

معرفی سازه ماکارونی

سازه های ماکارونی به سازه هایی اطلاق میشود، 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 میشوند و پس از ساخت مورد بارگذاری قرار می گیرد.

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

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 اند تا ذهن خلاق دانشجویان را فعال سازند و از طرحها و پیوهش های آنها در عمل استفاده کنند. طراحی و ساخت پل و ستون های فشاری رایج ترین رشته های این مسابقات می باشند. به طور مثال طراحی و ساخت پل خریایی تنها با استفاده از ۷۵۰ گرم ماکارونی (معادل یک بسته ماکارونی) که میتواند وزن زیادی را تحمل نماید. طول دهانه پل ۱ متر و حداکثر ارتفاع پل نیم متر میباشد. پل روی دو تکیه گاه که از یکدیگر ۱ متر فاصله دارند قرار می گیرد و تکیه گاه ها فقط قادر به وارد کردن عکس العمل عمودی میباشند

وهیچ عکس العمل افقی در تکیه گاه ها بر پل وارد نمی شود. رکورد کسب شده در این رشته (پل خریایی) معادل ۱۷۶ کیلو گرم میباشد، که این رکورد تقریباً ۲۳۰ برابر وزن خود سازه می باشد. همچنین طراحی و ساخت سازه های فشاری که قادر به تحمل بارهایی بیش از نیم تن می باشند، از دیگر نمونه های این سازه ها هستند. ممکن است سوالی که معمولاً مطرح میشود این است که 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 مهمتر از جنس ماکارونی در رسیدن به رکوردهای بالا می باشد.

هدف از استفاده از ماکارونی به عنوان عنصر سازه ای

درواقع ماکارونی برخلاف 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 ی کماتش ماکارونی و دیگر خصوصیات ماکارونی که مورد نیاز برای طراحی و تحلیل سازه می باشند، ناشناخته می باشند و تنها راه بدست آوردن این ویژگی ها ایجاد و ابداع آزمایش های ساده و دقیق می باشد. ماکارونی برخلاف بتن و فولاد دارای ضعف های زیادی می باشد و این ضعف ها کار را برای طراح مشکل تر میکند و این جاست

که ابداعات و خلاقیت هنر نمایی می کنند و برای رسیدن به رکوردهای بالا بهینه سازی سازه ها مطرح میگردد. ارزان بودن ماکارونی نسبت به مصالحی نسبت به فولاد و بتن.

اهداف کلی طرح

این طرح در وهله اول به عنوان یک طرح آموزشی می تواند مفید و سودمند برای دانشجویان رشته مهندسی عمران ایفای نقش نماید، زیرا این امکان را به دانشجویان میدهد که، با استفاده از مصالح ارزان، سبک و قابل دسترس (ماکارونی بجای فولاد و بتن) دست به طراحی و ساخت سازه های مختلف زده و از این رو کلیه دروس فرا گرفته در رشته سازه را به عمل تجربه نمایند. دانشجویان میبایست 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. دانشجویان میبایست با استفاده از تحلیل سازه ها و با به کار گیری نرم افزارهای کامپیوتری به طراحی و آنالیز سازه مورد نظر پردازند. 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

نوعی پل با دهانه کوتاه که اکثر اعضای آن در فشار میباشند. از مزیت های این رشته از مسابقات طراحی اعضای فشاری و بررسی پدیده کمانش در آنها می باشد.



