

«به نام نردان پاک»

«اصول طراحی و ساخت سازه های ماکارونی»



تیم شبیه سازی سازه آریانا
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تهیه و تنظیم:
حمید محمدی گرفمی

پاییز ۱۳۸۹

پیشگفتار

با توجه به توسعه و فراگیر شدن مقوله شبیه سازی سازه ها و به خصوص شبیه سازی سازه ها با ماکارونی در سال های اخیر و نقش موثر آن در افزایش یادگیری و رشد استعدادها و خلاقیت های جوانان علاقه مند ، بر آن شدیم تا مجموعه حاضر را تحت عنوان “ اصول طراحی و ساخت سازه های ماکارونی ” گردآوری نماییم. مطالعه مجموعه پیش رو برای عزیزانی که علاقه مند به آشنایی با فرآیند شبیه سازی سازه ها با ماکارونی می باشند، در ابتدای امر توصیه می گردد. امید است مورد عنایت علم پژوهان ارجمند قرار گیرد.

پیشاپیش از مهندسان و دوستان گرامی که با انتقادات و پیشنهادات ارزنده خود ما را در ارائه مجموعه ای کامل تر و بی نقص تر یاری می رسانند ، کمال تقدیر و تشکر به عمل می آید.

حمید محمدی گرفمی

hamid_garfamy@yahoo.com

پاییز ۱۳۸۹

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

- ۱ معرفی سازه های ماکارونی
- ۲ کاربرد عملی سازه های ماکارونی
- ۴ انواع سازه ها
- ۵ کاربرد سازه های سبک
- ۶ کاربرد سازه های سنگین
- ۷ هدف استفاده از ماکارونی به عنوان عنصر سازه ای
- ۸ اهداف کلی طرح
- ۹ معرفی انواع مختلف سازه های ماکارونی
- ۱۰ - سازه های فشاری
- ۱۱ - جرثقیل برجی
- ۱۲ - پل با بار متمرکز
- ۱۴ - پل با بار گسترده
- ۱۵ - پل با بار متمرکز متحرک
- ۱۶ - سازه های سبک

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۱۷ | - سازه های هدفمند |
| ۱۸ | - سازه محافظ تخم مرغ |
| ۱۹ | چگونه شروع کنیم؟ |
| ۲۲ | تکنیک های ساخت سازه های ماکارونی |
| ۲۵ | وسایل مورد نیاز جهت ساخت |
| ۲۶ | چگونگی ساخت |
| ۲۷ | نحوه اتصال دو صفحه خرپا |
| ۲۹ | چگونه رکورد را پیش بینی نماییم؟ |
| ۳۰ | چگونه سازه ماکارونی را بهینه کنیم؟ |
| ۳۱ | - راهکار حذف خمش |
| ۳۳ | انواع چسب ها و نحوه استفاده آن |
| ۳۴ | - چسب حرارتی |
| ۳۵ | - چسب دوقلو |
| ۳۶ | - چسب اسپره ای |

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ۳۷ | - چسب قطره ای |
| ۳۸ | نکاتی پیرامون استفاده از چسب ها |
| ۳۹ | انواع نیروها |
| ۴۱ | آزمایشات ابداعی جهت دست یافتن به بعضی از خصوصیات ماکارونی |
| ۴۲ | - آزمایش تعیین حداکثر مقاومت کششی |
| ۴۴ | - آزمایش تعیین حداکثر مقاومت فشاری |
| ۴۵ | - آزمایش تعیین حداکثر مقاومت خمشی |
| ۴۶ | - آزمایش تعیین مدول الاستیسیته |

معرفی سازه های 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 نسبت به سازه های واقعی در مقیاس کوچکتر 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، کاراتر خواهد بود . پل (تحت بارگذاری یکنواخت ، متمرکز و متمرکز متحرک) ، Towercrain (جرثقیل برجی) ، انواع قاب های ساختمانی و ستون های فشاری از جمله رایج ترین سازه های ماکارونی می باشند.

اینجا یک سوال ممکن است مطرح گردد ؛ آیا جنس ماکارونی در دست یافتن به رکوردهای بالا موثر است ؟

معرفی سازه های ماکارونی

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 رکوردهای بالا می باشد .

طراحی و ساخت پل و ستون های فشاری رایج ترین رشته های مسابقات سازه های ماکارونی می باشند . بطور مثال طراحی و ساخت پل خرپایی با طول دهانه یک متر و حداکثر ارتفاع نیم متر تنها با استفاده از ۷۵۰ گرم ماکارونی (معادل یک بسته ماکارونی) که می تواند وزن قابل توجهی را تحمل نماید. پل روی دو تکیه گاه که از یکدیگر یک متر فاصله دارند قرار می گیرد . تکیه گاه ها فقط قادر به وارد کردن عکس العمل عمودی می باشند و هیچ عکس العمل افقی در تکیه گاه ها بر پل وارد نمی شود .

کاربرد عملی سازه های ماکارونی

ماکارونی ماده ای است که در فشار و کشش متفاوت عمل می کند، یعنی مانند فولاد در کشش بسیار قوی می باشد و در فشار مانند بتن نسبتاً خوب مقاومت می کند. ماکارونی از لحاظ مقاومتی تقریباً ۱/۲۰۰ فولاد یا بتن عمل می کند که می توان از آن در انجام آزمایشات اولیه استفاده کرد. بدین صورت که طرح آماده شده را توسط ماکارونی ساخته و مورد آزمایش قرار می دهیم و مشکلات طرح و نقاط ضعف را شناسایی می کنیم. همچنین از این سازه ها جهت بهینه کردن مقاطع و اتصالات نیز می توان استفاده نمود.

