به نام خدا

کمانش ورق‌های کامپوزیت به روش نوار محدود با توابع شکل هرمیتی

توسعه دهنده:	محمدرضا سلطانی: کارشناسی ارشد، عمران-سازه	دانشگاه یاسوج
تهیه کننده مستند:	محمدرضا سلطانی	
تاریخ تنظیم سند:	۱۹ / ۰۶ / ۹۳	

Market Code

فهرست مطالب

فصل اول: تئوری صفحات ۵
۱-۱ مقدمه ۵
۱-۲ دسته بندی ورق ها ۸
۱-۳ کمانش ورق ۱۱
۱-۳-۱ روش های تحلیل کمانش ورق: ۱۴
۱-۳-۲ حل با استفاده از معادلات دیفرانسیل حالت استاتیک ۱۴
۱-۳-۳ روش های انرژی ۱۵
۱-۳-۴ روش دینامیکی ۱۵
۱-۵ انواع کمانش ۱۶
۱-۵-۱ کمانش حرارتی ۱۷
فصل دوم: آشنایی با مواد ایزوتروپیک و ارتوتروپیک ۱۹
۲-۱ مقدمه ۱۹
۲-۲ معرفی ورق‌های کامپوزیت ۲۰
۲-۲-۱ کامپوزیت‌های لایه‌ای ۲۲
۲-۲-۲ روابط بنیادی لایه‌های الیافی ۲۴

Market Code

فصل سوم : روش نوار محدود در حل معادلات دیفرانسیل مربوط به کمانش صفحات: ۳۳
۳-۱ مقدمه ۳۳
۳-۲ مراحل انجام کار به روش نوار محدود ۳۳
۳-۳ انتخاب نوع نوار و توابع شکل در روش نوار محدود ۳۶
۳-۴ نوار مستطیلی مرتبه پایین ($I o_2$) ۳۸
۳-۵ نوار مرتبه بالای مستطیلی با خط گره میانی ۳۹
۳-۶ نوار مرتبه بالا مستطیلی با دو خط گره (Hb_2) ۴۰
۳-۷ توابع شکل طولی در روش نوار محدود ۴۱
۳-۷-۱ روش نوار محدود عادی ۴۲
۳-۷-۲ روش نوار محدود مختلط ۴۳
۳-۷-۳ روش نوار محدود اسپیلاین ۴۴
فصل چهارم: مستندات کاربری ۴۶
۴-۱ مقدمه ۴۷
۴-۲ آماده سازی فضای برنامه ۴۸
۴-۳ مقداردهی مشخصات مصالح و شرایط تکیه‌گاهی ۴۸
۴-۴ توسعه معادلات حاکم بر ورق ۵۰
۴-۴-۱ فرض‌های حاکم بر رفتار ورق‌های نازک ۵۰

Market Code

۴-۵ غیردرگیرکردن تغییرمکان‌های درون‌صفحه و برون‌صفحه ۵۷
۴-۶ شرایط تکیه‌گاهی مختلف ۶۰
۴-۷ بررسی صحت برنامه ۶۲
۴-۷-۱ ورق تک دهانه ایزوتروپیک و ارتوتروپیک چهار طرف مفصل ۶۳
۴-۷-۲ ورق ایزوتروپیک و ارتوتروپیک با شرایط انتهایی مختلف ۶۴
مراجع ۶۶

Market Code

فصل اول: تئوری صفحات

۱-۱ مقدمه

ورق‌ها اجزای سازه‌ای مسطح دو بعدی هستند که در آن، بعد ضخامت نسبت به سایر ابعاد بسیار کوچک‌تر است و از لحاظ هندسی توسط خطوط و یا منحنی‌هایی به نام مرز ورق محصور می‌شوند. ورق‌ها نه تنها می‌توانند به عنوان عضوی از سازه به کار روند بلکه کل سازه می‌تواند توسط ورق ساخته شود، مانند عرشه پل. ورق‌ها از لحاظ شرایط مرزی می‌توانند دارای لبه‌های آزاد مفصلی، گیردار، تکیه‌گاه الاستیک و یا تکیه‌گاه نقطه‌ای باشند. بارهای استاتیکی و دینامیکی عمدتا به صورت عمود بر سطح صفحه اعمال می‌شوند، در ورق لنگر خمشی، لنگر پیچشی، و نیروهای برشی مرزی بوجود می‌آورند. از آنجایی که عمل حمل بار توسط ورق تا حد زیادی مشابه این عمل در تیرها می‌باشد، رفتار ورق‌ها را می توان با توجه به رفتار تیرها پیش‌بینی کرد. با وجود چنین تشابهی، تحلیل ورق به صورت سازه ای یک بعدی منجر به پاسخی نادرست می‌شود، لذا لازم است در حل مسائل ورق از مدل‌های دوبعدی استفاده کنیم. عملکرد دو بعدی صفحات، سازه‌ای سبک‌تر بوجود می‌آورند، لذا کاربرد این اعضا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

