به نام خدا

موضوع: پوسته هاي بتني
Concrete Shells

نام استاد: جناب آقاي دكتر بهرويان

نام دانشجو: احسان نادرزاده

بهار ۸۸

- مقدمه:

- از آنجا كه پوسته ها مي توانند فضاهاي وسيعي را بپوشانند و به علاوه در آن ها به گونه اي اقتصادي از مصالح ساختماني استفاده مي شود، لذا پوسته ها يا با م هاي فضايي پوستي نسبت به بام هاي مسطح برتري دارند.

- به كار گرفتن بام هاي فضايي قوسي باعث ۲۵ تا ۴۰ درصد كاهش در مصرف مصالح، نسبت به اجزاي مسطح مي شود.

- برتري سازه ايي بام هاي پوسته اي نيز به اين دليل است كه تمامي سطح مقطع تحت تنش يكنواخت ناشي از نيروهاي مستقيم (درون صفحه اي) قرار گرفته و اثرات خمشي در آن ها ناچيز است. به اين دليل ضخامت پوسته ها معمولا خيلي كم و در محدوده ۷۵ تا ۱۵۰ ميليمتر قرار دارند.

- از بام هاي پوسته اي معمولا در آشيانه هاي هواپيما، تالارهاي اجتماعات، سالن ورزشي، سالن هاي فروشگاهها، ساختمان هاي صنعتي، و انواع متنوعي از سازه هاي با دهانه زياد كه در آن ها فضاهاي وسيع يكسره نياز است، استفاده مي شود.

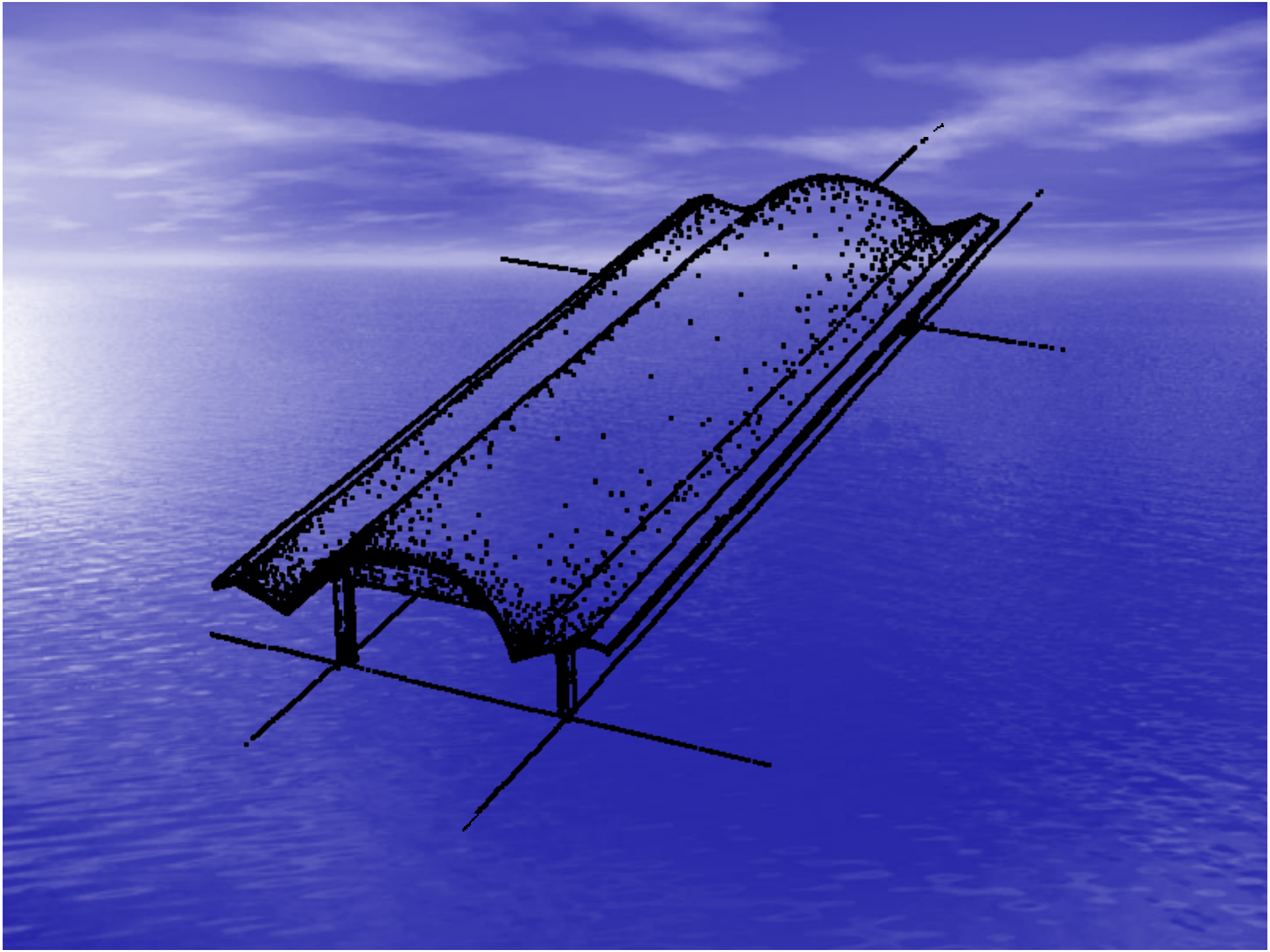
- پوسته ها به لحاظ معماري بسيار برجسته و شاخص بوده و روميان از آن ها براي ساختن گنبد ها استفاده مي نمودند.

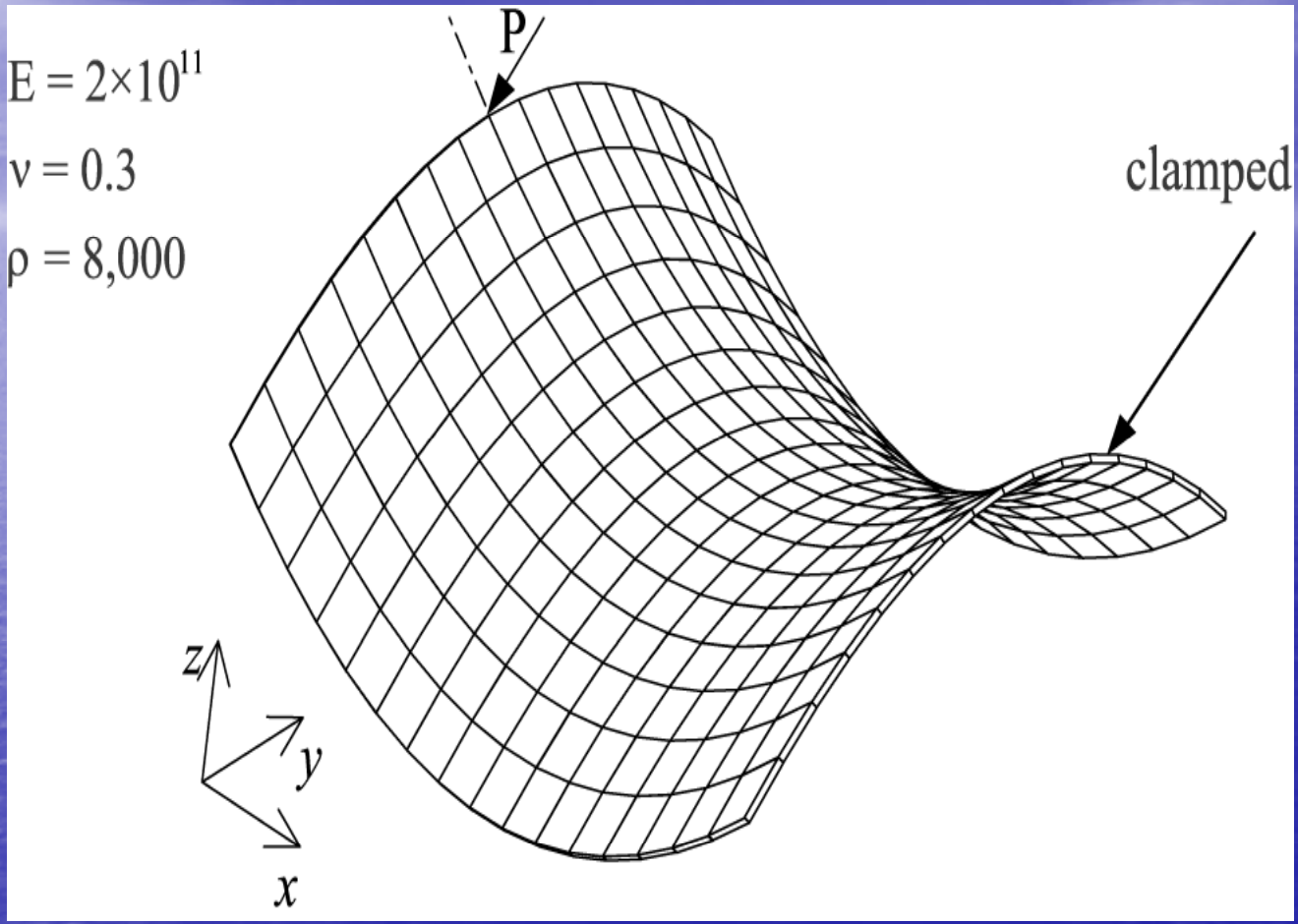
- پيشرفت هاي اخير تكنولوژي باعث ساخت سازه هاي پوسته اي، با استفاده از اجزاي پوسته اي پيش ساخته شده است.