انواع سازه ها

(۱) سازه های سبک

(۲) سازه های سنگین

در ادامه کاربرد هریک از این سازه ها را به اختصار بیان می کنیم.

کاربرد سازه های سبک

در طرح های کلان اجرایی ، صرفه جویی اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. به جهت استفاده از مواد گران قیمت (فولاد و بتن) در ساخت پل ها، باید این نکته را مورد توجه قرار داد که کاهش مصالح مصرفی باعث کاهش بسیار زیاد قیمت تمام شده می شود. مثلاً اگر ۱۵٪ از وزن سازه کم شود، این میزان کاهش را می توان در مورد هزینه ها نیز برآورد کرد و در یک پروژه که در حد میلیاردی هزینه دارد ۱۵٪ صرفه جویی بسیار قابل توجه می باشد.

کاربرد سازه های سنگین

در پل های با دهانه زیاد که باید تاثیر بارهای مختلف بررسی شوند و پل باید از ظرفیت باربری نسبتاً بالایی برخوردار باشد، می توان از سازه های سنگین استفاده کرد که برای این نوع پل ها نیز طرح ها باید بهینه شوند.

به غیر از اعضاء سازه، اتصالات نیز بسیار مهم می باشند که باید آنها نیز به دقت طراحی گردند. باید سعی شود این اتصالات حداقل شوند. به این دلیل که یکی از نقاط ضعف سازه ، اتصالات است و بیشترین خطاهای ساخت در این نقاط ایجاد می شوند. همچنین طراحی اتصالات باید با مقاومت بیشتری انجام شود که با این کار وزن سازه افزایش می یابد.

هدف استفاده از ماکارونی به عنوان عنصر سازه ای

۱- ماکارونی بر خلاف فولاد و بتن عنصر سازه ای ناشناخته ای می باشد. این بدان معناست که خصوصیات مکانیکی ماکارونی شامل حداکثر مقاومت کششی، حداکثر مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته ، نحوه کمانش ماکارونی و دیگر خصوصیات که جهت طراحی سازه مورد نیاز است ، ناشناخته می باشد . راه شناخت این ویژگی ها و به دست آوردن مقادیر آنها، انجام آزمایش های دقیق می باشد.

۲- ماکارونی برخلاف بتن و فولاد دارای ضعف های زیادی می باشد . این ضعف ها کار را برای طراح مشکل تر می کند و اینجاست که ابداعات و خلاقیت هنر نمایی می کند .

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

اهداف کلی طرح

- ۱- این طرح می تواند به عنوان یک طرح آموزشی برای دانشجویان رشته مهندسی عمران ایفای نقش نماید ، زیرا این امکان را به دانشجویان می دهد تا 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 زمینه 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 تحلیل سازه ها و به کارگیری نرم افزارهای کامپیوتری به آنالیز و در نهایت طراحی 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

۱- سازه های فشاری

۲- Tower Crain (جرثقیل برجی)

۳- پل با بار متمرکز

۴- پل با بار گسترده

۵- پل با بار متمرکز متحرک

۶- سازه های سبک

۷- سازه هدفمند

۸- سازه محافظ تخم مرغ



۱- 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 آن ها می باشد . این نوع پل هر سه نوع عضو فشاری ، کششی و خمشی را دارا می باشد. هدف از طراحی این سازه ها رسیدن به بالاترین بار تحمل شده در قبال کمترین وزن سازه می باشد.



Tower Crain – ۲

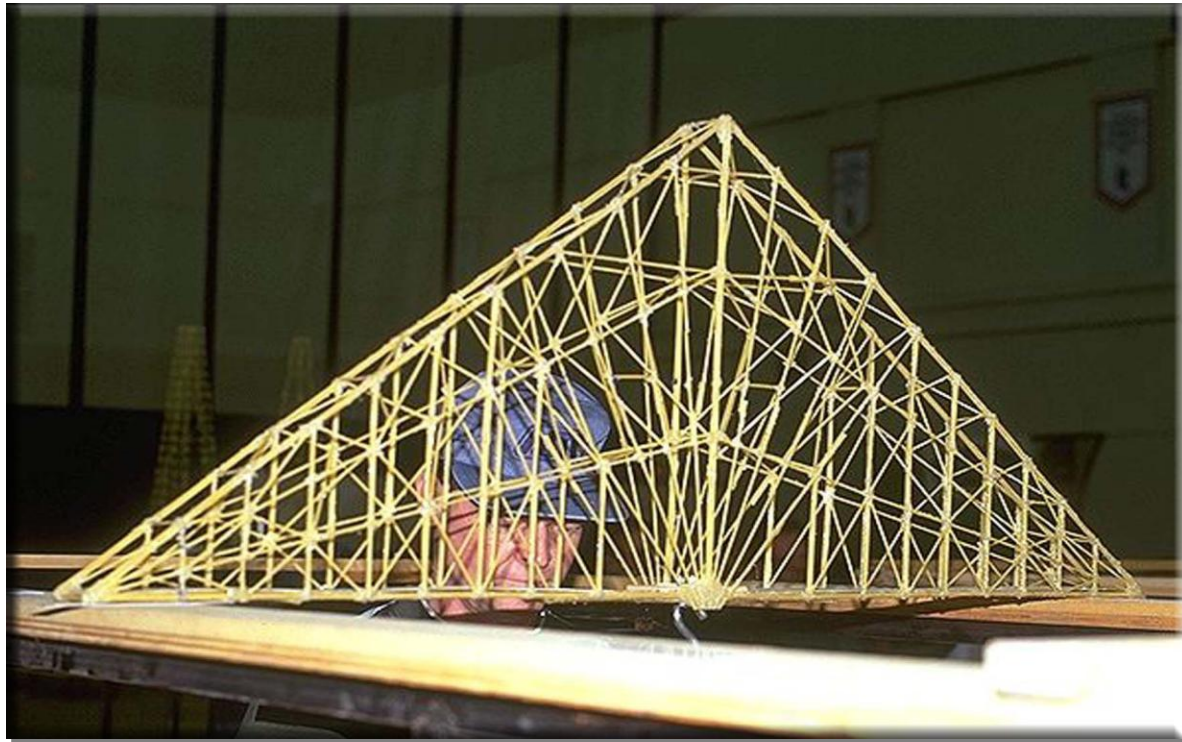
«جرثقیل برجی»