Tower Crain_۲

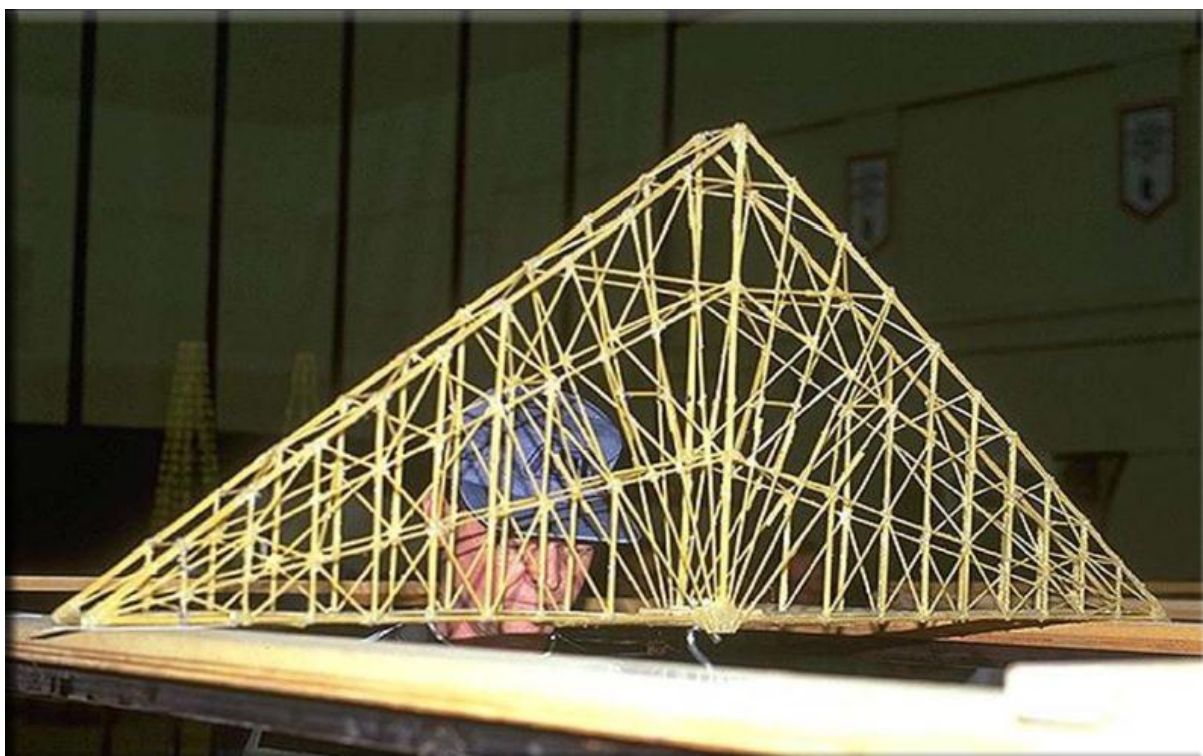
در این نوع از سازه های ماکارونی هدف طراحی جرثقیل هایی و است که بر روی برج های بلند به کار گرفته می شوند.

این سازه ها باید قادر باشند با داشتن ارتفاع معین شعاع خاصی را تحت پوشش قرار دهند.