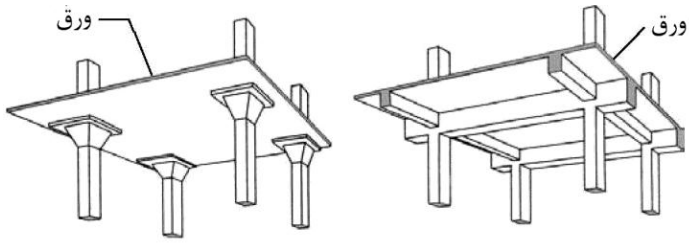
به علاوه نیاز فراوان به اجزایی با شکل هندسی خاص و قابلیت شکل پذیری ورق، قلمروی استفاده از این اجزای سازه ای را بسیار وسیع نموده است. بسیاری از اعضای سازه ای مانند دال‌ها، فونداسیون‌ها، عرشه پل و دیوارهای حائل نازک در رده‌بندی ورق‌ها قرار می‌گیرند.همچنین استفاده از سازه‌هایی چون کشتی، صنایع فضایی و خودروسازی غیر قابل اجتناب می‌باشد.

Market Code

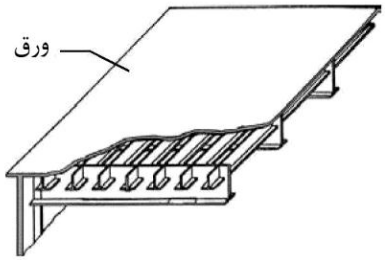
به عنوان مثال بال ها و بدنه سفینه فضایی از ورق‌هایی با انحنای کم ساخته می‌شوند. این ورق ها توسط سخت کننده‌ها تقویت می شوند. بدنه عرشه کشتی نمونه هایی دیگر از موارد کاربرد ورق های تقویت شده توسط سخت کننده می‌باشد.

اکثر مسائل ورق توسط تئوری های الاستیسیته حاکم بر رفتار ورق تحلیل می شود. حل دقیق مطالعات دیفرانسیل حاکم بر ورق تنها برای شرایط تکیه گاهی و بارگذاری خاصی امکان پذیر است. در اغلب موارد روش های انرژی راه حل‌های تحلیلی کارآمدی برای مسائل ورق ارائه می دهند. امروزه با گسترش کاربرد رایانه، به کارگیری روش های حل عددی اهمیت قابل توجهی یافته است، و در مواردی تنها راه حل مناسب محسوب می شود. روش المان محدود و روش گسسته‌سازی ریاضی برای حل مسائل پیچیده بهره می‌گیرند، در حالی که روش اجزاء محدود و نوار محدود متکی بر گسسته‌سازی طبق ملاحظات هندسی هستند. نتایج بدست آمده توسط روش های رایانه، همواره نیاز به کنترل دارد. روش های مهندسی می توانند برای مراحل اول طراحی به کار روند، به این معنی که با این روش ها می توان یک تقریب اولیه برای ابعاد ورق به دست آورد. به علاوه از تمامی روش های ذکر شده می توان در حل استاتیکی، دینامیکی و پایداری الاستیک ورق ها استفاده نمود. هر چند این روش ها بر مبنای تئوری الاستیسیته هستند محدودیت هایی دارند. مهم ترین آن عدم ارائه ضریب اطمینان دقیق شکست می باشد. به همین دلیل گاه به جای استفاده ار این شیوه، روش بار نهایی به کار می رود. به بیان دیگر روش بار نهایی را می توان با استفاده از روش های بار نهایی تکمیل کرد.