در این نوع از سازه های ماکارونی ، هدف طراحی جرثقیل هایی 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.



۳- پل با بار متمرکز

در این نوع سازه ها بار به صورت نقطه ای به گره وسط وارد می شود. از لحاظ رکوردگیری در این رشته ، دو نوع سازه معرفی می گردد:

(الف) سازه سنگین : رکورد محاسبه شده بر اساس وزن تحمل شده تقسیم بر وزن سازه (ضریب کارایی) می باشد.

(ب) سازه آزاد : رکوردگیری فقط بر اساس وزن تحمل شده می باشد.



نمونه ای از سازه های آزاد



نمونه ای از سازه های سنگین

۴- پل با بار گسترده

پل به شکل ظاهری خریا 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.



۵- پل با بار متمرکز متحرک

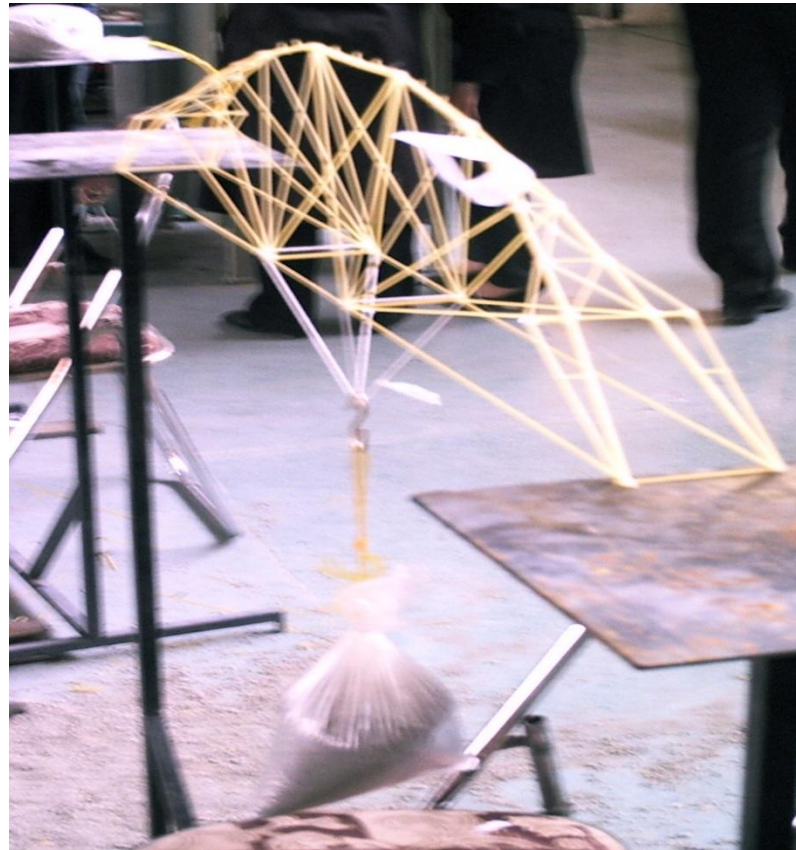
این نوع از سازه ماکارونی در واقع پیشرفته ترین و کامل ترین حالت از سازه ها می باشد ، که در آن طراحان اقدام به طراحی یک پل واقعی می کنند.

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.



