



## بررسی پیچش عرضی مقاطع سلولی مورد استفاده در

### شناورهای تندرو چندبدنه

هومان اعتصامی فرد<sup>۱</sup>، محمدرضا خدمتی<sup>۲</sup>

تهران دانشگاه صنعتی امیر کبیر - دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی

houman\_et@yahoo.com

#### چکیده

در این مقاله در ابتدا پیچش مقاطع سلولی و تئوری های مربوطه بررسی می گردد . سپس برنامه ای که بدین منظور در محیط نرم افزار MATLAB تهیه شده توضیح داده می شود . در نهایت نتایج به دست آمده از برنامه تهیه شده که بر اساس تئوری پیچش مقاطع سلولی می باشد با نتایج تحلیل المان محدود ( نرم افزار ANSYS ) مقایسه می شود.

**کلمات کلیدی:** پیچش - مقاطع سلولی - شناورهای تندرو چند بدنه .

1- دانشجوی کارشناسی دانشکده مهندسی کشتی سازی و مهندسی دریایی ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)  
2- استادیار دانشکده مهندسی کشتی سازی و مهندسی دریایی ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)



## ۱. مقدمه

مقاطع تو خالی چند سلولی در هواپیما ها و کشتی ها کاربرد زیادی دارند . در شناور های تندرو تک بدنه به علت کم بودن عرض شناور پیچش عرضی اهمیت چندانی ندارد. اما در شناورهای تندرو چند بدنه به علت عرض زیاد و تغییرات ناگهانی مقطع، پیچش عرضی اهمیت پیدا می کند و باید در طراحی مد نظر قرار گیرد . تحلیل به کمک نرم افزار های المان محدود احتیاج به هزینه زیاد و زمان دارد . در این مقاله به بررسی تئوری های پیچش و میزان کارآیی آنها در مورد شناورهای تندرو چند بدنه پرداخته و راه حلی ساده و ارزان و در عین حال با ضریب اطمینان بالا ، برای بررسی اولیه تنش های ناشی از پیچش ، استخراج می شود .

## ۲. تئوری مقاطع تو خالی چند سلولی

برای بدست آوردن روابط از یک مقطع دو سلولی که در شکل (۱) ملاحظه می شود استفاده می گردد. روابط حاصله برای مقاطع با هر تعداد سلول صادق است . اگر رابطه تعادل را برای نیروهای در راستای محور بنویسیم خواهیم داشت :

$$-q_1 L + q_2 L + q_w L = 0$$

$$q_w = q_1 - q_2 \quad (1)$$

جریان تنش در صفحه بین سلولهای ۱ و ۲ همانند جریان در یک مدار الکتریکی است . بنابراین در یک مقطع چند سلولی جریان تنش در همه جا ثابت نمی ماند . طبق تئوری پیچش St. Venant مقاطع عرضی در صفحه خود دچار اعوجاج نمی شوند. بنابراین نرخ پیچش در همه سلولها با هم برابر است .

روابطی که برای مقاطع تک سلولی در کتب مقاومت مصالح استخراج شده، در اینجا نیز صادق است با این تفاوت که  $T$  برای هر سلولی ، سهمی است که آن سلول از گشتاور کل تحمل می کند بنابراین برای سلول  $i$  ام می توان نوشت :

$$\alpha = \frac{1}{2 G A_i} \left( \oint \frac{q}{t} dS \right) \quad (2)$$



در سلول ۱ شکل (1a) جریان تنش در مسیر CBA برابر  $q = q_1$  و در مسیر AC برابر  $q = q_1 - q_2$  می باشد .  
 در سلول ۲ جریان تنش در مسیر ADC برابر  $q = q_2$  و در مسیر CA برابر  $q = q_2 - q_1$  می باشد .  
 اگر از جزء گشتاورهایی که نیروهای موثر بر المانی به طول  $dS$  حول نقطه دلخواه P ایجاد می کنند انتگرال بگیریم خواهیم داشت :

$$\begin{aligned} T &= \int_{CBA} q_1 r dS + \int_{ADC} q_2 r dS + \int_{AC} (q_1 - q_2) r dS \\ T &= 2(A_1 + A_w)q_1 + 2(A_2 - A_w)q_2 - 2A_w(q_1 - q_2) \\ T &= 2A_1q_1 + 2A_2q_2 \end{aligned} \quad (3)$$