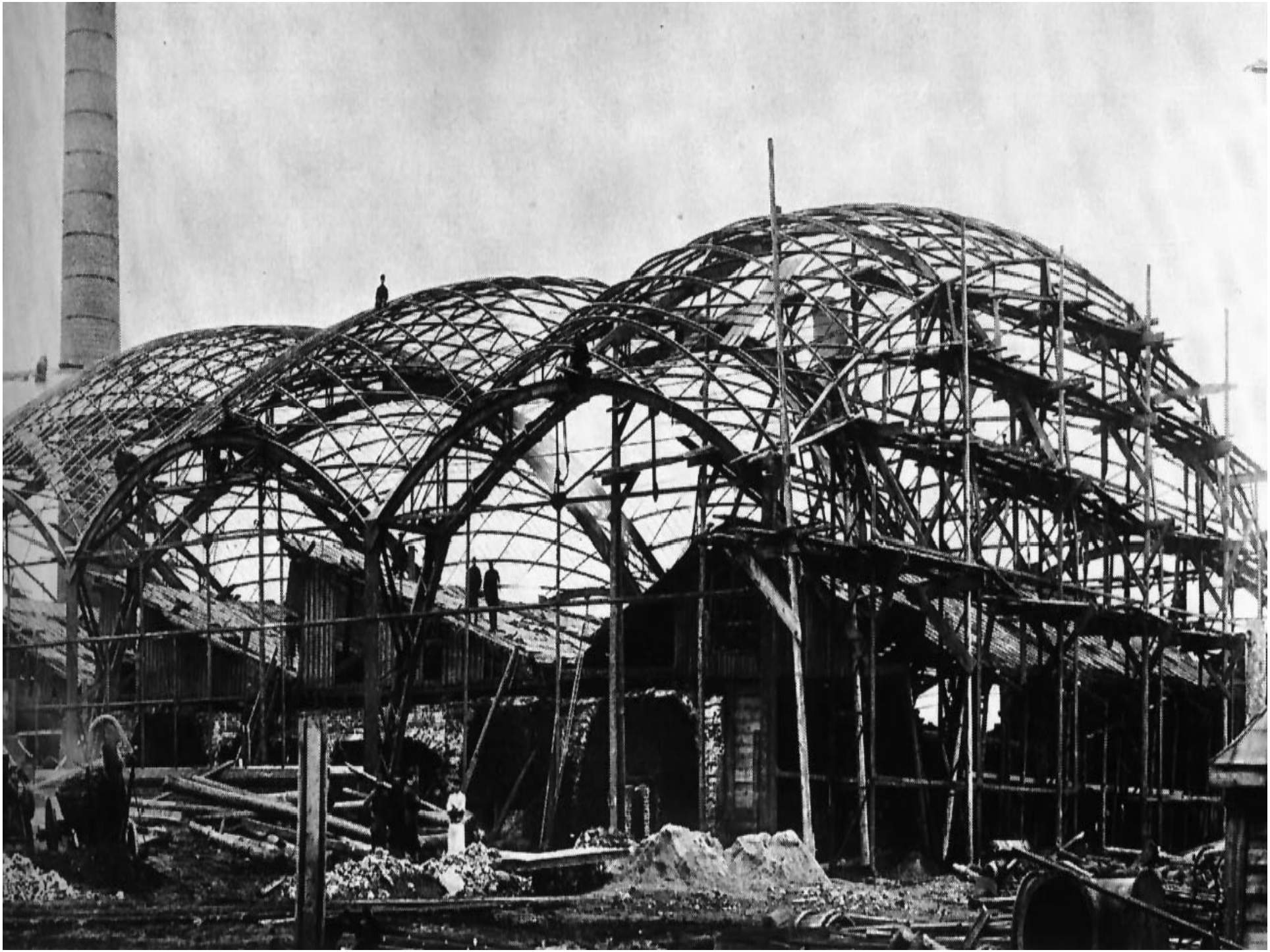
- امروزه پوسته هاي هذلولي دوار به طور گسترده در طراحي و ساخت برج هاي خنك كن بتني كاربرد دارد. ضخامت، مقاومت مناسب و زيبايي از ويژگي هاي بارز اين پوسته ها مي باشد. همچنين بررسي هاي انجام شده نشان مي دهند كه شكل هذلولي اقتصادي ترين شكل براي پوسته هاي داراي تقارن محوري مي باشند.

- با گسترش روش هاي اجزاي محدود، تحقيقات زيادي بر روي رفتار سازه هاي پوسته اي هذلولي انجام شده و موضوعاتي از قبيل اثرات استاتيكي و شبه ديناميكي باد و زلزله، آثار حرارتي، پايداري، آناليزهاي غير خطي، پايايي، تكنيك هاي ساخت، نشست هاي تكيه گاهي و ايده آل سازي اعضاي تكيه گاهي در طي چند دهه اخير مورد توجه محققان قرار گرفته است. اما اكثر تحقيقات گسترده روي رفتار سازه هاي پوسته اي تحت بارگذاري هاي استاتيكي متمركز بوده است و با رشد دانش ديناميك، روش هاي استاتيكي معادل متداول گرديده است.

- استفاده از روش استاتيكي معادل براي بارهاي ديناميكي باد و زلزله كه وابسته به زمان مي باشند، آناليز را ساده مي نمايد.