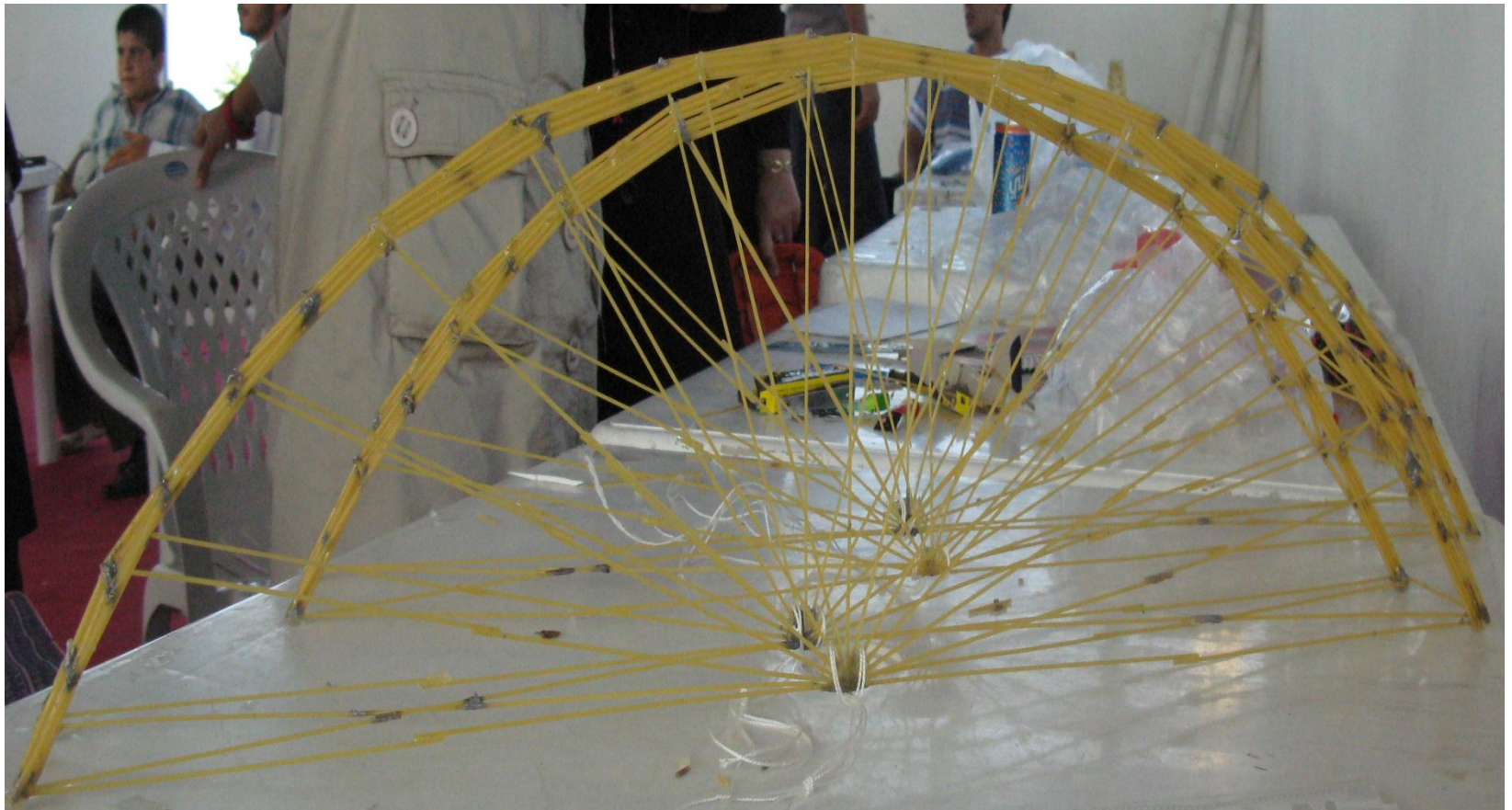
۶- سازه های سبک:

این نوع سازه باید وزن مشخصی را در مدت زمان معینی تحمل نماید. به عنوان مثال بسته به نوع آیین نامه، وزنه ۲ یا ۳ کیلوگرمی را به مدت ۳ یا ۵ دقیقه تحمل نماید.



۷- سازه های هدفمند:

این نوع سازه باید وزنه ۲۵ کیلوگرمی را به مدت ۱ دقیقه تحمل نماید.



۸- سازه محافظ تخم مرغ:

این نوع سازه باید به صورت پوسته ای طراحی شده و از شکستن تخم مرغ که از ارتفاع مشخص پرتاب می شود، جلوگیری کند. به عبارت دیگر این سازه باید در مقابل ضربه مقاوم باشد.

چگونه شروع کنیم؟

برای وارد شدن به این رشته شما باید دارای خصوصیات اخلاقی چون کنجکاوی ، خلاقیت ، صبر ، همت و تلاش 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 هم 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؟

ساخت و بهره برداری از سازه های ماکارونی را می توان به **۸ فصل** طبقه بندی کرد که هر یک دارای زیر مجموعه هایی می باشند:

- ۱- مقدمه
- ۲- آیین نامه
- ۳- مواد و مصالح مصرفی
- ۴- تحلیل و طراحی
- ۵- بهینه سازی طرح
- ۶- اصول و روش های ساخت
- ۷- آماده سازی و شرکت در مسابقه
- ۸- بارگذاری

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 آزمایش هایی برای رسیدن به خصوصیات چو ن حداکثر مقاومت کششی ، حداکثر مقاومت 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 قوت 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 قوت آن ها.
- ۵- طراحی سازه با توجه به اطلاعات به دست 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 گیرند ، زیرا در این صورت ماکارونی ترک می خورد .

تکنیک های ساخت سازه ماکارونی

چسب :

برای ایجاد اتصالات در اعضاء ، آنها را به صورت سر به سر قرار داده و سپس در محل گره ها از چسب استفاده می نماییم.

انواع اتصالات :

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 سه چسب زیر استفاده نمود :

- دوقلو (EPOXY)

- قطره ای (SUPPER GLUE)

- ۱ ، ۲ ، ۳

تکنیک های ساخت سازه ماکارونی

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.



اتصال صلب توسط چسب قطره ای

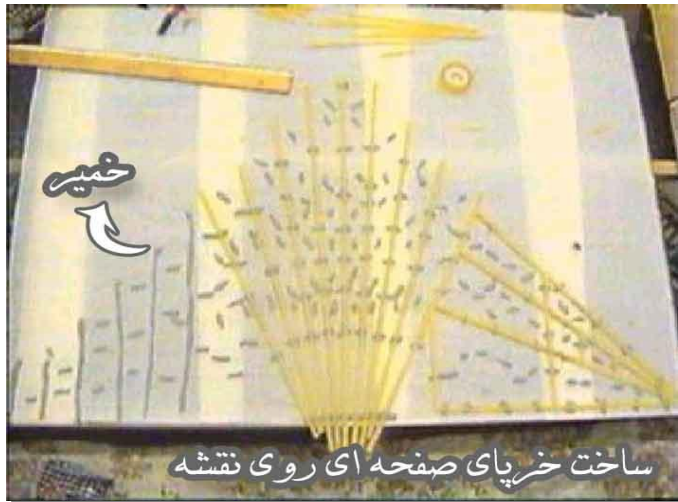
ولی چنانچه از چسب قطره ای استفاده می کنید ، اعضاء در محل گره ها باید تراش مناسب داده شوند ، تا سطح تماس افزایش یابد ، چراکه اصولاً این چسب فضا پرکن نمی باشد و فقط در سطوحی که اعضاء تماس مستقیم با هم دارند اتصال ایجاد می نماید . ولی در مقابل اگر از این چسب استفاده نمایید ، وزن تمام شده سازه کمتر خواهد شد . این مطلب در مورد استفاده از چسب حرارتی هم صدق می کند.