در حالت کلی برای هر سلول می توانیم بنویسیم :

$$T = 2 \sum_{i=1}^n A_i q_i \quad (4)$$

برای حل یک مسئله پیچش برای مقطعی با  $n$  سلول به  $n+1$  معادله برای به دست آوردن جریان تنش در هر سلول و نرخ پیچش احتیاج داریم که  $n$  معادله به کمک رابطه ۲ به دست می آید و یک معادله هم از رابطه ۴ حاصل میشود.  
 لازم نیست که برای استفاده از این روابط  $G$  ثابت باشد . در حالتی که  $G$  ثابت نیست می توان برای محاسبه نرخ پیچش و جریان برش،  $G$  را ثابت فرض کرد و از ضخامت اصلاح شده استفاده نمود . مثلاً اگر ضریب برشی در شکل (۱) در مسیر AC برابر  $G_w$  و در بقیه جاها  $G$  باشد، می توانیم در همه جا ضریب برشی را برابر  $G$  در نظر بگیریم اما ضخامت مسیر AC در نسبت  $G_w/G$  باید ضریب شود . اما برای محاسبه تنش برشی جریان تنش به دست آمده از این طریق باید بر ضخامت واقعی تقسیم شود .

### ۳. طراحی نرم افزار برای محاسبه پیچش :

این نرم افزار ابتدا نقاطی را که محل تقاطع ورق ها یا تغییر ضخامت ورق ها است از کاربر دریافت می کند . سپس کاربر نقاطی را که بین آنها ورق وجود دارد با خط به هم وصل می کند .



نرم افزار باید به طور هوشمند مقاطع بسته را تشخیص دهد. برای این منظور یک ماتریس مربعی صفر و یک تشکیل می دهیم که سطر های آن برابر تعداد نقاط است. یک ها نشان دهنده وجود خط و صفر ها نشان دهنده عدم وجود خط می باشند.

به کمک این ماتریس می توان تمامی مسیر هایی را که از یک نقطه مشخص شروع شده و دوباره به همان نقطه میرسند را نشان داد. اما همه این مسیرها الزاما مقاطع بسته مورد مطالعه نمی باشند. در شکل (2) یک مقطع بسته دو سلولی و ماتریس مجاورت آن نشان داده شده است. در این مقطع اگر از نقطه ۱ شروع کنیم هم از مسیر ۱\_۲\_۵\_۴\_۱ به نقطه اول می رسیم و هم از مسیر ۱\_۲\_۳\_۶\_۵\_۴\_۱ اما فقط اولی مقطع بسته مورد نظر ما می باشد.

برای فهمیدن این موضوع مساحت مسیرهای به دست آمده را حساب می کنیم. اگر مساحت مسیری ترکیبی از مساحت های دو مسیر دیگر باشد و این سه مسیر دو نقطه مشترک با هم داشته باشند آنگاه این مسیر نمی تواند یکی از مقاطع بسته مورد نظر باشد.

برای سهولت یک ماتریس مربعی تشکیل می دهیم که سطر  $a$  و ستون  $b$  آن مجموع مساحت های دو مسیر  $a$  و  $b$  باشد. سپس مساحت های هر مقطع را با عناصر این ماتریس چک می کنیم.

پس از به دست آوردن مقاطع بسته،  $n$  معادله برای جریان برش ها به دست می آوریم. برای به دست آوردن این جریان برش ها ابتدا نرخ پیچش را برابر واحد فرض می کنیم و جریان برش را برای نرخ پیچش واحد حساب می کنیم. سپس به کمک رابطه  $T = 2 \sum_{i=1}^n A_i q_i$  گشتاور لازم برای ایجاد نرخ پیچش واحد را حساب می کنیم.

