

گره ها جامد هستند يا مايع؟



رئولوژي



گره ها



نویسندگان: راب گمبل و کرولین مارتین

مترجم: پانید حقیقی

با تشکر از انجمن رتولوژی، م.آ. فردین، و مشاوران آموزشی ما  
ویکتوریا راسل و کلسی بریزلی.



سال انتشار: ۱۴۰۲

v1.1

گره‌ها جامد هستند یا مایع؟  
ما سه حالت اصلی ماده را می‌شناسیم:

گاز



مایع



جامد



مواد جامد شکل خود را حفظ می‌کنند. مایعات و گازها شکل ظرف را به خود می‌گیرند.

اما موادی که در این بین قرار دارند  
چه می‌شوند؟

چگونه می‌توانیم میزان «مایع» یا  
«جامد» بودن یک ماده را اندازه  
بگیریم، زمانی که رفتاری  
مانند هر دو حالت دارد؟

می‌توانیم از

**رئولوژی**

استفاده کنیم.

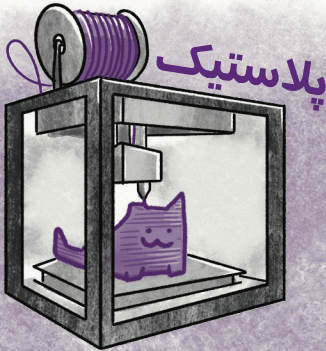


رئولوژی علم مطالعه چگونگی جریان مواد است.



رئولوژیست مطالعه می کند که یک ماده چه میزان حالت «مایع» یا «جامد» دارد و از این مطالعات برای ساخت مواد با خواص نرم و لغزنده استفاده می کند.

موادی مانند...



پودینگ



یک رئولوژیست رفتار مواد را با بررسی تنش و کرنش در گذر زمان بررسی می کند.

تصور کنید یک آبر قهرمان گولپیکر بخواهد یک گربه را نوازش کند.



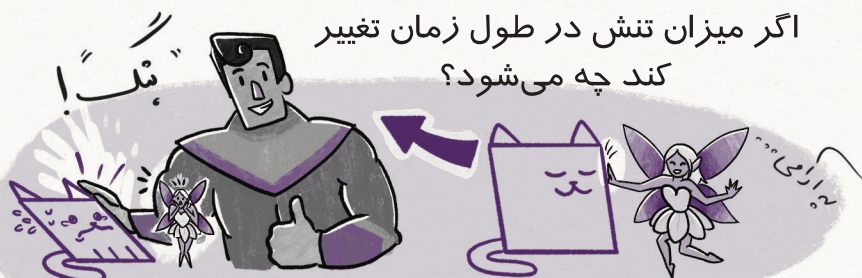
به میزان نیروی این نوازش **تنش** گفته می‌شود و به تغییر شکل گربه در اثر این نوازش **کرنش** گفته می‌شود. یک تنش بزرگ باعث یک کرنش بزرگ می‌شود.

تصور کنید یک پری کوچک بخواهد یک گربه را نوازش کند.



چون تنش کمی به گربه وارد می‌شود، کرنش کمی هم خواهد داشت. یک تنش کوچک باعث یک کرنش کوچک می‌شود.

اگر میزان تنش در طول زمان تغییر کند چه می‌شود؟



اینکه تنش و کرنش چگونه در طول زمان تغییر می‌کند و آیا این تغییر آهسته است یا سریع در علم رئولوژی اهمیت دارد.

معمولا تنش و کرنش با هم تغییر می‌کند. هرچه تنش بزرگتر باشد کرنش نیز بزرگتر است. اما نه همیشه! در این باره بعدا بیشتر توضیح می‌دهیم!

این موضوع چه ربطی به جامد یا مایع بودن دارد؟



بگذارید با جامد شروع کنیم. در یک مدت کوتاه، گربه‌ها می‌توانند مانند یک جامد باشند.

آنها می‌توانند یکی از حالات زیر باشند:

کشسانی

خمیری

کشسان

وقتی گربه‌ها می‌ترسند مانند یک جامد کشسان رفتار می‌کنند.



مانند یک توپ از جا می‌پرند و بعد از یک تنش و کرنش به حالت اولیه برمی‌گردند.

به این توانایی بازگشت به حالت اولیه «کشسانی» گفته می‌شود.