وسایل مورد نیاز جهت ساخت

- (۱) کاتر یا چاقو
- (۲) چسب (اسپره ای، دوقلو، حرارتی، نواری، کاغذی)
- (۳) سمباتمه (نرم) یا سوهان
- (۴) خط کش
- (۵) گونیا (جهت عمود نمودن صفحات پل و اتصال آنها به یکدیگر)
- (۶) ریسمان
- (۷) ماکارونی
- (۸) شیشه یا طلق
- (۹) پلات

چگونگی ساخت

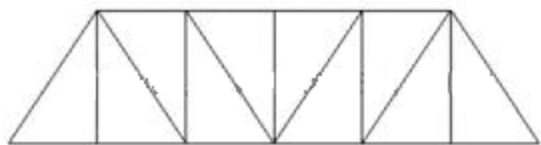
بعد از آنکه طراحی نهایی را انجام دادید ، می توانید برای ساخت ، طرح نهایی را در ابعاد واقعی بکشید و بر روی یک کاغذ پلات بگیرید . سپس کاغذ را توسط چسب شیشه ای به یک سطح شیشه ای صاف بچسبانید . اعضاء را طبق نقشه از ماکارونی تولید کرده و در روی نقشه روی خط مربوط به خود بگذارید . برای جلوگیری از لغزیدن ماکارونی می توانید از خمیربازی یا چسب کاغذی برای محکم کردن عضو بر روی کاغذ استفاده نمایید . سپس در محل گره ها از چسب استفاده نمایید . بدین ترتیب می توانید ، آن قسمت هایی از سازه را که به صورت صفحه ای هستند 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.

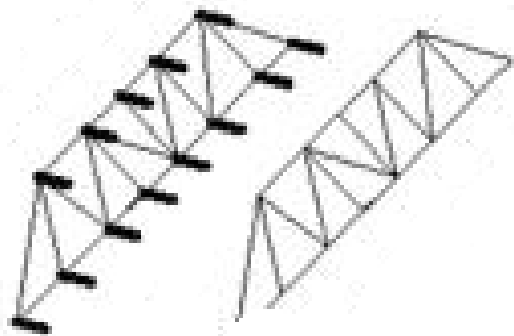
نحوه اتصال دو صفحه خرپا (برپایی خرپا)

در ابتدا فرض می کنیم که شما دو قاب (دو صفحه) را ساخته اید.



نکته اول: باید دو قاب شما مشابه یکدیگر و متقارن باشد. برای این کار می توانید دو قاب را به آرامی روی یکدیگر قرار دهید. اگر ابعاد اضافه و یا کم بود باید قاب را عوض کنید.

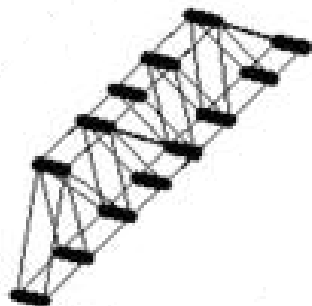
نکته دوم: هیچ وقت در کار کردن سمبل کاری نکنید و اگر دیدید اشتباهی رخ داده حتماً آن را بر طرف کنید. دو نمونه خرپای ساخته شده را روبروی هم قرار دهید. سپس قطعات میانی که از قبل آماده شده اند (مثلاً به طول ۵ سانتیمتر) باید کار گذاشته شوند.



نکته سوم: حتماً باید قطعات هم اندازه باشند. همه قطعات ۵ سانتی متری را به یک طرف پل متصل می کنیم.

نحوه اتصال دو صفحه خرپا (برپایی خرپا)

دقت کنید که قطعات ۵ سانتی متری دقیقاً به صورت **عمودی و صاف** باشند. در مرحله بعد یکی از اعضای گروه ، قابی را که اعضای ۵ سانتی به آن متصل است را صاف و عمود نگه می دارد و سپس نفر دیگر قاب دوم را به قاب اول می چسباند. در ادامه باید محل اتصالات را با چسب محکم کرده و اندکی صبر کنید تا پل استوار شده و جدا نشود.



برای چسب های قطره ای و دو قلو مدت بیشتر ولی برای چسب حرارتی مدت کمتری طول می کشد تا چسب خودش را بگیرد.
در آخر هم می توانید باد بند ها را اضافه کنید.

نکته: برای عمود شدن پل می توانید از وسایل متعدد مانند گونیا استفاده کنید.

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 0.75) با توجه به نظر طراح و مهارت ساخت (مجری) 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 اعضا .

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 . چرا که همانطور که گفته شد ، ماکارونی در برابر خمش بسیار ضعیف می باشد .