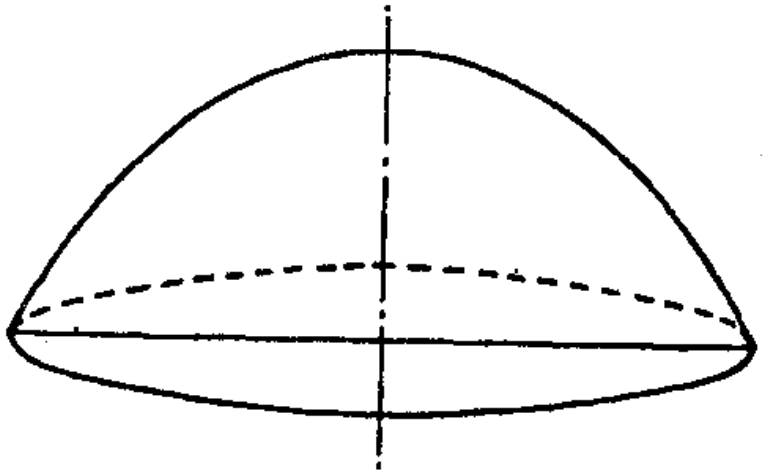

E = 2×10^11
ν = 0.3
ρ = 8,000
P
clamped
z
y
x



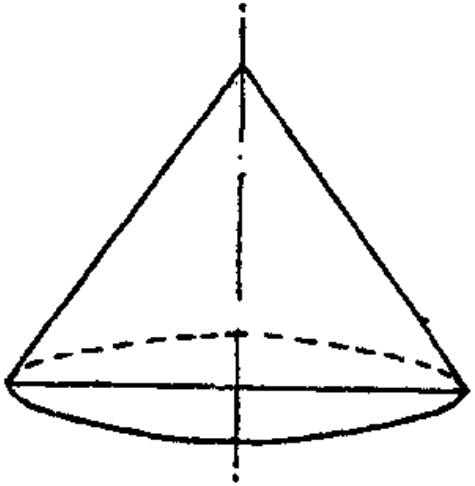
5
WRONG WAY

اصطلاحات مورد استفاده در پوسته ها

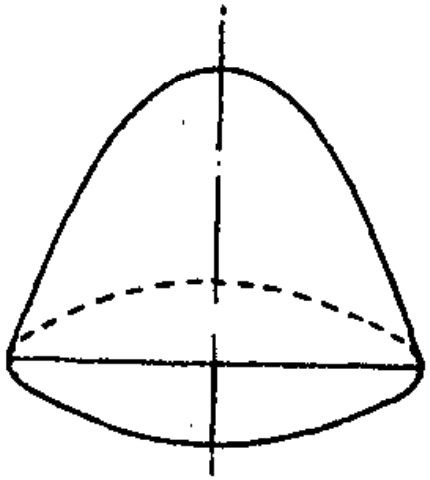
- در آيين نامه IS:2210 در مبحث سازه هاي پوسته اي عموما از اصطلاحات زير استفاده مي شود:
- پوسته : يك سطح قوسي و منحني است كه ضخامت آن در مقايسه با شعاع و ساير ابعادش كوچك مي باشد.
- پوسته هاي دوراني: اين سطوح بر اثر دوران يك منحني مسطحه حول محور تقارن آن به دست مي آيند.
- پوسته هاي انتقالي: پوسته هاي انتقالي بر اثر حركت يك منحني به موازات خود و در امتداد يك منحني ديگر به وجود مي آيند، صفحات منحني مزبور مي بايد بر يكديگر عمود باشند. نمونه متعارف اين گونه پوسته ها سهموي بيضي گون و سهموي هذلولي گون (پوسته ي زين اسبي) مي باشند.



گنبد مستدیر

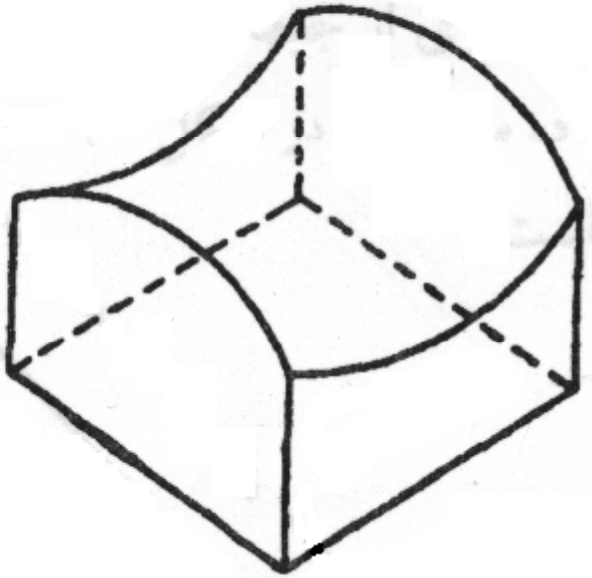


گنبد مخروطی

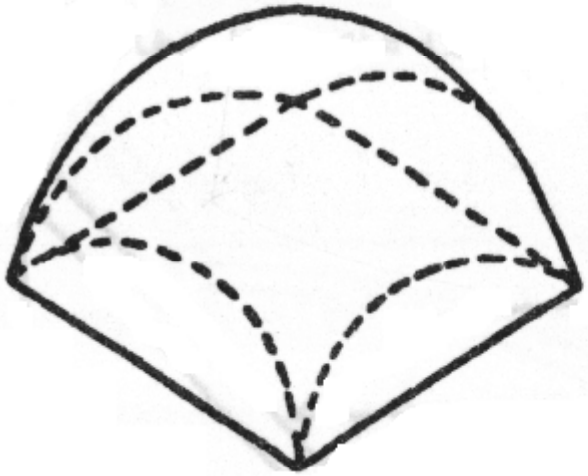


سهموی

پوسته های دورانی

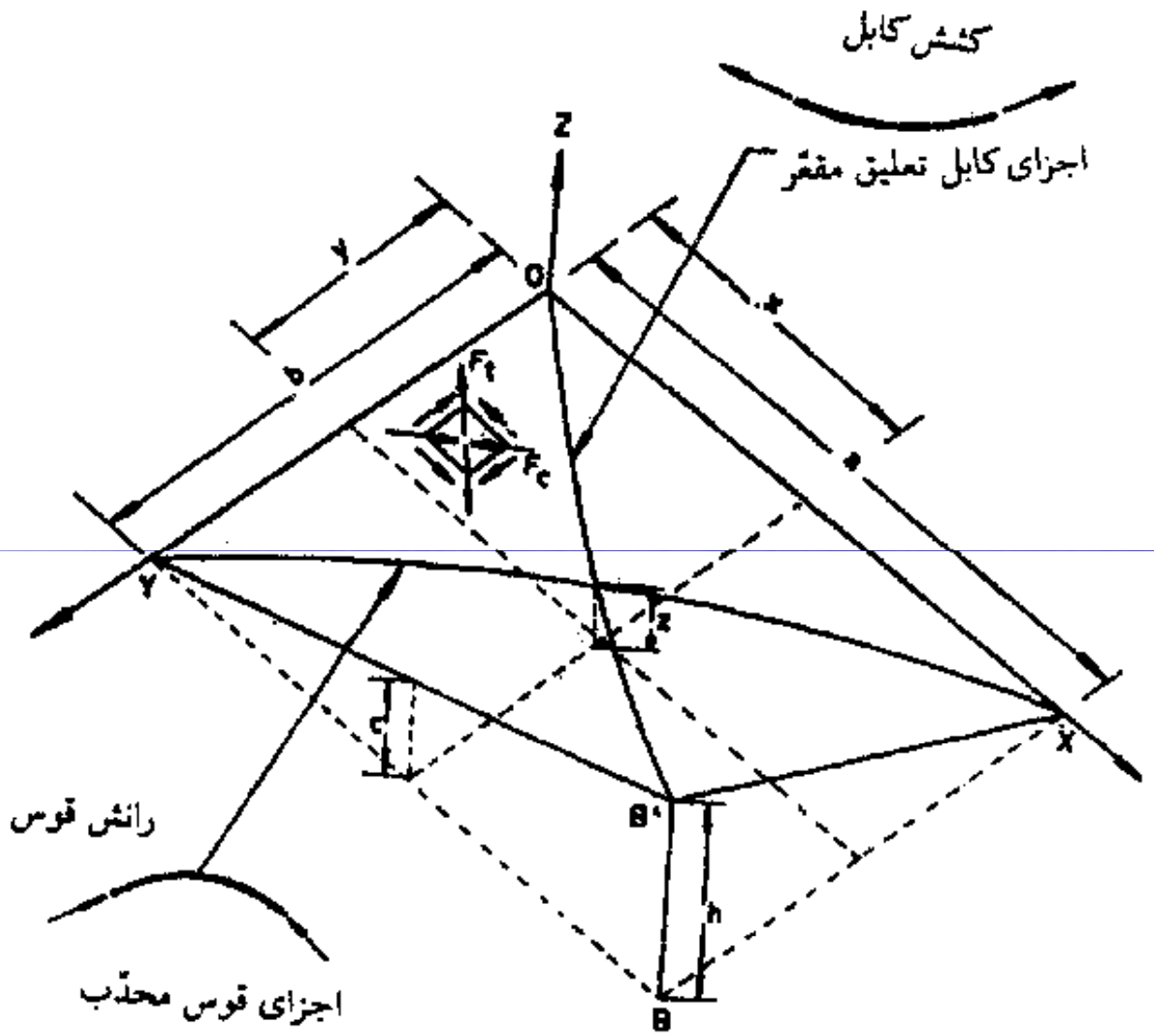


سهموی هذلولی گون
(پوستهٔ زین اسبی)



