۰.۱۴۴	صفحه سریع گیر دار
-۰.۰۷۹۲	-۰.۲۶۴۰	۰.۲۷۸۰	.	۰.۲۱۲	۰.۵۷۶	روی تکیه گاههای سخت

$$*\omega - \omega_0 = k\omega_0 \max$$

$$**\sigma = k \left[ E \left( \frac{h}{a} \right)^2 \cdot \frac{\omega_0 \max}{h} \right]$$

مثلاً در مورد صفحه واحد با مشخصات  $S = 1 \times 10^{-3}$  ،  $h = 0.08 \text{ in.}$  ،  $a = 6 \text{ in.}$

از ردیف اول جدول ۳ تغییر مکان حاصله و تنش‌های خمشی ایجاد شده عبارتند از:

$$\omega_1 = 3.1 \times 10^{-3} \text{ in.}$$

$$\omega_2 = 0.8 \times 10^{-3} \text{ in.}$$

$$\sigma_{x1} = \sigma_{y1} = 1323 \cdot \frac{\text{lb}}{\text{sqin.}}$$

$$\sigma_{x2} = -907 \cdot \frac{\text{lb}}{\text{sqin.}}$$

$$\sigma_{y2} = 490 \frac{\text{lb}}{\text{sqin.}}$$

در مثال فوق حل غیر خطی معادلات ۱ و ۲ نتایجی با تفاوت ۱ درصد مقادیر فوق میدهد .

ولی برای همین صفحه با  $\frac{\omega_{\text{max}}}{h} = 0.4$  حال خطی مقادیری بین ۱۰٪-۷ بیشتر از مقادیر حل غیرخطی میدهد . بمنظور تخمین اهمیت این مطلب از نقطه نظر اثر آن روی صلبیت امتدادی صفحه ، از حل غیرخطی مثال فوق نتیجه شد که برای  $\frac{\omega}{h} = 0.4$  نقصان در صلبیت امتدادی صفحه در حدود ۵ درصد میباشد .

### نتایج :

از محاسبات اولیه که برای انتخاب شبکه‌ای مناسب در تدوین معادلات تفاوت‌های محدود برای محاسبات نهائی پوشش بعمل آمد اینطور نتیجه میشود ، که دقت محاسبات را میتوان با انتخاب شبکه‌های مرتب شده بهبود داد . در نتیجه برای رسیدن بدقت معینی در محاسبات ، میتوان با مرتب کردن شبکه تعداد گره‌های موجود را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد . این عمل باعث صرفه جوئی در زمان مصرفی ماشین حساب الکترونیک میشود .

اثر انقباض مخزن ، ویا بعبارت دیگر بار امتدادی ، در ازدیاد تنش‌های خمشی حاصله از نیروهای عمودی (فشار منفی داخل مخزن) با ابعادی که برای پوشش در نظر گرفته میشود قابل ملاحظه نیست . برای گام میخ برابر با ۶ اینچ ، بزرگترین ضریب ازدیاد ۱۲٫۱ و برای گام میخ برابر با ۱۲ اینچ این ضریب برابر با ۱۵٫۸ میباشد . عدم اهمیت ضرایب فوق از این نظر است که شدت تنش‌های خمشی فوق در مقایسه با حد سیلان آهن خیلی کم میباشد .

عملاً کلیه صفحات واحد مخزن دارای ناهمواریهای اولیه میباشد ولی مقدار ماکزیمم آن اغلب از ۲٫۰ ضخامت صفحات کمتر است . اثر این ناهمواریها در صفحه‌های واحد ، تحت نیروهای امتدادی ، ایجاد تنش‌های خمشی میباشد که ماکزیمم آن در مرکز صفحه ایجاد میشود . مثلاً در شرایط موجود در مخزن بررسی شده در اثر  $\frac{\omega_{\text{max}}}{h} = 0.4$  تنش ایجاد شده برابر با ۶ تن بر اینچ مربع میباشد ، که با مقایسه با تنش‌های ایجاد شده در اثر عوامل دیگر قابل ملاحظه است و میباشد در طرح صفحه منظور گردد .

با در نظر گرفتن ابعاد صفحات واحد پوشش و شدت نیروهای موجود نتیجه میشود که در این مورد میتوان با تقریبی قابل قبول برای طرح ، تنش‌های ایجاد شده و تغییر شکل مربوطه را در صفحه‌های واحد از تئوری خطی محاسبه نمود . خطای تئوری خطی در این مورد کمتر از ده درصد و در جهت قابل اطمینان میباشد . مزیت این نتیجه در این است که حل معادلات خطی عموماً به پیچیدگی معادلات غیر خطی نبوده مستلزم همانقدر دقت و وقت نمیباشد . البته در این مورد و در موارد دیگری که رفتار صفحات مشخص نشده است ، میباشد که ابتدا از معادلات غیر خطی استفاده نمود تا به میزان دقت معادلات خطی پی برد و در صورت امکان نظیر حالت فوق در محاسبات بعدی فقط از معادلات خطی استفاده کرده .

## فهرست مراجع

- 1 - Von Karman, Th  
Festigkeitsprobleme im Maschinenbau  
Encyklopaedie der Mathematischen Wissenschaften, IV (1910).
- 2 - Marguerre, K.  
Zur Theorie gekruemmter Platte grosser Formaenderung. Proceeding of the  
Fifth Int. Cong. for Appl. Mech. , Cambridge, 1938.
- 3 - Beinberg , D.V. and Beinberg , E.D.  
Platii , Balkii , u Diskii  
Moscow
- 4 - Bleich , J.F.  
Buckling strength of metal structures.  
London , Mc Graw Hill Book Co. , 1952
- 5 - Conway , M.D,  
Bending of rectangular plates subjected to a uniformly distributed lateral  
load and tensile or compressive forces in the plane of the plate. Jour . of  
Appl. Mech. , Vol. 16 Sept. 1949 .