راهکار حذف خمش

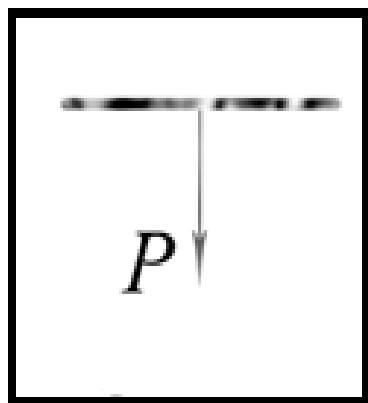
برای اینکه خمش موجود در اعضاء را به حداقل برسانیم باید از روش تخم مرغ استفاده نماییم . در تخم مرغ وقتی آن را از بالا و پایین فشار می دهیم نمی شکنند .

علت این امر این است ، که قسمت اعظم نیروی فشاری وارد، به خاطر انحنای موجود در تخم مرغ 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 .

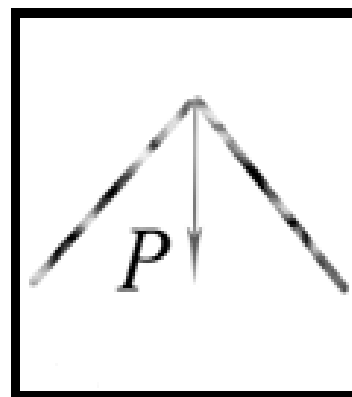
از آنجا که تخم مرغ نیز مانند ماکارونی یک جسم ترد است، بنابراین می توان با بوجود آوردن همین حالت در ماکارونی از بوجود آمدن خمش تا حد امکان در آن جلوگیری کرد.

اگر همانند شکل ۱، نیرو را به اعضاء انتقال دهیم ، قسمت اعظم آن به شکل نیروی فشاری انتقال می یابد و فقط کمی از آن توسط خمش انتقال می یابد ، در حالی که در شکل ۲ ، انتقال تمام نیرو توسط خمش می باشد . بنابراین ، با توجه به توضیحات بالا شکل ۱ مورد تأیید است .

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 ظرفیت تمام اعضاء به نحو احسن استفاده شده است.



شکل ۲



شکل ۱

انواع چسب ها و نحوه استفاده آن

برای ساخت پل از چند نوع چسب بیشتر از همه استفاده می شود.

این چسب ها عبارتند از:

۱- حرارتی

۲- دوقلو

۳- اسپره (۱،۲،۳)

۴- قطره ای

لازم به ذکر است که در آیین نامه مسابقات چسب های مجاز ذکر می شود و شما فقط می توانید از آنها در ساخت پل استفاده کنید.

۱- چسب حرارتی

از لحاظ مقاومت چسب نسبتاً خوبی است اما صلب نیست و مانند یک مفصل عمل می کند. سیستم به کار گیری آن از یک تفنگ و یک تیوب چسب تشکیل شده است. نحوه استفاده از این چسب بسیار ساده می باشد. نکته مهم این که پس از چسب زدن عضو، دستتان را خیس کنید و روی چسب فشار دهید که چسب کاملاً درون فواصل مابین اعضا نفوذ کند و کامل بچسبد. از این چسب در حجم زیاد استفاده نکنید زیرا باعث می شود ماکارونی بر اثر حرارت به صورت خمیر در آید.



نمونه ای از یک سازه ساخته شده با چسب حرارتی

۲- دو قلو

صلبیت بسیار خوبی دارد و گرمای کمتری نسبت به انواع دیگر چسب ایجاد می کند.

-ایجاد اتصال فوق العاده قوی.

-در دو نوع شفاف و رنگی.

-مقاومت حرارتی بالا.

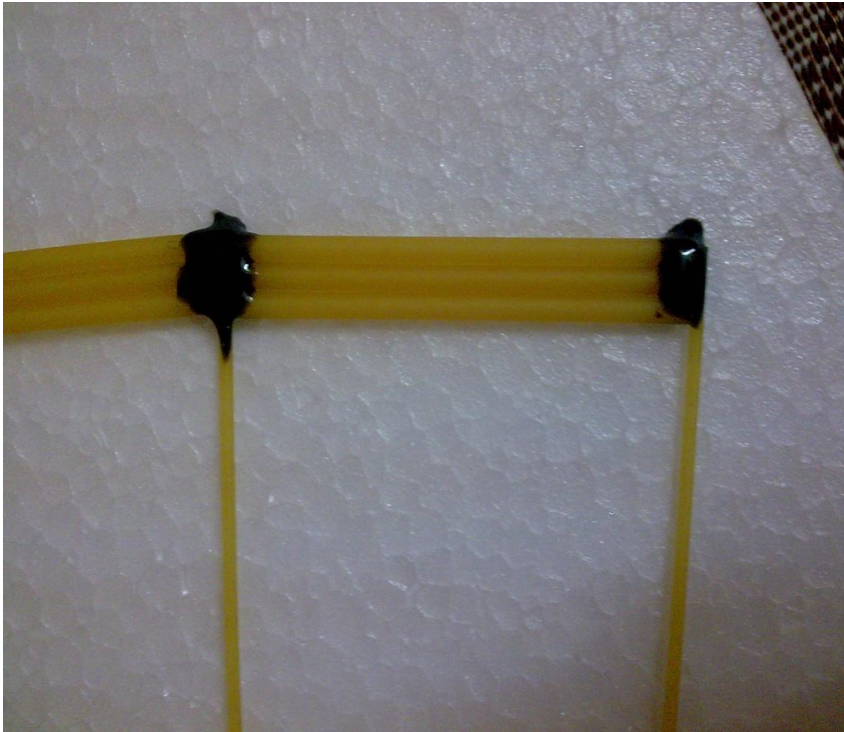
-کاربری آسان با نسبت ترکیب مساوی.