سهموی بیضی گون

پوسته های انتقالی



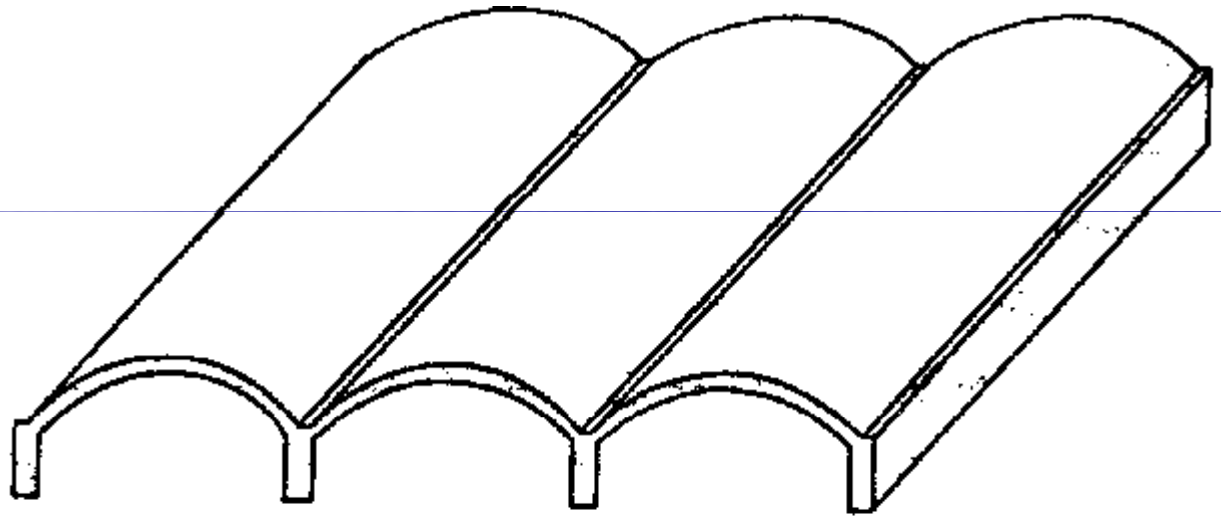
شکل هندسی پوستهٔ زین اسبی

پوسته هاي استوانه اي:

- اين پوسته ها زماني ايجاد ميشوند كه منحني مولد (منحني متحرك) و يا منجني هادي (منحني ثابت) خط مستقيم باشد:
- منحني هاي معمول براي ايجاد پوسته هاي استوانه اي عبارتند از : قوسي از يك دايره ، نيم بيضي، سهمي، و يا منحني گهواره اي.
- اجزاي مختلف يك پوسته استوانه اي عبارتند از: پوسته نازك، تير لبه، و قاب انتهايي يا تير عرضي.

پوسته هاي استوانه اي چند قوسي:

- يك رشته پوسته استوانه اي موازي كه در امتداد عرضي به صورت يكسره مي باشند، به عنوان پوسته هاي استوانه اي چند قوسي ناميده ميشوند. از اين پوسته ها عموما براي آشيانه هاي هواپيما ،انبارها، كارگاه ها و كارخانه ها استفاده مي شود.



پوستهٔ استوانه ای چند قوسی

- پوسته هاي استوانه اي يكسره:

- پوسته هاي استوانه اي كه در قسمت تير هاي عرضي به يكديگر چسبيده و در امتداد طولي به صورت يكسره مي باشند. به عنوان پوسته هاي استوانه اي يكسره ناميده مي شوند كه در بام سالن فروشگاهها و انبارها به كار مي روند.

- پوسته هاي استوانه اي كه نسبت به تاج پوسته تقارن دارند، پوسته هاي بشكه اي ناميده ميشوند.

- شعاع پوسته:

- عبارت عمومي شعاع در هر نقطه از سطح يك پوسته به صورت زير بيان مي شود.

- $R=Ro \times \cos^{n} \Phi$

- R = شعاع انحنا در هر نقطه از پوسته
- Ro = شعاع انحنا در تاج پوسته
- Φ = شيب خط مماس بر منحني در نقطه مورد نظر
- n = ضريب ثابتي كه به نوع منحني بستگي دارد (براي دايره برابر صفر، براي سيكلوييد برابر ۱، براي زنجيري برابر ۲- و براي سهمي برابر ۳- است.

- شعاع پوسته براي يك بيضي

- $R = (a^2+b^2) / (a^2 \sin^2\Phi + b^2 \cos^2\Phi)^{1.5}$

- a= نصف قطر بزرگ
- b = نصف قطر كوچك
- Φ = شيب خط مماس در نقطه مورد نظر

- اجزاي پوسته:

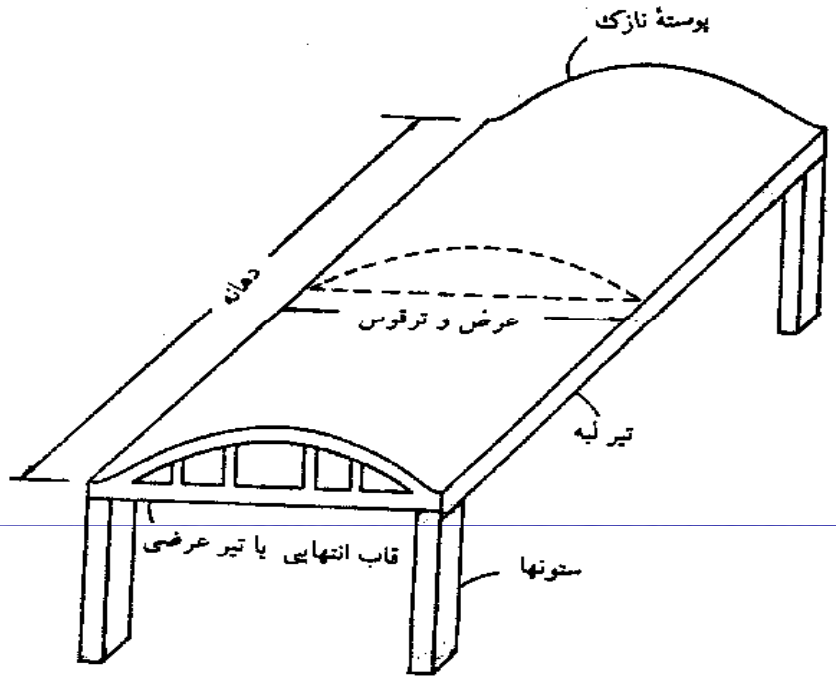
- دهانه پوسته: فاصله بين دو قاب و يا تير عرضي انتهايي مجاور را دهانه پوسته مي نامند.

- عرض وتر قوس: تصوير افقي قوس پوسته به عرض وتر قوس موسوم است.

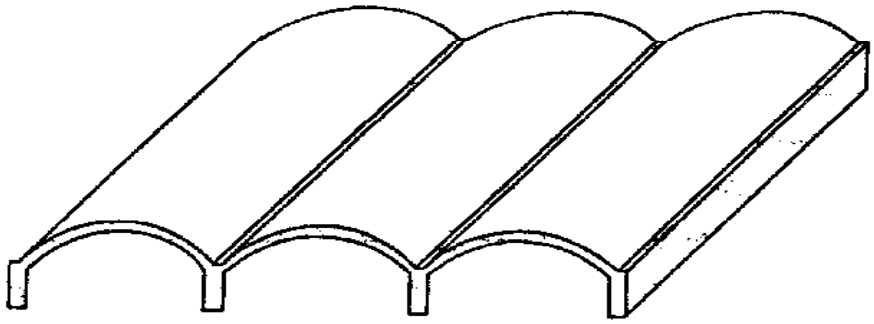
- خيز: فاصله قايم بين راس منحني و پا طاق آن را خيز مي گويند.

- قابها يا تير هاي عرضي انتهايي: قابهايي هستند كه به منظور نگهداري و حفظ شكل هندسي پوسته در دو انتهاي آن در نظر گرفته شده اند.

- تير لبه: تير افقي كه بر روي ستون ها قرار گرفته و لبه هاي طولي پوسته را نگه مي دارد.