از تقسیم گشتاور اعمال شده به مقطع به گشتاور لازم برای ایجاد نرخ پیچش واحد، نرخ پیچش حقیقی به دست می آید. با ضرب این مقدار در جریان های برش محاسبه شده نیز جریان برش حقیقی به دست می آید. حال به راحتی می توانیم تنش ها را حساب کنیم.

در فلوچارت ۱، فلوچارت نرم افزار و در شکل (۴) نتایج آن برای یک مقطع کاتاماران مشاهده می شود. در ستون آخر این برنامه به ترتیب شماره خط که با  $L$  نشان داده شده و شماره نقاط دو سر خط، ضخامت خط و تنش ها دیده می شوند. کاربر می تواند ضخامت خط را در قسمت Thickness وارد کند و با کلیک کردن روی خط مورد نظر در ستون



ضخامت آن را تعیین کند یا تغییر دهد. پس از رسم مدل و وارد کردن اطلاعات مربوط به ضخامت ها با فشار دادن دکمه Solve مسئله حل می شود و نتایج مطابق شکل در ستون آخر ثبت می شود.

#### ۴. مقایسه نتایج تئوری با المان محدود

در این قسمت به کمک المان شل قسمتی از بدنه یک کاتاماران را مدل می کنیم و نتایج المان محدود را با نتایج به دست آمده از نرم افزار طراحی شده مقایسه می کنیم. در شکل (۳) یک مقطع کاتاماران که به کمک نرم افزار طراحی شده مدل گشته و در شکل (۴) همین مقطع که در ANSYS مدل شده مشاهده می شود. در مدل های تهیه شده در ANSYS مقطع ما در امتداد طول ثابت است. پیچش نیز به وسیله یک کوپل نیرو در ابتدا و انتها به مقطع اعمال می شود.

به کمک ANSYS سه مدل مورد بررسی قرار گرفته است. مدل اول ۲ فریم به ضخامت ۴ میلیمتر دارد که در ابتدا و انتها قرار گرفته اند (شکل (۴)) و مدل دوم ۶ فریم به ضخامت ۴ میلیمتر دارد (شکل (۵)). هدف از این دو مدل بررسی نقش فریم ها در تنش های ناشی از پیچش عرضی می باشد. نتایج تنش ها در این دو مدل در جدول ۱ آورده شده است.

در مدل سوم نیز همین مقطع مورد بررسی قرار گرفته اما به جای فریم های ابتدایی و انتهایی از بالکهد هایی با ضخامت ۸ میلیمتر استفاده شده است (شکل (۶)). نتایج تنش ها در این مدل در جدول ۲ آورده شده و درصد خطای تئوری و المان محدود نیز ذکر شده است.

#### ۵. نتیجه گیری

همانطور که از نتایج جدول ها مشاهده می شود با افزایش تعداد فریم ها تغییر چندانی در تنش های ناشی از پیچش مشاهده نمی شود. اما نتایج المان محدود با نتایج تئوری در بیشتر موارد اختلاف قابل توجهی دارند. علت این امر را می



توان متفاوت بودن صلبیت فریم ها و در نتیجه به وجود آمدن اعوجاج های غیر صفحه ای دانست . اما در هر صورت برای داشتن یک تقریب اولیه باز هم نتایج خوب است .

اما در مدل بالکهد دار که در اکثر شناورها بدین صورت است ، خطاها کوچک شده اند . زیرا وجود بالکهد باعث توزیع یکنواخت گشتاور در مقطع می شود و از اعوجاج های غیر صفحه ای جلوگیری می کند . بنابراین نرم افزار طراحی شده برای قسمت هایی از شناور که بین دو بالکهد قرار گرفته و تغییرات مقطع ندارد ( مثل شناور SES ) ، دقت بسیار بالایی دارد . اما در حالتیکه اعوجاج های غیر صفحه ای به وجود آید ، دقت کاهش می یابد و فقط به عنوان یک تخمین اولیه می توان از نتایج استفاده کرد . ابعاد ذکر شده در ستون length در شکل (۷) مشخص شده اند .