-زمان خشک شدن سریع پنج دقیقه‌ای و

قدرت کافی در زمان بیست دقیقه.

-با رنگ پذیری، سوهان خوری و شکل پذیری

عالی.



۳- اسپره ای

انواع مختلفی دارد: **mitreapel** یا **madwolf**

یک چسب شفاف روان به همراه یک اکتیویتر (اسپره) می باشد. بسیار محکم ، صلب و زودگیر است (کمتر از چند ثانیه). تنها عیب این چسب اسپره یا همان فعال کننده آن می باشد که باعث کاهش مقاومت ماکارونی می شود. پس سعی کنید از اسپره آن خیلی خیلی کم استفاده کنید. همیشه این چسب را همراه خودتان در مسابقات داشته باشید زیرا در صورتی که یکی از اعضا بشکند سریع می توانید از آن برای وصله استفاده کنید. در شکل زیر نمونه ای از یک سازه ساخته شده با چسب اسپره را مشاهده می کنید.



قطره ای

از این چسب می توانید قبل از چسب دوقلو استفاده کنید. زیرا به علت روان بودن و زودگیر بودن ، اعضا را در جای خودشان فیکس می نماید.

- بهترین انتخاب برای اتصال قطعات در چند ثانیه.
- سریع، محکم، مقاوم.



نکاتی پیرامون استفاده از چسب ها

- (۱) چسب زیاد باعث افزایش مقاومت نمی شود.
- (۲) چسب اسپره ای باعث پوکی ماکارونی می شود.
- (۳) از چسب حرارتی در سازه هایی که باید اعضا به صورت مفصلی کار کنند استفاده کنید.

انواع نیروها

انواع پل ها از دو نیروی مهم فشاری و کششی تاثیر می پذیرند:

نیروی فشاری: نیرویی است که موجب فشرده شدن و یا کوتاه شدن چیزی که بر روی آن عمل می کند ، می شود.

نیروی کششی: نیرویی است که سبب افزایش طول و گسترش چیزی که بر روی آن عمل می کند ، می گردد.

در این زمینه می توان از فنر به عنوان یک مثال ساده نام برد. زمانی که آن را روی زمین فشار می دهیم و یا دو انتهای آن را به هم نزدیک می کنیم، در واقع ما آن را متراکم می سازیم. این نیروی تراکم یا فشاری موجب کوتاه شدن طول فنر می شود. و نیز اگر دو سر فنر را از یکدیگر دور سازیم، نیروی کششی ایجادشده در فنر، طول فنر را افزایش می دهد.

انواع نیروها

نیروی فشاری و کششی در همه پل ها وجود دارند و وظیفه طراح پل این است که اجازه ندهد این نیروها موجب خمش و یا گسیختگی گردد. خمش زمانی اتفاق می افتد که نیروی فشاری بر توانایی شیء در مقابله با فشردگی غلبه کند. بهترین روش در موقع رویارویی با این نیروها خنثی سازی، پخش و یا انتقال آنهاست. پخش کردن نیرو یعنی گسترش دادن نیرو به منطقه وسیع تر چنانکه هیچ تک نقطه مجبور به متحمل شدن بخش عمده نیروی متمرکز نباشد. انتقال نیرو به معنی حرکت نیرو از یک منطقه غیر مستحکم به منطقه مستحکم است، ناحیه ای که برای مقابله با نیرو طراحی شده و منظور گردیده است. یک پل قوسی مثال خوبی برای پراکندگی است حال آنکه پل معلق نمونه ای بارز از انتقال نیروست.

آزمایشات ابداعی جهت دست یافتن به بعضی از خصوصیات ماکارونی

(۱) آزمایش تعیین حداکثر مقاومت کششی

(۲) آزمایش تعیین حداکثر مقاومت فشاری

(۳) آزمایش تعیین حداکثر مقاومت خمشی

(۴) آزمایش تعیین مدول الاستیسیته

آزمایش تعیین حداکثر مقاومت کششی

هدف از این آزمایش ، اطلاع از حداکثر مقاومت کششی ماکارونی با قطر معین است . دستگاهی که برای این آزمایش مورد نیاز است ، همانطور که در شکل ۳ می بینید ، از دو قطعه چوب استوانه ای تشکیل شده ، که در سر هر یک از این قطعات یک قلاب فلزی قرار گرفته است . در مرکز هر یک از این قطعات چوبی یک سوراخ به قطر خارجی ماکارونی مورد نظر تعبیه شده ، که ماکارونی از دو سر چسب خورده و در آن سوراخ ها فرو می رود .



آزمایش تعیین حداکثر مقاومت کششی

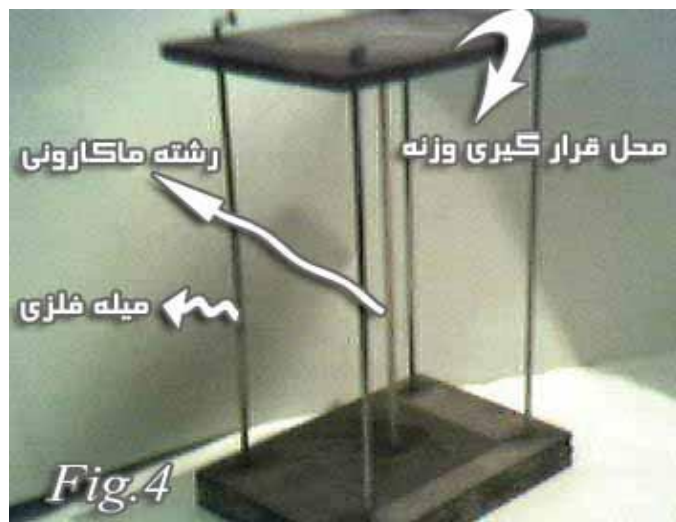
برای بارگذاری ، بدین صورت عمل می کنیم که، یکی از قلاب ها را به یک تکیه گاه ثابت آویزان می کنیم و از قلاب دیگر وزنه ها را آویزان می کنیم . عمل اضافه کردن وزنه باید به صورت تدریجی صورت گیرد ، بعد از گذاشتن هر وزنه حدود ۵ ثانیه باید صبر کرد و سپس وزنه دیگر را قرار داد . این عمل را آنقدر ادامه می دهیم تا رشته ماکارونی گسیخته شود .