پوستهٔ استوانه ای

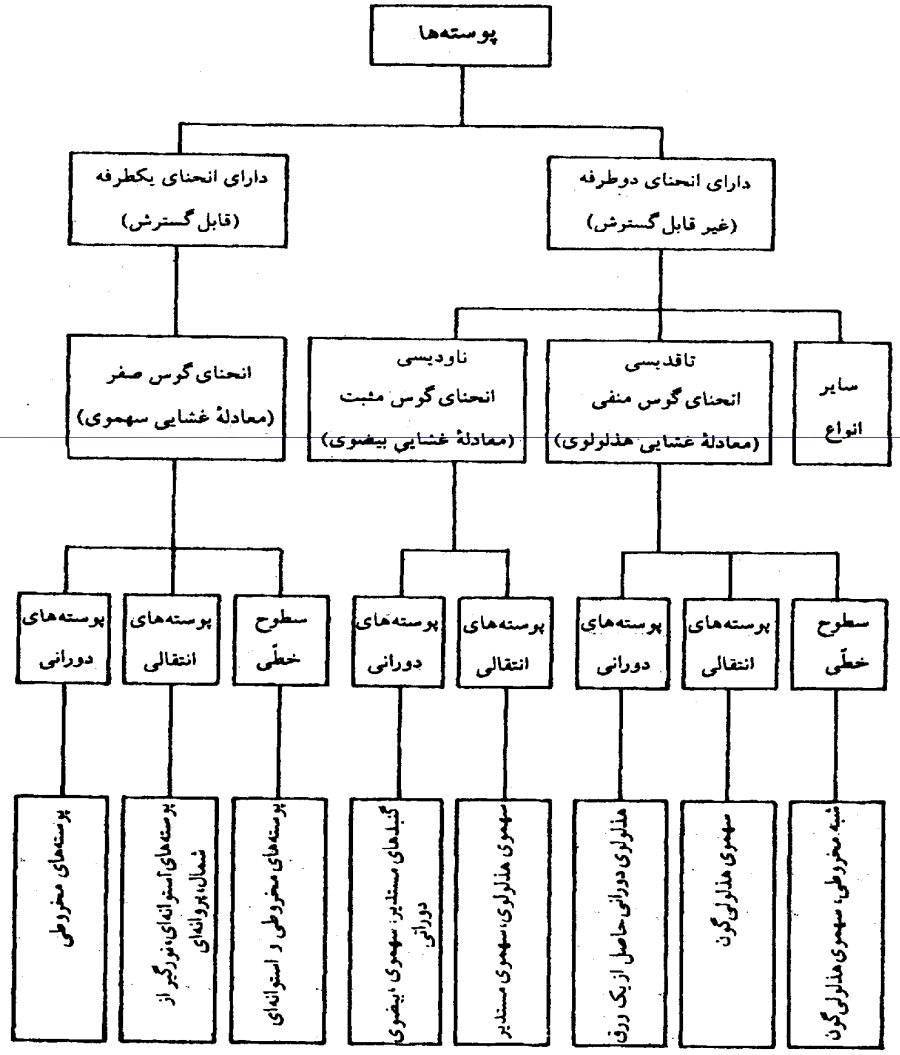


پوستهٔ استوانه ای چند قوسی

طبقه بندي پوسته ها

- پوسته ها را به طور كلي به دو گروه اصلي به شرح زير طبقه بندي مي كنند:
- الف) پوسته هاي داراي انحناي يك طرفه كه قابل گسترش مي باشند.
- ب) پوسته هاي داراي انحناي دو طرفه كه قابل گسترش نمي باشند.
- پوسته هاي مخروطي و استوانه اي جز پوسته هاي با انحناي يك طرفه مي باشند. گنبد هاي مستدير، سهموي، بيضوي، سهموي هذلولي گون و سهموي بيضي گون را مي توان به عنوان مثال هاي مرسوم پوسته هاي با انحناي دو طرفه بر شمرد.

- پوسته ها را عموما به سه رده به صورت زير نيز تقسيم بندي مي كنند:
- الف) پوسته هاي دوراني
- ب) پوسته هاي انتقالي
- ج) سطوح خطي



تقسیم بندی کلّی پوسته ها

- پوسته ها را همچنين مي توان به پوسته هاي نازك و ضخيم تقسيم بندي نمود. اگر نسبت شعاع به ضخامت پوسته بزرگتر از ۲۰ باشد آن را مي توان به عنوان پوسته نازك در نظر گرفت. در حالت كلي بيشتر پوسته هايي را كه در عمل مورد استفاده قرار مي گيرند مي توان در رده پوسته هاي نازك جاي داد.

- پوسته هاي استوانه اي نازك در حالت كلي به دو گروه زير تقسيم بندي مي شوند:
- الف) پوسته هاي بلند
- ب) پوسته هاي كوتاه

- ASCE در مورد طراحي بام هاي پوسته اي بتني استوانه اي، پوسته هاي داراي نسبت شعاع به دهانه (R/L) كوچكتر از ۰.۶ را به عنوان پوسته هاي بلند و داراي نسبت بزرگتر از ۰.۶ را به عنوان بشكه هاي استوانه كوتاه طبقه بندي مي كند.
-

مشخصات عمومي پوسته ها

- ۱) ضخامت: ضخامت كل يك پوسته بتن آرمه نبايد در پوسته هاي داراي انحناي يك طرفه كمتر از ۵۰ ميلي متر، در پوسته هاي داراي انحناي دو طرفه كمتر از ۴۰ ميلي متر و در پوسته هاي پيش ساخته كمتر از ۲۵ ميلي متر باشد. با توجه به ملاحضات اجرايي ضخامت اكثر پوسته ها را عموما بين ۸۰ تا ۱۲۰ ميلي متر در نظر مي گيرند.

- در محل اتصال به تيرهاي لبه، ضخامت پوسته را به ميزان ۳۰ درصد افزايش مي دهيم. در پوسته هاي داراي انحناي يك طرفه، اين افزايش در طولي به ميزان $0.38\sqrt{RD}$ تا $0.6\sqrt{RD}$ صورت مي گيرد كه در آن R شعاع انحنا و d ضخامت كل پوسته مي باشد. در پوسته هاي داراي انحناي دو طرفه طول مزبور به شكل هندسي پوسته و شرايط حدي آن بستگي دارد.

- ۲) دهانه و عرض وتر قوس: به منظور آن كه ابعاد تيرهاي لبه و آرماتور بندي آن در محدوده قابل اجرا قرار داشته باشد، دهانه پوسته هاي بتن آرمه نبايد بيشتر از ۳۰ متر باشد. براي دهانه هاي بزرگتر مي توان از تيرهاي لبه پيش تنيده استفاده نمود. عرض عضو لبه به ۲ تا ۳ برابر ضخامت پوسته محدود مي شود.

- در پوسته هايي كه عرض وتر قوس آن ها از دهانه شان بزرگتر است ترجيح مي بايد عرض وتر قوس ۳ تا ۶ برابر قوس باشد.

- ۳) ارتفاع مقطع پوسته ها: در پوسته هاي با دهانه هاي بزرگ ارتفاع مقطع بين ۶/۱ تا ۱۲/۱ طول دهانه است. از ارقام بزرگتر مي توان در دهانه هاي كوچكتر استفاده نمود. در پوسته هاي بدون اعضاي لبه، ارتفاع مقطع نبايد از ۰.۱ طول دهانه كوچكتر باشد. در پوسته هايي كه عرض وتر قوس خيلي بزرگ تر از طول دهانه است، ارتفاع مقطع نبايد از يك ۰.۱ عرض وتر قوس كوچكتر باشد.

- ۴) نيم زاويه مركزي (نصف زاويه مركزي)، نيم زاويه مركزي بايد بين ۳۰ تا ۴۵ درجه باشد. اگر اين زاويه از ۴۵ درجه كمتر باشد مي توان از تاثير بار باد چشم پوشي كرد. براي زواياي بزرگتر با شيب تند ممكن است در قالب بندي به قالب پشت گير نياز داشته باشيم.