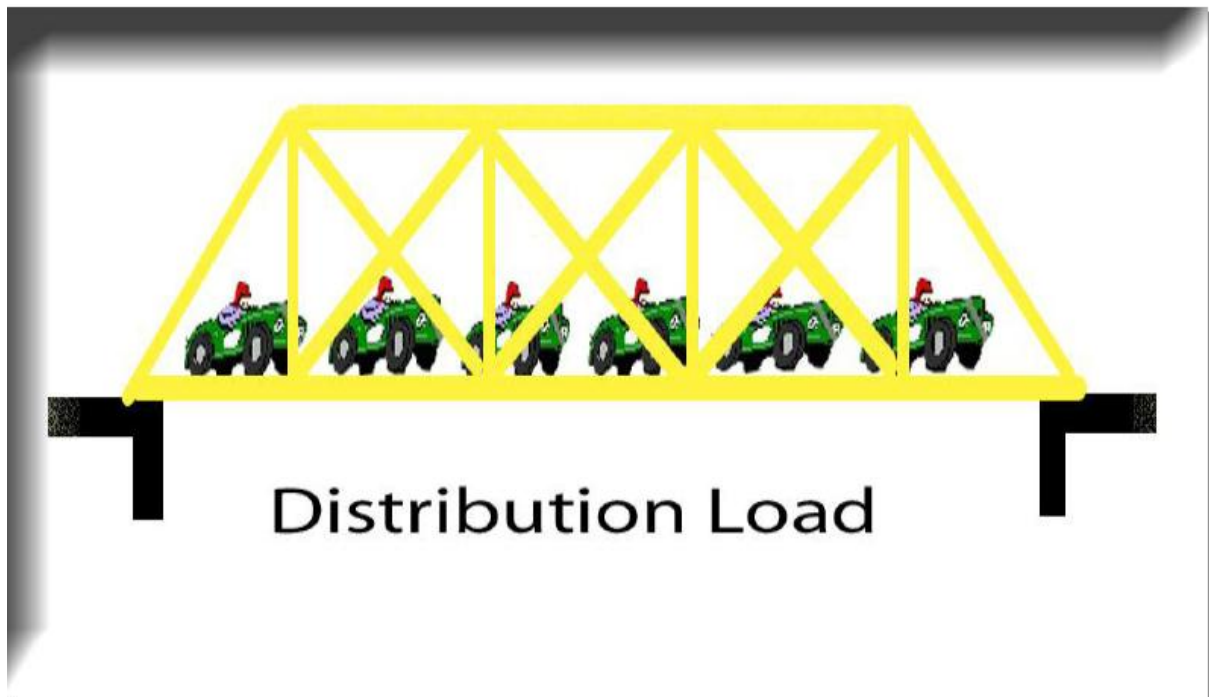
۳_ پل با بار متمرکز:

این سازه با به هم پیوستن دو خرپای دو بعدی به وجود می آید و بارگذاری از وسط دهانه صورت میگیرد. این نوع پل هر سه نوع عضو فشاری، کششی و خمشی را دارا می باشد.



۴ پل با بار گسترده:

پل به شکل ظاهری خریا می باشد، که بارگذاری به صورت گسترده و یکنواخت در تمام طول دهانه صورت میگیرد. 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 متحرک: این نوع 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 تقلیه کوچک ب سرعت معین، که بر روی آن وزنه قرار داده می شود، صورت می

گیرد.



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 ویژگی‌ها نیازمند هستید. چرا که ممکن در طراحی و ساخت یک سازه شما روزها و هفته‌ها تلاش نمایید؛ ولی در نهایت به دلیل یک اشتباه کوچک در طراحی یا ساخت، سازه شما به حداقل رگورد مورد نظر نرسد.

هیجان انگیزترین بخش کار شما مربوط به زمان بارگذاری سازه میباشد ف 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 به دست می آید یا خیر؟

به طور خلاصه برای ساخت یک سازه شما باید مراحل زیر را در پیش بگیرید :

- ۱- کشف خصوصیات عنصر سازه ای جدید با انجام آزمایش های ساده و لی دقیق این مرحله شامل آزمایش هایی برای رسیدن به خصوصیات چون حداکثر تنش کششی ، حداکثر تنش فشاری،مدول الاستیسیته ،حداکثر بار بهر انیدر کمانش و غیره میباشد.
- ۲- کار بر روی خصوصیات عنصر سازه ای جدید (ماکارانی) و دست یافتن به نقاط ضعف و یا قدرت آن .
- ۳- آشنایی با یک نرم افزار رایانه ای برای تحلیل و طراحی سازه . (به طور مثال (SAP ۲۰۰۰ & AUTOCAD
- ۴- تحلیل سازه های ساخته شده در گذشته و رسیدن به نقاط ضعف و یا قدرت آنها .
- ۵- طراحی سازه با توجه به اطلاعات به دست آمده
- ۶- تلاش برای رسیدن به بهینه ترین طرح ها (بهینه سازی)
- ۷- ساخت سازه توسط ماکارونی و چسب.

