

معرفی سازه ماکارونی :

سازه های ماکارونی به سازه هایی اطلاق می شود ، که مصالح استفاده شده در آنها تنها ماکارونی و چسب می باشد . این سازه ها در مقیاس کوچکتر نسبت به سازه های واقعی طراحی و توسط ماکارونی و چسب ساخته می شوند و پس از ساخت مورد بارگذاری قرار می گیرند .

در واقع این سازه ها به عنوان ماکت ساخته نمی شوند و سازه ای که بار بیشتری را تحمل می کند ، موفق تر خواهد بود . پل (تحت بارگذاری یکنواخت ، متمرکز و متحرک) ، Towercrain ، انواع قاب های ساختمانی و ستون های فشاری از جمله رایج ترین سازه های ماکارونی می باشند .

هر ساله در این راستا مسابقات بزرگی در دانشگاه های معتبر دنیا بین دانشجویان رشته مهندسی عمران برگزار می گردد . این دانشگاه ها از سالها پیش در این زمینه سرمایه گذاری کرده تا ذهن خلاق دانشجویان را فعال سازند و از طرحها و پژوهش های آنها در عمل استفاده کنند . طراحی و ساخت پل و ستون های فشاری رایج ترین رشته های این مسابقات می باشند . بطور مثال طراحی و ساخت پل خریایی تنها با استفاده از ۷۵۰ گرم ماکارونی

(معادل یک بسته ماکارونی) که می تواند وزن زیادی را تحمل نماید . طول دهانه پل یک متر و حداکثر ارتفاع پل نیم متر می باشد . پل روی دو تکیه گاه که از یکدیگر یک متر فاصله دارند قرار می گیرد و تکیه گاهها فقط قادر به وارد کردن عکس العمل عمودی می باشند و هیچ عکس العمل افقی در تکیه گاهها بر پل وارد نمی شود . رکورد کسب شده در این رشته (پل خریایی) معادل ۱۷۶ کیلو گرم می باشد ، که این رکورد تقریباً ۲۳۰ برابر وزن خود سازه می باشد . همچنین طراحی و ساخت سازه های فشاری که قادر به تحمل بار هایی بیش از نیم تن می باشند ، از دیگر نمونه های این سازه ها هستند . اینجا یک سؤال ممکن است مطرح می گردد ، آیا جنس ماکارونی در دست یافتن به رکورد های بالا موثر است ؟

در این زمینه تحقیقاتی روی محصول های مختلف شرکت های ماکارونی دنیا انجام گرفته و ماکارونی شرکت Rose ایتالیا به عنوان بهترین ماکارونی برای این هدف شناخته شده است . البته لازم به ذکر است که قدرت و مهارت طراح در ارائه یک طرح موفق ، بسیار مهم تر از جنس ماکارونی در رسیدن به رکورد های بالا می باشد .

هدف از استفاده از ماکارونی به عنوان عنصر سازه ای :

۱- در واقع ماکارونی بر خلاف فولاد و بتن عنصر سازه ای ناشناخته ای می باشد . این بدان معنی است که خصوصیات ماکارونی شامل حداکثر تنش کششی ، حداکثر تنش فشاری ، مدول الاستیسیته ، نحوه کمانش ماکارونی و دیگر خصوصیات ماکارونی که مورد نیاز برای طراحی و تحلیل سازه می باشند ، ناشناخته می باشد و تنها راه بدست آوردن این ویژگیها ایجاد و ابداع آزمایش های ساده و دقیق می باشد .

۲- ماکارونی بر خلاف بتن و فولاد دارای ضعف های زیادی می باشد و این ضعف ها کار را برای طراح مشکل تر می کند و اینجاست که ابداعات و خلاقیت هنر نمایی می کنند و برای رسیدن به رکورد های بالا بهینه سازی سازه ها مطرح می گردد .

۳- ارزان بودن ماکارونی نسبت به مصالحی چون فولاد و بتن .

اهداف کلی طرح :

۱- این طرح در وهله اول به عنوان یک طرح آموزشی می تواند بسیار مفید و سودمند برای دانشجویان رشته مهندسی عمران و معماری ایفای نقش

نماید ، زیرا این امکان را به دانشجویان می دهد که ، با استفاده از مصالح ارزان ، سبک و قابل دسترس (ماکارونی به جای بتن و فولاد) دست به طراحی و ساخت سازه های مختلف زده و با این کار کلیه دروس فراگرفته در رشته سازه را به عمل تجربه نمایند .