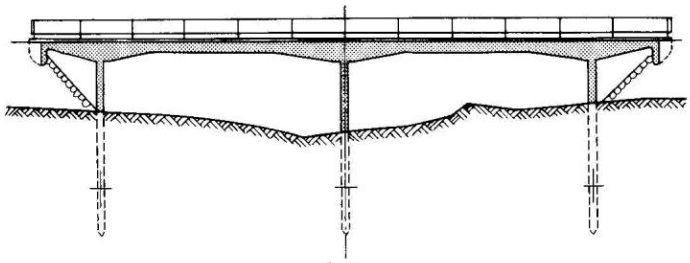
Market Code



الف) ورق هایی از جنس بتن آرمه



ب) ورق های فولادی بکار رفته در پل



ج) پل

شکل ۱-۱ : کاربرد ورق در عرشه پل‌ها [۱]

در تمامی مسائل مهندسی با توجه به پیچیدگی مساله، هر سازه باید با مدلی ساده تر که در بر گیرنده پارامترهای مهم و تأثیر گذار به پاسخ استاتیکی و دینامیکی سازه است ساده سازی شود. در مسائل ورق این روند باید با توجه به عوامل زیر صورت گیرد.

۱) هندسه ورق و تکیه گاه های آن

۲) رفتار و ویژگی های مواد تشکیل دهنده ورق

۳) نوع بارهای اعمال شده بر ورق

Mark de

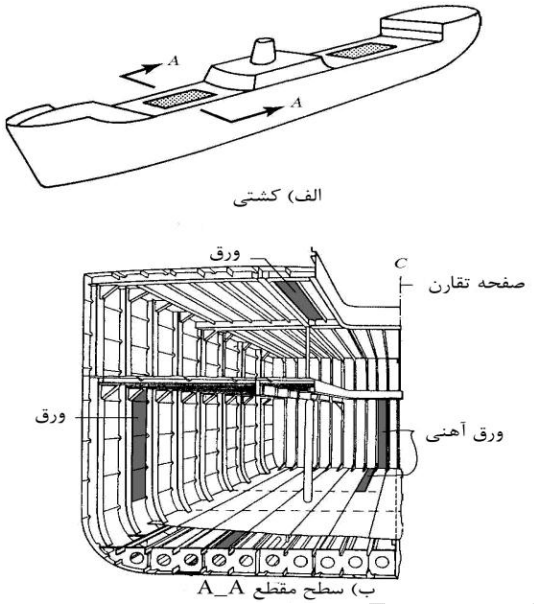
تجزیه و تحلیل کاملا دقیق ورق نیاز به در نظر گرفتن یک مدل سه بعدی دارد. اما چنین رویکردی عملی نیست، چرا که حل ریاضی آن پیچیدگی های خاص خود را دارد. حتی اگر مسأله قابل حل باشد در بیشتر موارد این کار از لحاظ صرف هزینه و وقت مقرون به صرفه نیست، بنابراین یافتن راهی برای ساده سازی رفتار ورق منطقی به نظر می رسد. از این رو ورق ها در چهار گروه رده بندی می شود. هر گروه دارای رفتار خاصی است که توسط معادلات حاکم بر ورق قابل پیش بینی است. پارامتر موثر بر رفتار ورق، نسبت ضخامت به عرض آن ($\frac{h}{l}$) می باشد هر چند نمی توان مرز کاملاً مشخصی بین انواع ورق قائل شد.

۱-۲ دسته بندی ورق ها

ورق سخت(۳) ($\frac{h}{l} = \frac{۱}{۵۰} - \frac{۱}{۱۰}$) : ورق های نازک با سختی خمشی هستندکه بار های اعمال شده بر ورق را به صورت دو بعدی توسط لنگرهای خمشی و پیچشی داخلی وبرش عرضی منتقل می کنند.

لذا این گروه از لحاظ عملکرد رفتاری مشابه تیرها دارند. در مسائل هندسی هر گاه از ورق یاد می شود منظور ورق سخت می باشد مگر در مواقعی که نوع ورق به طورمشخص ذکد شده باشد (شکل ۱-۱ الف) یک ورق سخت را به همراه نیروهای اعمال شده بر آن نشان می دهد.