تکنیک های ساخت سازه ماکارونی

ما در این بخش ابتدا با مواد مورد استفاده و انواع اتصالات آشنا می شویم و سپس نحوه اجرای طرح را بیان می کنیم.

کارونی:

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 (تفنگی) استفاده نمود. زیرا این چسب علاوه بر چسباندن اعضا به یکدیگر، آتقدر انعطاف پذیر است که به اعضا 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 نوع چسب استفاده نمود:

دو قلو (EPOXY)

قطره ای (SUPPER GLUE)

اگر از چسب دو قلو استفاده می کنید، این چسب این قابلیت را دارد که فضای خالی بین اعضا 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، اعضا در محل گره ها باید تراش مناسب داده شوند، تا سطح تماس افزایش یابد، چرا که اصولاً این چسب فضا پر کن نمی باشد و فقط در سطوحی که اعضا 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 اجرای طرح

بعد از آن که 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 اعضا 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 کنید.

بدین ترتیب می توانید، آن قسمت هایی 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 کنیم؟

ابتدا باید با آزمایش های ساده و ابتکاری حداکثر مقاومت کششی ، مقاومت فشاری ،مقاومت خمشی،مقاومت برشی را برای ماکارونی مورد استفاده بدست آوریم،سپس سازه مورد نظر خود را تحت حداکثر بار پیش بینی شده تحمل 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 اعضا 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 ۰.۵ 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.

چگونگی سازه ماکارونی را بهینه سازی کنیم؟

برای بهینه کردن سازه باید یک تابع هدف تعریف کنیم. تابع هدف در مورد سازه های ماکارونی دو متغیر دارد:

۱- وزن سازه.

۲- خمش موجود در اعضا.

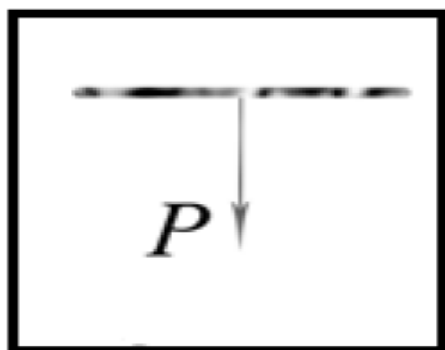
سازه مورد نظر را باید طوری طراحی نماییم که در قبال کمترین وزن بیشترین رکورد را بدست آوریم.

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. برای اینکه خمش موجود در اعضا را به حداقل برسانیم می توانیم از مدل سازه ای 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 میکند و قسمت اعظم آن تبدیل به خمش میشود. کخ همین اصل در واقعیت مبنای طراحی پل های قوسی شده است.

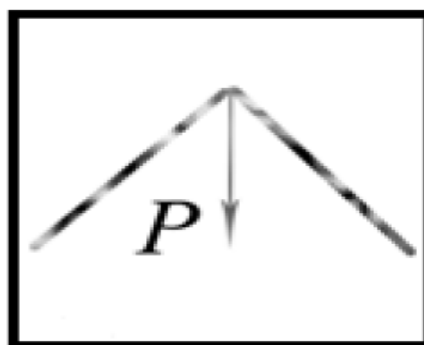
از آنجا که تخم مرغ نیز مانند ماکارونی یک جسم ترد است، بنابراین می توان با وجود آوردن همین حالت در ماکارونی از به وجود آمدن خمش تا حد امکان در آن جلوگیری کرد.

اگر همانند شکل ۱، نیرو را به اعضا 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 تایید 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 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 اعضا به نحو احسن استفاده شده است.



شکل ۲



شکل ۱

آزمایشات ابداعی برای دست یافتن به بعضی از خصوصیات ماکارونی

آزمایش کشش:

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.

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 میکنیم. عمل اضافه کردن وزنه باید به صورت تدریجی صورت گیرد، بعد از گذاشتن هر وزنه حدود ۱۵ ثانیه باید صبر کرد و سپس وزنه دیگر قرار داد. این عمل را آنقدر ادامه می دهیم تا رشته ماکارونی گسیخته شود.