۲- دانشجویان می بایست با استفاده از مسائل تئوریک فرا گرفته در دروس مقاومت مصالح و آزمایشگاه های مربوط به آن تلاش نمایند تا خصوصیات عنصر سازه ای جدید را کشف نمایند .

۳- دانشجویان می بایست با استفاده از تحلیل سازه ها و با بکارگیری نرم افزار های کامپیوتری به طراحی و آنالیز سازه مورد نظر بپردازند.

۴- طراحی و ساخت یک سازه بهینه که تحت عنوان بهینه سازی سازه ها مطرح است .

معرفی انواع مختلف سازه های ماکارونی :



سازه های فشاری :

نوعی پل با دهانه کوتاه ، که اکثر اعضای آن در فشار می باشند . از مزیت های

این رشته از مسابقات طراحی اعضای فشاری و بررسی پدیده کمانش در آنها

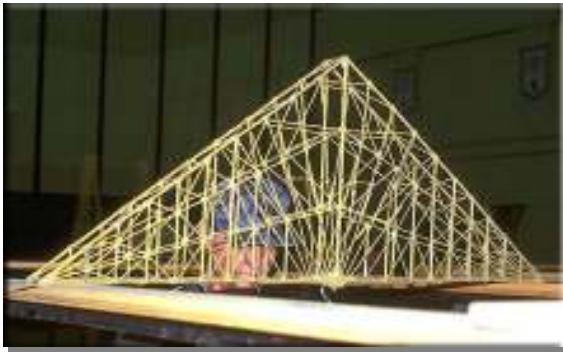
می باشد .



2 Tower Crain -

در این نوع از سازه های ماکارونی ، هدف طراحی جرثقیلهایی است که بر روی برجهای بلند به کار گرفته می شوند .

این سازه ها باید قادر باشند با داشتن ارتفاع معین شعاع خاصی را تحت



پوشش قرار دهند .

۳- پل با بار متمرکز :

این سازه از به هم پیوستن دو خرپای دوبعدی به وجود می آید و بارگذاری از

وسط دهانه صورت می گیرد .

این نوع پل هر سه نوع عضو فشاری ، کششی و خمشی را دارا می باشد .

– پل با بار گسترده 4

پل به شکل ظاهری خرابا می باشد ، که بارگذاری به صورت گسترده و یکنواخت در تمام طول دهانه صورت می گیرد . در عمل می توان چنین فرض کرد که تمام وسایل نقلیه به دلیل ترافیک به صورت ثابت بر روی پل قرار گرفته اند .



پل با بار متحرک :

این نوع از سازه ماکارونی در واقع پیشرفته ترین و کامل ترین حالت از سازه ها می باشد ، که در آن طراحان اقدام به طراحی یک پل واقعی می کنند . بار قرار گرفته بر روی پل به صورت متحرک می باشد ، که این امر با عبور دادن یک وسیله نقلیه کوچک با سرعت معین ، که بر روی آن وزنه قرار داده می شود ، صورت می گیرد .



آئین نامه سازه های فشاری:

سازه های فشاری :

این نوع از سازه ها در واقع نوعی پل با دهانه کوتاه هستند ، با این تفاوت که اکثر اعضای سازه نیروی فشاری را تحمل می کنند . هدف از طراحی این سازه ها رسیدن به بالاترین بار تحمل شده در قبال کمترین وزن سازه می باشد. هر گروه تنها قادر به ساخت یک سازه می باشد. هر گونه کوتاهی و قصور در مورد نحوه چسباندن اعضا به یکدیگر بر عهده خود شرکت کنندگان می باشد .