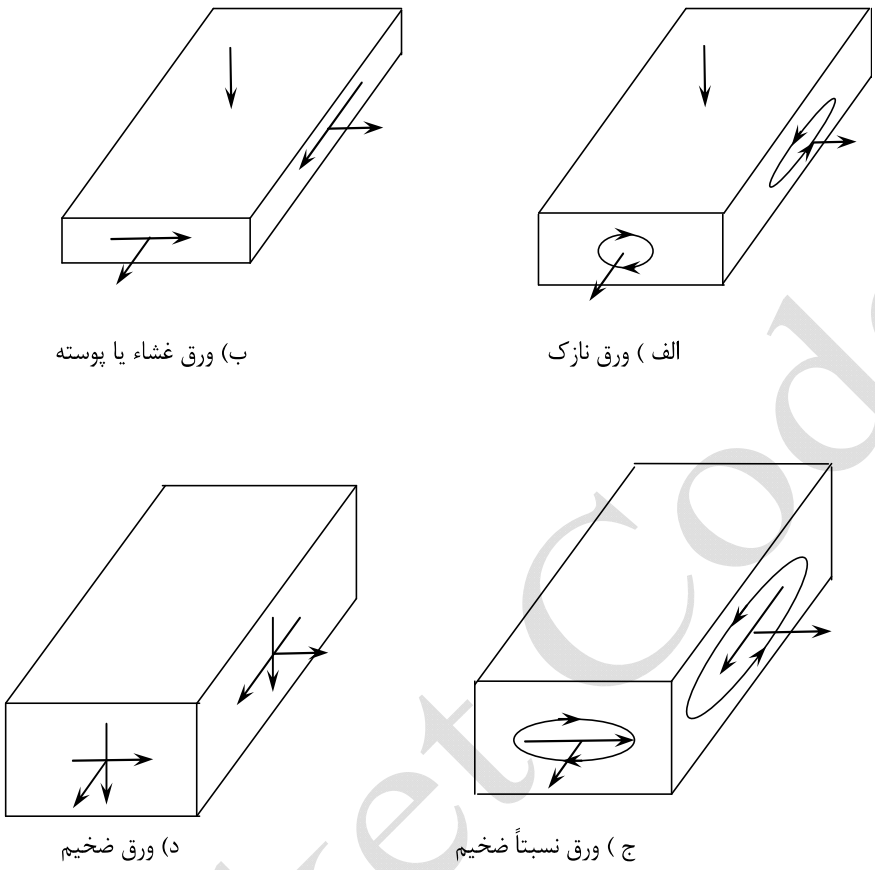
Market Code



شکل ۱-۲ : کاربرد ورق در صنعت کشتی‌سازی [۱]

غشاء ها یا پیوسته ها $(\frac{h}{l} < \frac{۱}{۵۰})$: ورق های بسیار نازکی هستند که هیچ گونه عملکرد خمشی ندارند و بار را توسط نیروهای محوری و برش های درون- صفحه ای انتقال می دهند (شکل ۱-۱ ب) این ورق ها را می توان مشابه کابل در نظر گرفت. به دلیل نازکی فوق العاده زیاد پوسته ها از اثرات خمش در این گروه از ورق های می توان صرفنظر کرد.

Market Code



شکل 1-3 : نیروهای داخلی برای انواع المان ورق [۱]

صفحات نسبتا ضخیم(۲) $\left(\frac{h}{l} = \frac{1}{10} - \frac{1}{5}\right)$: از بسیاری جهات مشابه ورق های سخت هستند با این تفاوت که در آن ها اثر نیرو های برش عرضی بر تنش قائم محاسبه می شود (شکل۱-۱ج)

ورق های ضخیم $\left(\frac{h}{l} > \frac{1}{5}\right)$: در این گروه از ورق ها تنش های داخلی همانند یک محیط پیوسته سه بعدی عمل می کند (شکل ۱-۱د). لازم به ذکر است که با وجود تمایزی که بین ورق های سخت و پوسته ها قائل شدیم، در صورتی که تغییر شکل های ورق های سخت به مقادیر خاصی محدود نشود، این ورق ها نیرو های خارجی را به صورت ترکیبی از لنگر داخلی، برش عرضی، برش درون صفحه ای و نیرو های محوری تحمل می کند، بنابراین تئوری الاستیک بین صفحات با تغییر شکل های کوچک و بزرگ تمایز قائل شده است.

MarketCode