جدول 1 : نتایج تنش مدل های فریم دار برحسب MPa

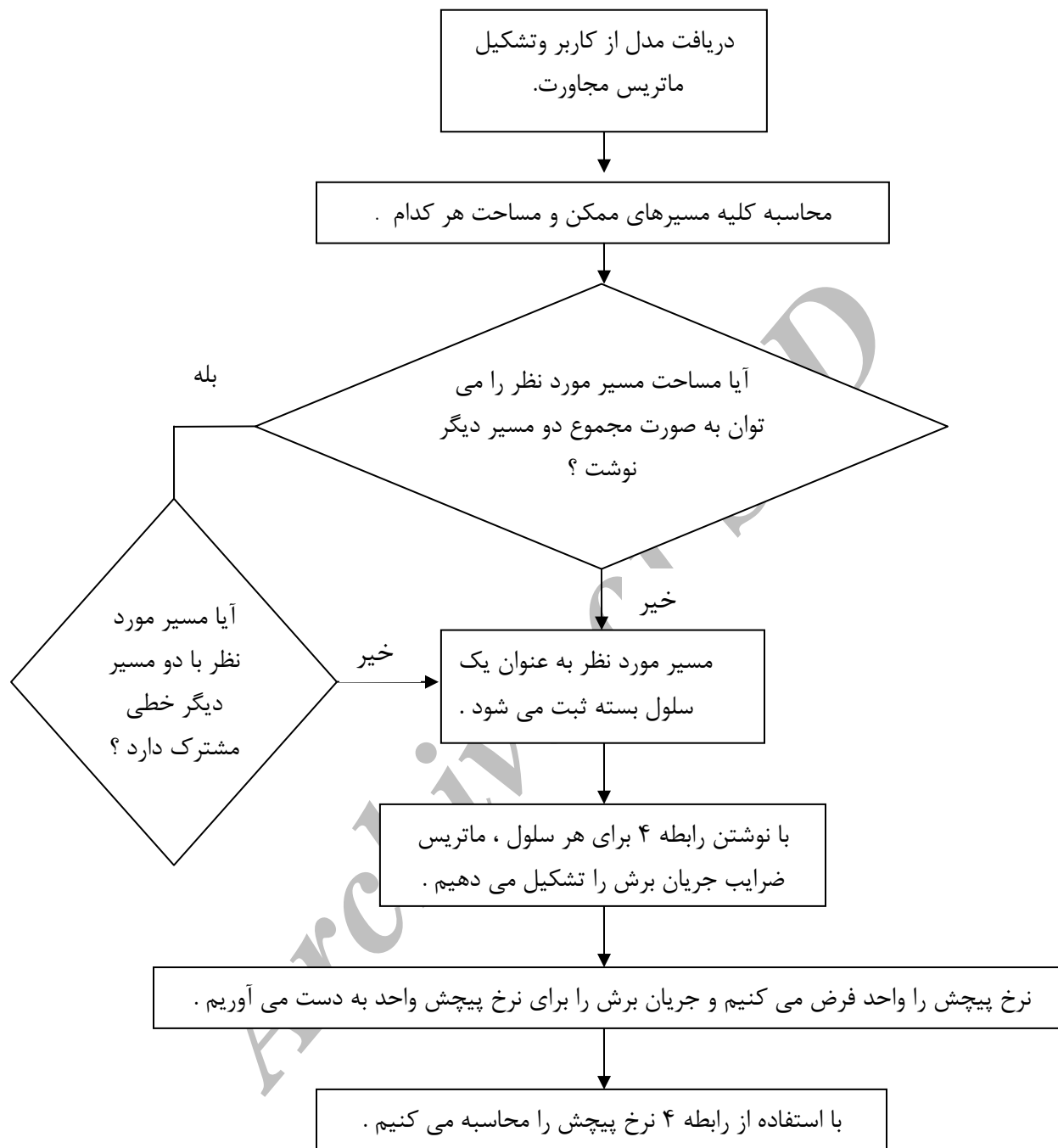
	Length	Theory	ANSYS 1	ANSYS 2
1	3.1	847	641	813
2	0.5024	635	450	146
3	0.8139	690	868	761
4	0.8246	552	776	855
5	0.5	690	1125	1552
6	0.3905	552	1053	1100
7	0.3	552	707	751
8	0.2	0	181	206
9	1.5	73	1128	984