نوع مصالح :

تمام گروه های شرکت کننده ملزم به استفاده از یک نوع ماکارونی، با مقطع دایره ای، به قطر خارجی حداکثر ۴ میلی متر می باشند ، که نوع و مارک شرکت تولید کننده متعاقبا اعلام خواهد شد. همچنین چسب به کار رفته در سازه می تواند از سه نوع چسب :

۱. حرارتی

۲. Epoxy (دوقلو)

۳. Supper glow (قطره ای) باشد.

ابعاد :

۱. حداقل دهانه پل برابر ۱۵ سانتی متر می باشد.
۲. عرض عرشه پل حداقل برابر ۱۰ سانتی متر می باشد و سطح زیرین عرشه پل باید حداقل ۷/۵ سانتی متر بالاتر از سطح زمین باشد.
۳. طول پل بین ۱۵ تا ۴۵ سانتی متر و عرض آن بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر باشد.
۴. حداقل ارتفاع تراز بالای عرشه پل تا سطح زمین ۸/۷۵ سانتی متر می باشد.

قوانین :

۱. حداکثر تعداد اعضای گروه ۳ نفر می باشد.
۲. هرگونه تغییر در جنس ماکارونی از قبیل (پرکردن ماکارونی با چسب یا مواد دیگر ، حرارت دادن ماکارونی و غیره) پذیرفته نخواهد شد. همچنین شرکت کنندگان فقط از چسب در محل اتصالات می توانند استفاده نمایند.
۳. بریدن ، قطع کردن و شکستن ماکارونی قانونی می باشد.
۴. حداکثر وزن پل ۴۵۰ گرم می باشد.
۵. شرکت کنندگان حداکثر مجاز به چسباندن ۲ رشته ماکارونی به یکدیگر و تشکیل پروفیل جدید هستند.
۶. به کار بردن هر ماده دیگری به غیر از ماکارونی و چسب مجاز نمی باشد.
۷. شرکت کنندگان قادر هستند از دیگر منابع برای کمک در طراحی سازه بهینه کمک بگیرند.
۸. قبل از بارگذاری تمام سازه ها چه از نظر نوع مصالح و چه از نظر ابعاد مورد بازبینی قرار می گیرند و هرگونه تخلف از قوانین به معنای عدم پذیرفته شدن سازه در مسابقات می باشد.

نحوه بارگذاری سازه ها :

۱. پل ها روی سطوح صافی قرار می گیرند.
۲. یک صفحه فلزی یا چوبی به ابعاد ۱۰ در ۱۵ سانتی متر روی عرشه پل قرار می گیرد.
۳. بار به صورت مداوم روی صفحه فلزی یا چوبی که روی عرشه پل قرار دارد، اضافه می گردد، تا آنجا که پل بدون هرگونه شکستگی در کل یا قسمتی از آن قادر به تحمل بار باشد . همچنین در هنگام بارگذاری حداکثر خیز قابل قبول برای پل ۲ سانتی متر می باشد.

عوامل موثر در گزینش بهترین سازه:

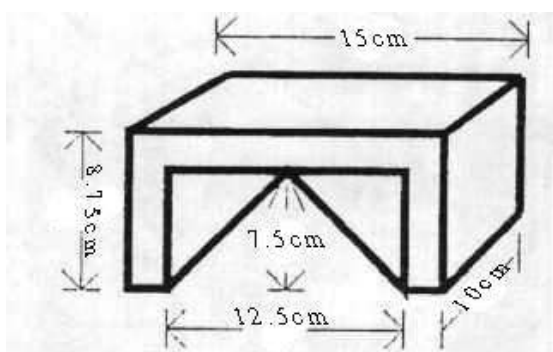
۱. کارآمدی سازه:

حداکثر نسبت بار تحمل شده به وزن سازه.

۲. ارائه مقاله:

ارائه مقاله در مورد چگونگی طراحی ، بهینه سازی و ساخت سازه فشاری توسط نرم افزار (power point) .

۳. زیبایی طرح ارائه شده.



• در شکل بالا حداقل ابعاد نشان داده شده است .

چگونه شروع کنیم؟

برای وارد شدن به این رشته شما باید دارای خصوصیات اخلاقی چون کنجکاوی ، خلاقیت ، صبر ، همت و تلاش فراوانی باشید . این خصوصیات به این علت مطرح گردید که در ساخت و طراحی یک سازه موفق علاوه بر آگاهی از علوم مهندسی به این ویژگی ها نیازمند هستید . چرا که ممکن در طراحی و ساخت یک سازه شما روز ها و هفته ها تلاش نمایید ،

ولی در نهایت به دلیل یک اشتباه کوچک در طراحی یا ساخت ، سازه شما به حداقل رکورد مورد نظر نرسد .