ماکارونی کششی حداکثر برابر است با مقدار وزنه های گذاشته شده ضرب در یک ضریب اطمینان (ضریب کوچکتر از یک، به طور مثال ۰.۹).



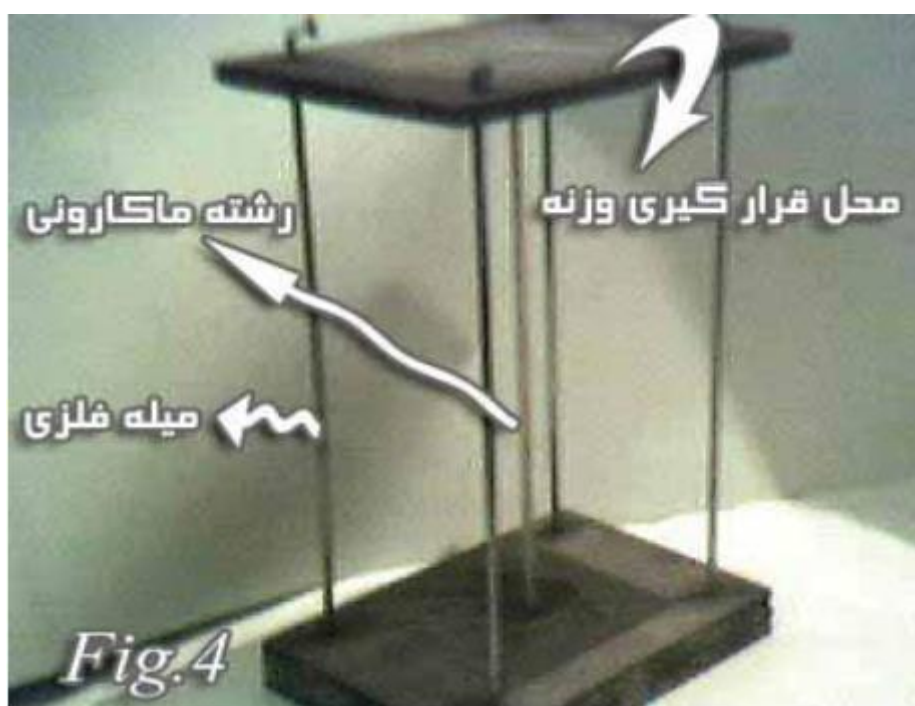
آزمایش فشاری:

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 مقاومت فشاری برابر است با وزن قرار گرفته بر روی صفحه بالایی تا لحظه شکستن ماکارونی ضرب در یک ضریب اطمینان. البته لازم به ذکر است که حداکثر مقاومت فشاری به قطر ماکارونی و طول آن وابسته است.



آزمایش خمش:

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 گیردار و ساده قرار می گیرد و از وسط تحت بار متمرکز قرار می گیرد.

در این آزمون، نشان داده شده است، بار از وسط دهانه به صورت تدریجی تا لحظه شکست ماکارونی اضافه می‌گردد. اگر حداکثر بار تحمل شده تا لحظه شکست ماکارونی P باشد طبق رابطه:

$$M = \frac{PI}{8}$$

حداکثر لنگر خمشی قابل تحمل توسط ماکارونی با طول و قطر معین بدست می‌آید.



آزمایش تعیین ضریب الاستیسیته:

هدف از این آزمایش بدست آوردن یک مقدار تقریبی برای ضریب الاستیسیته ماکارونی می‌باشد. در این آزمایش یک رشته ماکارونی با قطر و طول معین بر روی یک تکیه گاه ساده قرار می‌گیرد.

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.:

$$D = \frac{PL^3}{48EI}$$

مقدار ضریب الاستیسته تعیین می شود.

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 قائم دهانه.

البته تعیین مقدار دقیق ضریب الاستیسته کار دشواری می باشد.