ANSYS 1 : Number of frames = 2

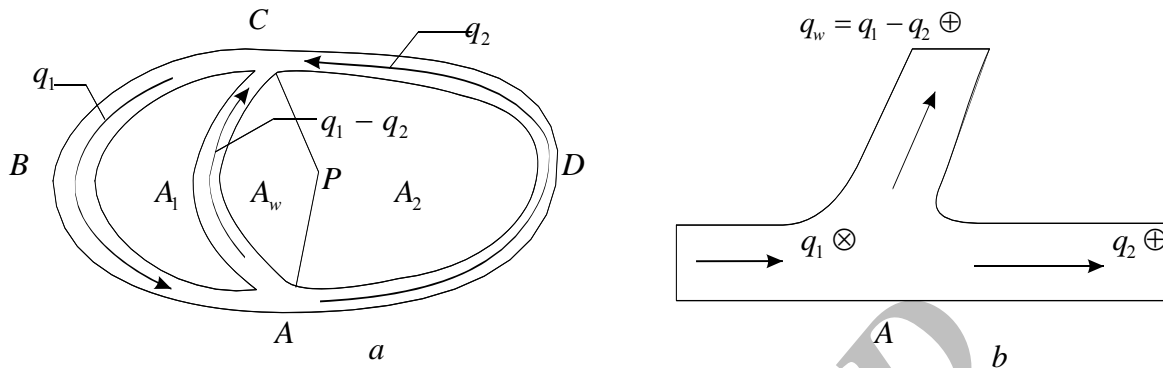
ANSYS 2 : Number of frames = 6

جدول 1 : نتایج تنش مدل بالکهد دار و مقایسه آن با مقادیر تئوری

	Length	Theory	ANSYS	Error
1	3.1	847	904	6.31
2	0.5024	635	685	7.30
3	0.8139	690	647	6.65
4	0.8246	552	518	6.56
5	0.5	690	684	0.88
6	0.3905	552	629	12.24
7	0.3	552	461	19.74
۸	1.5	73	75	2.67

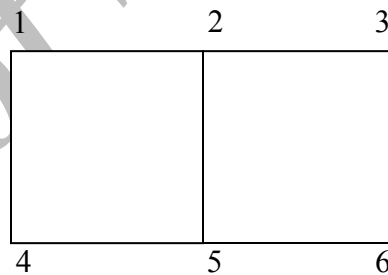


فلوچارت ۱: فلوچارت نرم افزار تهیه شده بر مبنای تئوری پیچش .