هیجان انگیزترین بخش کار شما مربوط به زمان بارگذاری سازه می باشد ، که سازه ای که مدت زیادی برای طراحی و ساخت آن صرف کرده اید در نهایت در جلوی چشمان شما منهدم می گردد ، ولی آیا رکورد مورد نظر بدست می آید یا خیر ؟

بطور خلاصه برای ساخت یک سازه شما باید مراحل زیر را در پیش گیرید :

۱- کشف خصوصیات عنصر سازه ای جدید با انجام آزمایش های ساده ولی دقیق . این مرحله شامل آزمایشهایی برای رسیدن به خصوصیات چون حداکثر تنش کششی ، حداکثر تنش فشاری ، مدول الاستیسیته، حداکثر بار بحرانی در کمانش و غیره می باشد .

۲- کار بر روی خصوصیات عنصر سازه ای جدید (ماکارونی) و دست یافتن به نقاط ضعف و یا قدرت آن .

۳- آشنایی با یک نرم افزار رایانه ای برای تحلیل و طراحی سازه . (بطور مثال : SAP 2000)

۴- تحلیل سازه های ساخته شده در گذشته و رسیدن به نقاط ضعف و یا قدرت آنها .

۵- طراحی سازه با توجه به اطلاعات بدست آمده.

۶- تلاش برای رسیدن به بهینه ترین طرح (بهینه سازی) .

۷- ساخت سازه توسط ماکارونی و چسب .

تکنیک های ساخت سازه ماکارونی :

ماکارونی :

این عنصر سازه ای در برابر کشش و فشار (اگر طول آن کوتاه باشد و دچار

کمانش نگردد) مقاومتی خوبی از خود نشان می دهد ، ولی مقاومت آن در

برابر خمش بسیار کم است . به همین علت باید تا حد امکان سعی نمود ، تا

سازه ها به گونه ای طرح شوند که اعضای آن کمترین خمش ممکن را تحمل

نمایند .

در واقع تابع هدف در بهینه سازی سازه خمش و وزن سازه می باشد . یعنی

سازه ها باید به گونه ای طرح شوند ، که کمترین خمش در آنها به وجود آید و

در عین حال با کمترین وزن بیشترین مقاومت را از خود نشان دهند .

یک نکته مهم در مورد سازه های ساخته شده توسط ماکارونی این است ، که

در هنگام ساخت و یا بعد از آن نباید در مکانی که در آن رطوبت و گرمای هوا

بالا است قرار گیرد ، زیرا در این صورت ماکارونی ترک می خورد .

چسب :

برای ایجاد اتصالات در اعضا ، آنها را به صورت سر به سر قرار داده و سپس

در محل گره ها از چسب استفاده نماییم .

۱- اتصال مفصلی :

برای به وجود آوردن چنین اتصالی باید از چسب حرارتی (چسب تفنگی) استفاده نمود . زیرا این چسب علاوه بر چسباندن اعضاء به یکدیگر ، آنقدر انعطاف پذیر است ، که به اعضاء این اجازه را می دهد تا در محل گره ها تا اندازه ای دوران نمایند .

۲- اتصال صلب :

برای ایجاد اتصالات صلب می توان از دو چسب :

• دوقلو (EPOXY)

• قطره ای (SUPPER GLUE)

اگر از چسب دوقلو استفاده می کنید ، این چسب این قابلیت را دارد ، که فضای خالی بین اعضاء در محل گره ها را پر نموده و نیازی نیست که شما ماکارونی ها را تراش داده و در کنار هم قرار دهید . اما عیب این چسب این است ، که وزن تمام شده سازه بالا می رود.

ولی چنانچه از چسب قطره ای استفاده می کنید ، اعضاء در محل گره ها باید



تراش مناسب داده شوند ، تا سطح تماس افزایش یابد ، چراکه اصولاً این چسب فضاپرکن نمی باشد و فقط در سطوحی که اعضاء تماس مستقیم با هم دارند اتصال ایجاد می نماید . ولی در مقابل ، اگر از این چسب استفاده نمایید ، وزن تمام شده سازه کمتر خواهد شد .