- آرماتور گذاري پوسته:

- در پوسته هاي با ضخامت ۵۰ ميلي متر قطر ميلگرد ها نبايد از ۱۰ ميليمتر بيشتر باشد. اين قطر در پوسته هاي با ضخامت ۶۵ ميلي متر نبايد از ۱۲ ميلي متر و در پوسته هاي داراي ضخامت بيش از ۶۵ ميلي متر نبايد از ۱۶ ميلي متر بيشتر باشد. در نواحي اتصال يعني در جاهايي كه ضخامت پوسته بيشتر مي شود، استفاده از ميلگردهاي با قطر بيشتر مجاز است. فاصله بين ميلگردها نبايد از ۵ برابر ضخامت پوسته بيشتر باشد. پوشش بتن روي ميلگرد مي بايد حداقل برابر ۱۲ ميلي متر و يا برابر بعد اسمي آرماتور باشد. به طور كلي در سازه هاي پوسته اي پوسته نازك حداقل آرماتور به ميزان ۰.۱۵ درصد سطح مقطع ناخالص در جهت اصلي توصيه مي شود.

• تعبيه درز در پوسته ها:

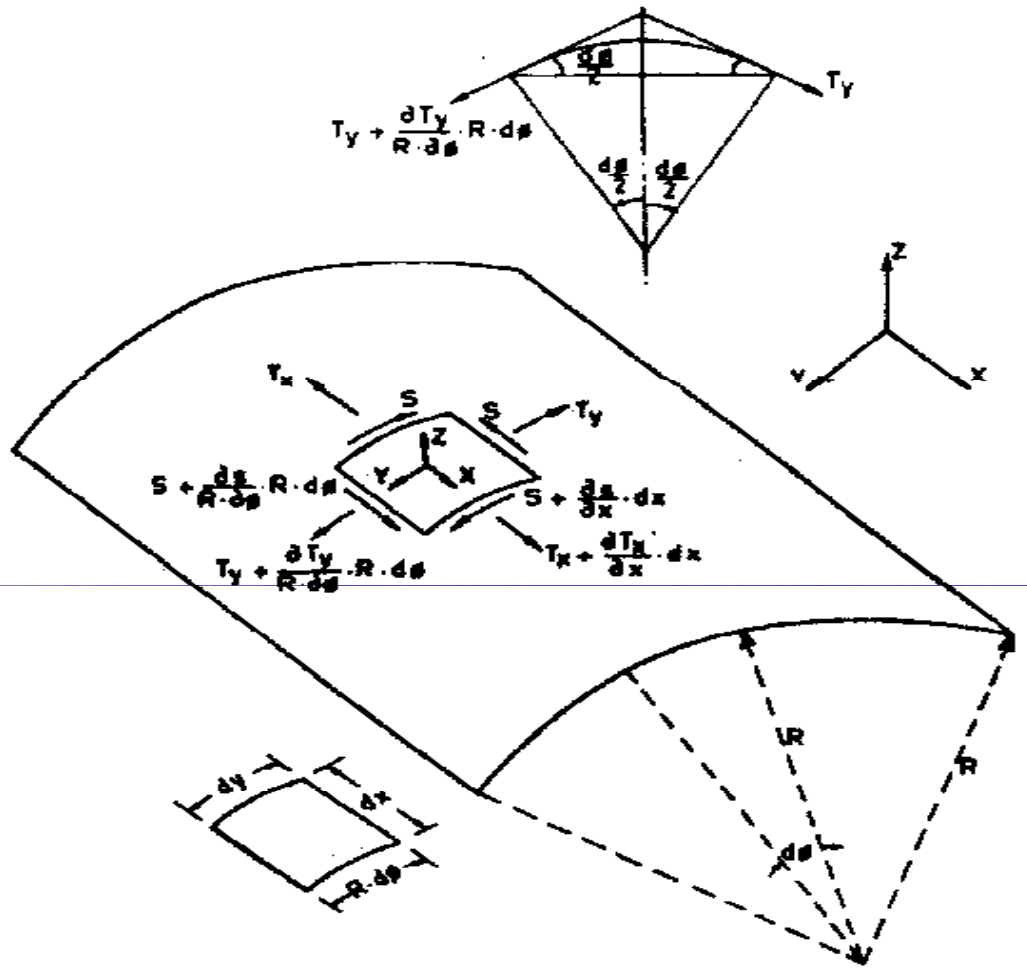
- در پوسته هايي كه طول آن ها از ۴۰ متر تجاوز كند، تعبيه دررزهاي انبساط ضروري است. در امتداد طول هاي خميده پوسته يعني در جاهايي كه نيروي برش حداقل باشند درزهاي اجرايي در نظر گرفته مي شوند.

- قبل از برداشتن داربست پوسته ها مي بايد آن ها را حداقل به مدت ۲ هفته به خوبي به عمل آورد. تير ها وديافراگم هاي انتهايي نيز مي بايد بين ۳ تا ۴ هفته به خوبي مراقبت شده و پس از آن اقدام به برداشتن قالب ها و داربست هاي آن ها گردد.

- **تحليل پوسته ها:**

- - تئوري غشايي
- - تئوري تير
- - تحليل پوسته ها با استفاده از تئوريهاي دقيق

- تئوري غشايي : تئوري غشايي كه به وسيله ديشينگر فرمول بندي شده است مبتني بر اين فرضيه مي باشد كه پوسته داراي ابعاد نا محدود بوده و به صورت يك غشاي كاملا انعطاف پذير عمل مي كند و فقط نيروهاي مستقيم (نيروهاي محوري) درون صفحه اش را انتقال مي دهد. اگر يك منطقه محدود با فاصله كافي نسبت به مرزهاي پوسته را در نظر بگيريم، توزيع تنش ها در دال پوسته به طور استاتيكي معين بوده و مي توان آن ها را به وسيله تئوري غشايي پيدا كرد. اين روش را در پوسته هايي كه نسبت دهانه به شعاع آن ها كمتر از ۰.۵ است مي توان به كاربرد.



تعادل قطعه پوسته

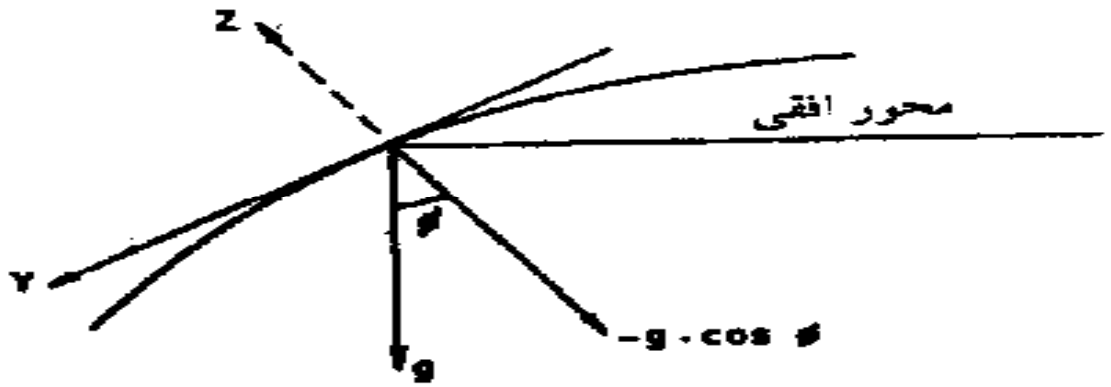
ب) نیروها در جهت y:

$$\frac{\partial T_y}{R.\partial\phi}.R.d\phi.dx + \frac{\partial S}{\partial x}.dx.R.d\phi + Y.dx.R.d\phi = 0$$