نیروی کششی حداکثر برابر است با مقدار وزنه های گذاشته شده ضرب در یک ضریب اطمینان (ضریب کوچکتر از یک ، به طور مثال: 0.9). با تقسیم این مقدار بر مساحت مقطع ماکارونی مورد آزمایش **مقاومت کششی حداکثر** بدست می آید .



آزمایش تعیین حداکثر مقاومت فشاری

هدف از این آزمایش، اطلاع از حداکثر مقاومت فشاری رشته ماکارونی با طول مشخص است. دستگاهی که برای این آزمایش مورد نیاز است، همانطور که در شکل ۴، می بینید از دو صفحه چوبی تشکیل شده است، که می تواند بر روی چهار میله فلزی بالا و پایین رود. در مرکز صفحات چوبی بالا و پایین سوراخ هایی تعبیه شده است که رشته ماکارونی از دو سر چسب خورده و در سوراخ ها به حالت گیردار قرار می گیرد و یا اینکه رشته ماکارونی بدون چسب به صورت دو سر مفصل در سوراخ ها قرار می گیرد. وزنه ها برای بارگذاری روی صفحه چوبی بالایی به تدریج قرار می گیرند تا رشته ماکارونی تحت فشار بشکند. **حداکثر نیروی فشاری** برابر است با وزن قرار گرفته بر روی صفحه بالایی تا لحظه شکستن ماکارونی ضرب در یک ضریب اطمینان. با تقسیم این مقدار بر مساحت مقطع ماکارونی مورد آزمایش **حداکثر مقاومت فشاری ماکارونی** بدست خواهد آمد. حداکثر مقاومت فشاری به قطر ماکارونی و طول آن وابسته است.



آزمایش تعیین حداکثر مقاومت خمشی

هدف از این آزمایش ، اندازه گیری حداکثر خمش قابل تحمل بر اساس قطر و طول ماکارونی می باشد .

در این آزمایش رشته ماکارونی به صورت افقی بر روی تکیه گاه های گیر دار و ساده قرار می گیرد و از وسط تحت بار متمرکز قرار می گیرد . در این آزمایش ، همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است ، بار از وسط دهانه به صورت تدریجی تا لحظه شکست ماکارونی اضافه می گردد . اگر حداکثر بار تحمل شده تا لحظه شکست ماکارونی P باشد ، طبق رابطه زیر حداکثر لنگر خمشی قابل تحمل توسط ماکارونی با طول و قطر معین بدست می آید :

$$M = PL / 8$$



P : حداکثر بار تحمل شده تا لحظه شکست ماکارونی

L : طول ماکارونی

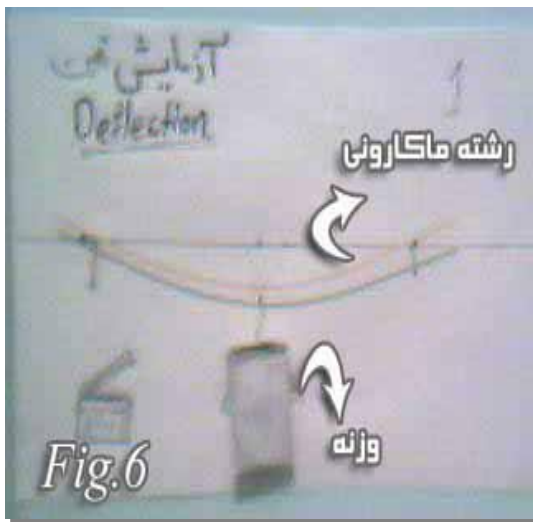
M : حداکثر لنگر خمشی قابل تحمل توسط ماکارونی با طول و قطر معین.

آزمایش تعیین مدول الاستیسیته

هدف از این آزمایش بدست آوردن یک مقدار تقریبی برای ضریب الاستیسیته ماکارونی می باشد . در این آزمایش یک رشته ماکارونی با قطر و طول معین ، بر روی دو تکیه گاه ساده قرار می گیرد . سپس تحت یک بار مشخص که ، از وسط دهانه آویزان می شود ، مقدار تغییر شکل وسط دهانه (Deflection) ، توسط یک خط کش دقیق اندازه گیری می شود .

سپس طبق رابطه زیر که برای تیر دو سر مفصل نوشته می شود مقدار ضریب الاستیسیته (E) تعیین می شود:

$$D = p l^3 / (48 E I)$$



- I : ممان اینرسی ماکارونی که بر اساس قطر ماکارونی تعیین می شود
- P : مقدار بار آویزان شده از وسط دهانه
- L : طول دهانه
- D : میزان تغییر مکان قائم وسط دهانه

شایان ذکر است تعیین مقدار دقیق مدول الاستیسیته کار دشواری می باشد اما از طریق این آزمایش می توان به تقریب مناسبی از مدول الاستیسیته رسید .

« پایان قسمت اول »