چگونگی ساخت :

بعد از آنکه طراحی نهایی را انجام دادید ، می توانید برای ساخت ، طرح نهایی را در ابعاد واقعی بر روی یک کاغذ پوستی بکشید و سپس کاغذ را توسط چسب شیشه ای به یک سطح شیشه ای صاف بچسبانید . سپس اعضاء را طبق نقشه از ماکارونی تولید کرده و در روی نقشه روی خط مربوط به خود بگذارید و برای جلوگیری از لغزیدن ماکارونی می توانید از خمیر بازی برای محکم کردن عضو بر روی کاغذ پوستی استفاده نمایید . سپس در محل

گره ها از چسب استفاده نمایید . بدین ترتیب می توانید ، آن قسمتهایی از سازه را که به صورت صفحه ای هستند ، را با دقت بالایی تولید نمایید . بعد از آنکه قسمت های صفحه ای را بدین روش تولید کردید ، این قسمت ها را با دقت زیاد به هم متصل نمایید ، تا سازه نهایی آماده گردد .



چگونه رکورد را پیش بینی نماییم ؟

ابتدا باید با آزمایش های ساده و ابتکاری حداکثر مقاومت کششی ، مقاومت فشاری (برای طول مشخص) ، مقاومت خمشی ، مقاومت برشی را برای ماکارونی مورد استفاده بدست آوریم ، سپس سازه مورد نظر خود را تحت حداکثر بار پیش بینی شده تحلیل کنیم ، اگر نیروهای کششی ، فشاری ، خمشی و برشی ناشی از تحلیل از مقاومت های بدست آمده در آزمایش بیشتر باشد ، آن سازه فرو خواهد ریخت .

تحلیل را برای بارهای مختلف انجام می دهیم ، آن باری که نیروهای بدست آمده از آن در اعضاء ناشی از تحلیل ، بیشترین نزدیکی را به حداکثر مقاومت های بدست آمده از آزمایش داشته باشد ، رکورد تئوریک خواهد بود .

به علت وجود خطا در ساخت و یا دیگر خطاهای ممکن باید رکورد تئوریک بدست آمده را در یک ضریب اطمینان (مثلا 75. - با توجه به نظر طراح) ضرب کرد ، تا رکورد عملی بدست آید با این کار شما می توانید قبل از اینکه سازه مورد نظر را بارگذاری کنید ، حداکثر رکورد آن را حدس بزنید .

چگونه سازه ماکارونی را بهینه کنیم ؟

برای بهینه کردن سازه باید یک تابع هدف تعریف کنیم .

تابع هدف در مورد سازه های ماکارونی دو چیز است :

۱- وزن سازه .

۲- خمش موجود در اعضاء.

سازه مورد نظر را باید طوری طراحی نماییم ، که در قبال کمترین وزن بیشترین رکورد را بدست آوریم .

همچنین سازه باید به گونه ای طراحی گردد ، که خمش موجود در اعضای آن به حداقل ممکن برسد . چراکه همانطور که گفته شد ، ماکارونی در برابر خمش بسیار ضعیف می باشد .

برای اینکه خمش موجود در اعضاء را به حداقل برسانیم باید از روش تخم مرغ استفاده نماییم . در تخم مرغ وقتی آن را از بالا و پایین فشار می دهیم نمی شکند . علت این امر این است ، که نیروی فشاری وارد به خاطر انحنای موجود در تخم مرغ ، قسمت اعظم آن به صورت فشار انتقال پیدا می کند و قسمت کمی از آن تبدیل به خمش می شود . که همین اصل در واقعیت باعث بوجود آمدن پل های قوسی شده است .

از آنجا که تخم مرغ نیز مانند ماکارونی یک جسم ترد است، بنابراین می توان با بوجود آوردن همین حالت در ماکارونی از بوجود آمدن خمش تا حد امکان در آن جلوگیری کرد.

از طرف دیگر سازه باید به گونه ای طراحی گردد ، که تقریباً تمام اعضای اصلی با تمام ظرفیت خود کار کنند . یعنی اینکه در هنگام شکست سازه تمام اعضای اصلی به حداکثر مقاومت خود رسیده باشند و تقریباً خراب شدن سازه در اثر شکست همزمان تمام اعضای اصلی صورت گیرد . در این صورت می توان گفت که از تمام اعضاء به نحو احسن استفاده شده است .