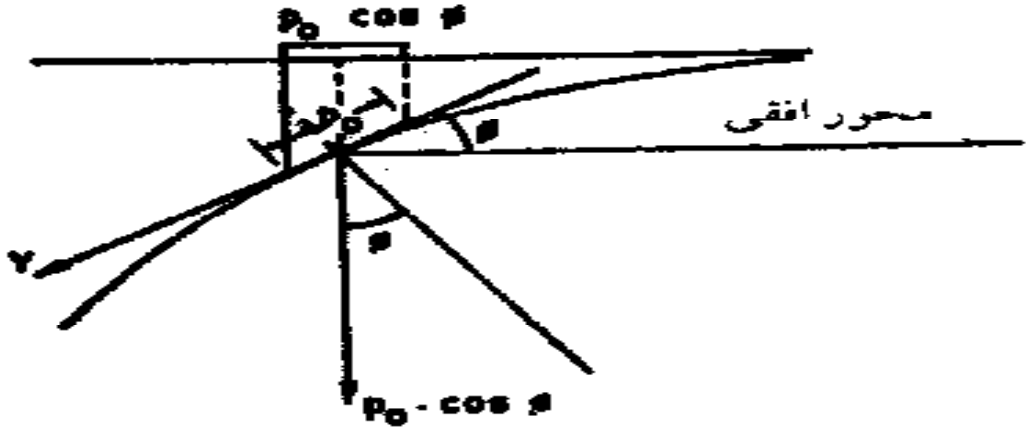
$$\Rightarrow \quad \frac{\partial T_y}{R.\partial\phi} + \frac{\partial S}{\partial x} + Y = 0 \qquad (2)$$

پ) نیروها در جهت z:

$$2T_y.dx.\sin\frac{d\phi}{2} + \frac{\partial T_y}{R.\partial\phi}.R.d\phi.dx.\sin\frac{d\phi}{2} - Z.dx.R.d\phi = 0$$



الف) وزن پوسته



ب) بار برف

انواع بارهای وارد بر غشا

نیروهای غشایی ناشی از وزن خود سازه و بار برف

نیروی غشایی	ناشی از وزن خودسازه (g)	ناشی از وزن برف ($p_0 \cos\phi$)
T_x	$-\frac{(n+2)g\cdot(L^2-x^2)}{2R_0\cos^{n-1}\phi}$	$-\frac{(n+3)p_0(L^2-x^2)(\cos^2\phi-\sin^2\phi)}{2R_0\cdot\cos^2\phi}$
T_y	$-g\cdot R_0\cos^{n+1}\phi$	$-p_0R_0\cos^{n+2}\phi$
S	$-(n+2)g\cdot x\cdot\sin\phi$	$-(n+3)\,p_0x\cdot\sin\phi\cdot\cos\phi$

نیروهای غشایی در پوسته های استوانه‌ای مستدیر

نیروی غشایی	ناشی از وزن خودسازه (g)	ناشی از وزن برف ($p_0 \cos\phi$)
T_x	$-\frac{g(L^2-x^2)\cos\phi}{R}$	$-\frac{3p_0(L^2-x^2)(\cos^2\phi-\sin^2\phi)}{2R}$
T_y	$-gR\cdot\cos\phi$	$-p_0R\cdot\cos^2\phi$
S	$-2g\cdot x\cdot\sin\phi$	$-3p_0\cdot x\cdot\sin\phi\cdot\cos\phi$

مثال طراحي:

- يك پوسته بتن آرمه كه خط هادي آن نيم دايره است، به طور آزاد بر روي تكيه گاه هاي انتهايي قرار گرفته است. اگر داشته باشيم:

- R=8 m
- 2L=36 m
- t= 60 mm

- نيروهاي غشايي پوسته را در x هاي برابر صفر، ۳۰ و ۶۰ و ۹۰ درجه تحت اثر وزن خود آن محاسبه نماييد.

- وزن مخصوص بتن = ۲۵ KN/m2
- وزن خود پوسته در واحد سطح آن (0.06*25)=g=1.5 KN/m2

- با توجه به اينكه در دايره n=0 است

- R= R0= 8m

- نيروهاي غشايي را از معادلات زير بدست آوريم:

$T_x = -(60.75 - 0.1875 X^2) \cos\Phi$

$T_y = -12 \cos\Phi$

$S = -3 X \sin\Phi$

- با استفاده از اين معادلات، نيروهاي غشايي براي مقادير مختلف x و Φ محسابه مي كنيم.
- اين مقادير در جدول زير درج گرديده است. حداكثر تنش وحد در x=0 و Φ=0 يعني در وسط دهانه و در تاج پوسته ايجاد مي شود.

$T_x = 60.75$ KN/m

$(60.75*1000) / (1000*60) = 1.01$ N/mm² حداكثر تنش فشاري

وزن مخصوص بتن $= ۲۵\ KN/m^۳$

وزن خود پوسته در واحد سطح آن $= g = (۰/۰۶ \times ۲۵) = ۱/۵\ KN/m^۲$

با توجه به اینکه در دایره $n = ۰$، پس :

$$R = R_۰ = ۸\ m$$

نیروهای غشایی را از معادلات زیر به دست می‌آوریم :

$$T_x = - \left[\frac{g (L^۲ - x^۲) \cos \phi}{R} \right] = - \left[\frac{۱/۵ (۱۸^۲ - x^۲) \cos \phi}{۸} \right]$$

$$= - (۶۰/۷۵ - ۰/۱۸۷۵ x^۲) \cos \phi$$

$$T_y = - g \, . \, R \cos \phi = - ۱/۵ \times ۸ \times \cos \phi = - ۱۲ \cos \phi$$

$$S = - ۲ g x \, . \, \sin \phi = - ۲ \times ۱/۵ \times x \times \sin \phi = - ۳ x \, . \, \sin \phi$$

با استفاده از این معادلات ، نیروهای غشایی را برای مقادیر مختلف x و ϕ ($x = ۰$ ، ۹ ، ۱۸m؛ $\phi = ۰^\circ$ ، ۳۰° ، ۶۰° ، ۹۰°) محاسبه می‌کنیم . این مقادیر در جدول ۱۰-۳ درج گردیده‌اند.

حداکثر تنش واحد ، در $x = ۰$ و $\phi = ۰$ یعنی در وسط دهانه و در تاج پوسته ایجاد می‌شود.

$$T_x = ۶۰/۷۵\ KN/m$$

$$\text{حداکثر تنش فشاری} = \left(\frac{۶۰/۷۵ \times ۱۰^۳}{۱۰۰۰ \times ۶۰} \right) = ۱/۰۱\ N/mm^۲$$

نیروهای غشایی پوستهٔ نیمدایره‌ای

	نیروهای غشایی (KN/m) فشاری (—)											
ϕ	$0°$			$30°$			$60°$			$90°$		
x	T_x	T_y	S	T_x	T_y	S	T_x	T_y	S	T_x	T_y	S
0	60.75	12.00	0	52.61	10.39	0	30.37	0	6.00	0	0	0
9 m	45.56	12.00	0	39.46	10.39	13.50	22.78	6.00	23.38	0	0	27.00
18 m	0	12.00	0	0	10.39	27.00	0	6.00	46.77	0	0	54.00

نیروهای T_x و T_y فشاری اند.

- تئوري تير:

- در تئوري تير كه به وسيله "لوندگرن" تحليل شد، پوسته به عنوان يك تير تحليل مي شود. اين تير داراي سطح مقطع منحني بوده و دهانه بين قابها يا تيرهاي عرضي انتهايي را مي پوشاند.

- در پوسته هاي بلند مولفه هاي طولي نيرو غالب بوده و بنابراين تحليل آنها با استفاده از تئوري تير ايده آل و مناسب مي باشد.

$$\bar{x} = \frac{\sum A\bar{x}}{\sum A} = \frac{2\int_0^{\phi} R \cdot d\theta \cdot t \cdot R \cdot \cos\theta}{2\int_0^{\phi} R \cdot d\theta \cdot t}$$