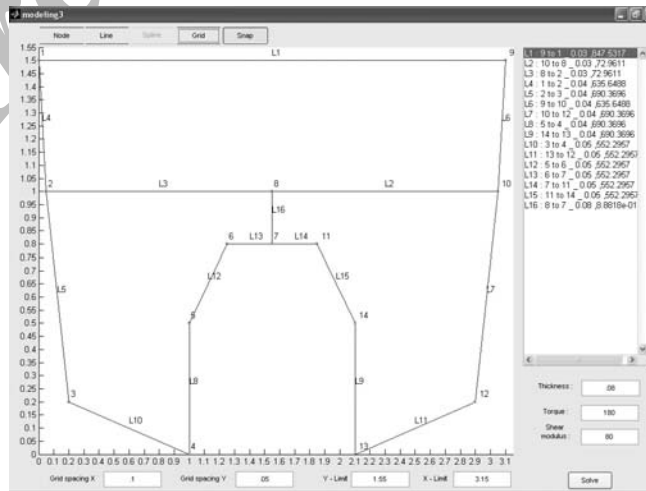


شکل ۱: یک مقطع دو سلوله فرضی و توزیع جریان برش در آن

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

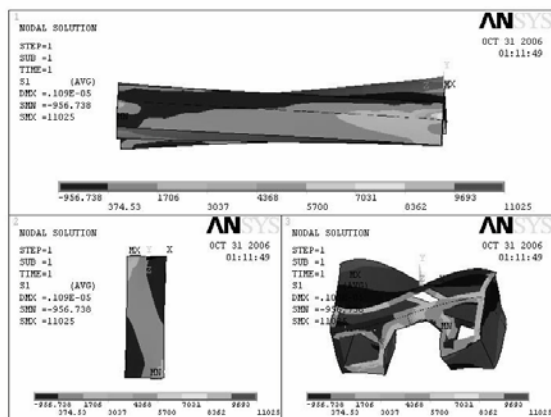


شکل ۲: ماتریس مجاورت یک مقطع دو سلوله

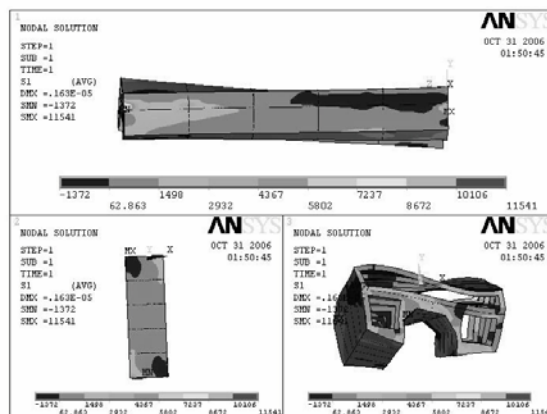


شکل ۳: مقطع کاتاماران مدل شده در نرم افزار

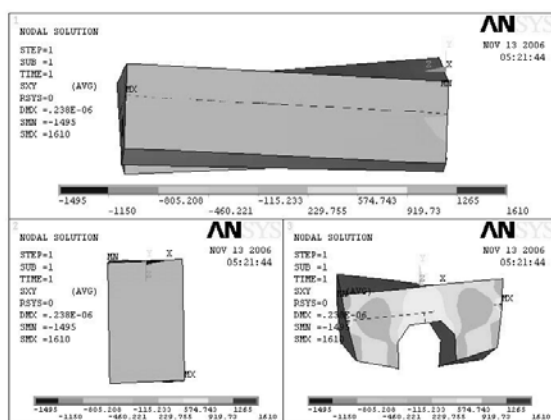




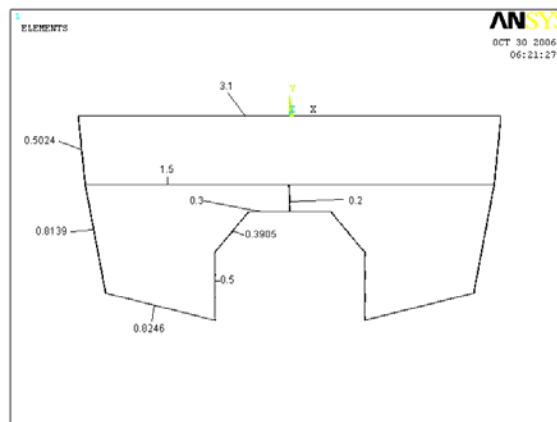
شکل ۴: مقطع کاتاماران با ۲ فریم



شکل ۵: مقطع کاتاماران با ۶ فریم



شکل ۶: مقطع کاتاماران با بالکهد



شکل ۷: ابعاد مقاطع کاتاماران

منابع و مأخذ

۱. Cook RD, Advanced Mechanics of Materials, 1985
۲. Evans, JH, Ship structural design concepts, second cycle, Cornell Maritime press, 1983
۳. Megson, T, Aircraft structures for engineering students, Arnold press, 1999
۴. Stanoyevitch A, Introduction to numerical ordinary and partial differential equations using MATLAB , Wiley-Interscience , 2005