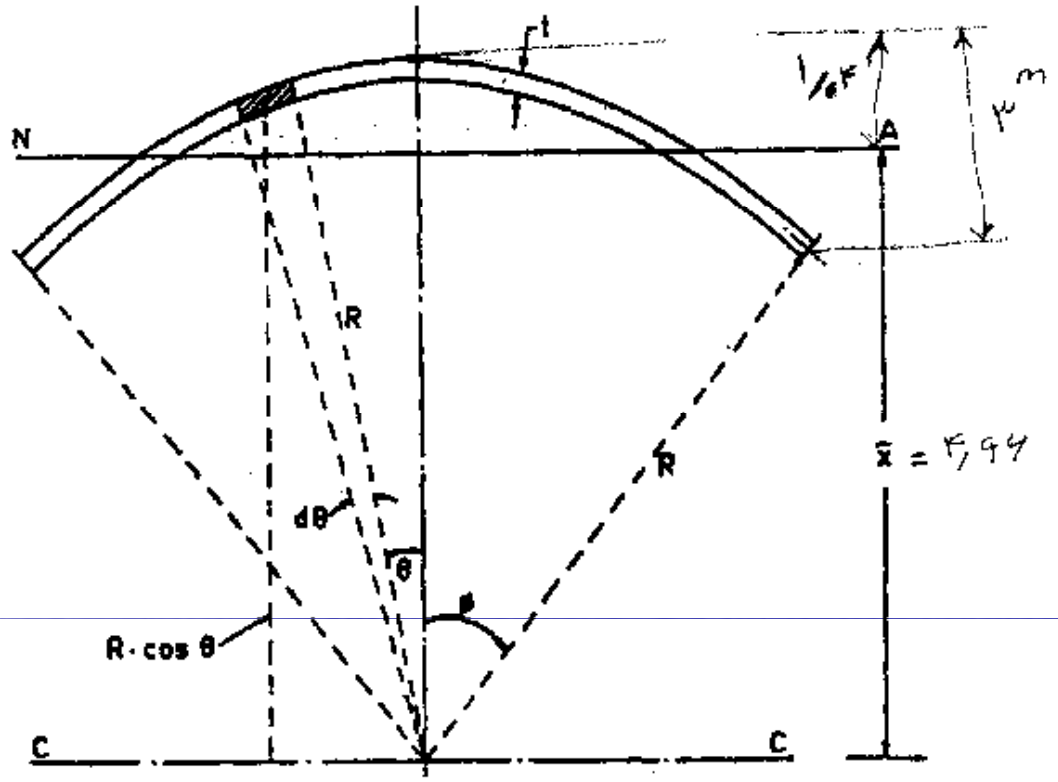
که در آن :

R = شعاع پوسته

t = ضخامت پوسته

$$\bar{x} = \frac{\int_0^{\phi} R^2 \cdot d\theta \cdot t \cdot \cos\theta}{\int_0^{\phi} R \cdot d\theta \cdot t}$$

لنگر دوّم سطح $= I_{cc} = 2\int_0^{\phi} R \cdot d\theta \cdot t \cdot (R \cdot \cos\theta)^2$



مشخصات پوسته

$$= ۲\ R^{۳}t \int_{۰}^{\phi} \left(\frac{۱ + \cos ۲\theta}{۲} \right) d\theta = ۲R^{۳}t \left[\frac{\theta}{۲} + \frac{\sin ۲\theta}{۴} \right]_{۰}^{\phi}$$

مساحت قطعه پوسته $= \sum A = ۲ \int_{۰}^{\phi} R \,.\, d\theta \,.\, t$

$$\Rightarrow \quad I_{NA} = \left[I_{cc} - A \,.\, \bar{x}^{۲} \right]$$

$$I_{NA} = ۲\ R^{۳}t \left[\frac{\theta}{۲} + \frac{\sin ۲\theta}{۴} \right]_{۰}^{\phi} - \left(۲ \int_{۰}^{\phi} R \,.\, d\theta \,.\, t \right) . x^{-۲}$$

۱۰ – ۵ – ٦ – مثال طرّاحی

یک پوستهٔ بتن آرمهٔ مستدیر با مشخّصات زیر مفروض است :

شعاع $= R = ۶\ m$

طول دهانه $= ۲L = ۲۴\ m$

نیم زاویهٔ مرکزی $= \phi = ۶۰^\circ$

ضخامت $= t = ۵۰\ mm$

با استفاده از تئوری تیر، حدّاکثر تنش ناشی از وزن خود پوسته را محاسبه نموده و مقادیر به دست آمده را با نتایج حاصل از تئوری غشایی مقایسه کنید.

خیزپوسته $= (R - R \cos ۶۰^\circ) = ۶ (۱ - \cos ۶۰^\circ) = ۳\ m$

مساحت قطعه $= ۲ \int_۰^{\frac{\pi}{۳}} (۶\ d\theta) (۰/۰۵)$

$$\Rightarrow \quad \sum A = (۲ \times \frac{\pi}{۳} \times ۶ \times ۰/۰۵) = ۰/۶۲۸۳\ m^۲$$

$$\bar{x} = \frac{۲ \int_۰^{\frac{\pi}{۳}} R^۲ . d\theta . t . \cos\theta}{۲ \int_۰^{\frac{\pi}{۳}} R . d\theta . t} = [\frac{۲ \times ۶^۲ \times ۰/۰۵ \times \sin ۶۰^\circ}{۰/۶۲۸}] = ۴/۹۶\ m$$

$$R - \bar{x} = ۶ - ۴/۹۶ = ۱/۰۴\ m$$

$$I_{oo} = ۲R^۳ . t\ [\frac{\theta}{۲} + \frac{\sin ۲\theta}{۴}]_۰^{\phi} = ۲ \times ۶^۳ \times ۰/۰۵ [\frac{\pi}{۶} + \frac{\sin ۱۲۰^\circ}{۴}] = ۱۵/۹۹\ m^۴$$

$$\Rightarrow \quad I_{NA} = [I_{oo} - A . \bar{x}^۲] = [۱۵/۹۹ - (۰/۶۲۸۳) (۴/۹۶^۲)] = ۰/۵۳\ m^۴$$

وزن یک متر طول پوسته $= (۰/۶۲۸۳ \times ۲۵) = ۱۵/۷۱\ KN/m$

$$\Rightarrow \quad \text{حدّاکثر لنگر خمشی} = (\frac{۱۵/۷۱ \times ۲۴^۲}{۸}) = ۱۱۳۱\ KNm$$

حدّاکثر تنش تار در محلّ تاج پوسته $= \sigma_c = [\frac{۱۱۳۱ \times ۱۰^۶ \times ۱/۰۴ \times ۱۰^۳}{۰/۵۳ \times ۱۰^{۱۲}}] = ۲/۲۲\ N/mm^۲$

- مقدار تنش فشاري به دست آمده با استفاده از تئوري غشايي اين موضوع را نشان مي دهد كه هنگامي كه از تئوري غشايي در پوساته هاي بلند استفاده مي شود تنش ها دست پايين برآورد مي گردند.

- تحليل پوسته ها با استفاده از تئوري هاي دقيق:

- تحليل دقيق رياضي پوسته هاي قوسي نازك اساسا مبتني بر يك معادله ديفرانسيل مرتبه هشتم (شامل پرامترها و تغيير شكلهاي اصلي پوسته) مي باشد.

- تحقيقات انجام شده منجر به ابداع راه حل هايي گشته اند كه مبتني بر تقريب هاي ساده كننده مي باشند. مك نامي بين تقريب هاي تحليل مختلف يك تحليل مقايسه اي به عمل آورده است.

- شايان ذكر است كه به دليل خواص غير ارتجاعي بتن، يك راه حل دقيق رياضي مبتني بر معادله ديفرانسيل مرتبه هشتم به خودي خود چيزي بيش از يك راه حل تقريبي نمي باشد.

-

- تئوري (دونل، كارمان، جنكينز) را مي توان ساده ترين تئوري دقيق محسوب نمود. اين تئوري را مي توان هم در پوسته هاي بلند و هم در پوسته هاي كوتاه مورد استفاده قرار داد.
- روش ASCE كه شامل يك رشته جداول طراحي مي شود نيز براي تحليل و طراحي پوسته هاي استوانه اي با هر نسبتي از عرض به طول سودمند مي باشند.
- فرمول بندي شورر، توتنهام نسبت به ساير تئوري ها به مراتب ساده تر بوده و براي طراحي پوسته هاي متوسط و بلند از دقت كافي برخوردار است. تعيين عكس العمل هاي نامعين (هيپراستاتيك) بين پوسته و تير لبه با استفاده از روش هاي دقيق عموما مستلزم انجام محاسبات مفصل مي باشد.

- بر اساس نشريه شماره ۳۱، ASCE يك سري ضرايب نيرو و تغيير شكل را براي طراحي پوسته ها تحت شرايط مختلف بارگذاري ارائه مي نمايد كه در طراحي پوسته هاي استوانه اي بسيار مفيد مي باشند.

- پایان