برخی جامدها مانند خمیر سفالگری به حالت اولیه بر نمی گردند. تنش روی جامد خمیری باعث کش آمدن یا فشرده شدن آن می شود و به همین شکل باقی می ماند تا تنش جدیدی به آن وارد شود. به این توانایی تغییر شکل «حالت خمیری» گفته می شود.



گره ها حالت کشسانی خود را حفظ می کنند تا زمانی که به تنش تسلیم برسند، یعنی میزان تنشی که باعث می شود وارد حالت خمیری شوند و دیگر نتوانند به حالت اولیه برگردند.

اما اگر به هر جامدی بیش از اندازه تنش وارد شود...



... در نهایت می شکنند.

با گذر زمان بیشتر گربه‌ها مانند یک مایع رفتار می‌کنند و شکل ظرف نگهدارنده خود را می‌گیرند.



در مقایسه با آب، گربه‌ها گران‌تر هستند. آن‌ها کمی غلیظ‌تر هستند.

آن‌ها کمی غلیظ‌تر هستند. گرانروی بیشتری دارند و با سرعت کمتری جریان پیدا می‌کنند. مانند عسل.

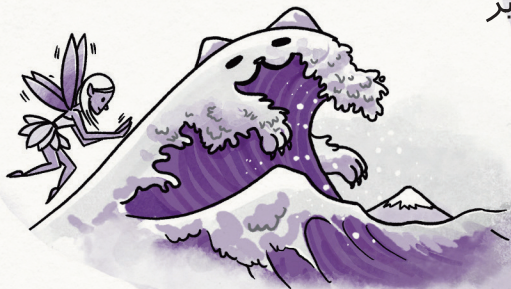


یک مایع با گرانروی کمتر، رقیق‌تر است و سریع‌تر جریان پیدا می‌کند. مانند آب یا شیر.

چگونه رابطه بین تنش و کرنش یک مایع را بررسی می‌کنیم؟  
به سختی!



مایعات همواره در حال جریان هستند، در نتیجه میزان تنش همواره در حال تغییر است.



در عوض می‌توانیم سرعت تغییرات کرنش را بررسی کنیم. مایع با چه سرعتی تغییر شکل می‌دهد؟ به این موضوع **نرخ کرنش** گفته می‌شود.

گرانروی به ما رابطه بین تنش و نرخ کرنش را می‌دهد. گرانروی به ما می‌گوید برای اینکه مایع "تالایی!" با یک سرعت مورد نظر حرکت کند باید چه میزان تنش به آن وارد کنیم.



یک ماده با گرانروی پایین، مانند آب، به تنش کمی برای تغییر نرخ کرنش نیاز دارد. اما یک مایع با گرانروی بالا، مانند گربه، به تنش بیشتری برای تغییر نرخ کرنش نیاز دارد.

(بحث گرانروی پیچیده‌تر می‌شود وقتی محیط ماده، مانده دمای آن، تغییر کند. به طور مثال عسل داغ سریعتر از عسل سرد جریان پیدا می‌کند.)



بسیاری از مواد، مانند گربه‌ها، رفتاری ترکیبی از کششان، خمیری و گرانرو دارند.

### گرانرو کششان



نرخ کشش به زمان بستگی دارد. ماده در کوتاه مدت رفتاری کششان و در بلند مدت رفتار گرانرو دارد.

(مانند: اسپاگتی، سس کچاپ)

### گرانرو خمیری



یک جامد خمیری در تنش پایین و یک مایع گرانرو در تنش بالا (مانند: گِل و لای، خمیر دندان، سس مایونز)

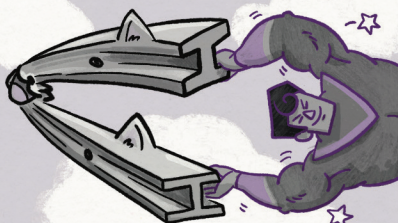
### کششان گرانرو خمیری



رفتار این مواد هم به میزان کرنش و هم به نرخ کرنش بستگی دارد.

(مانند: گدازه)

### کششان خمیری



جامدات دارای تنش تسلیم. ماده در تنش پایین رفتاری کششان و در تنش بالا رفتاری خمیری دارد.

(مانند: فولاد)



رفتار این مواد به روابط پیچیده بین تنش و کرنش وابسته است و در نتیجه رفتاری غیر قابل پیشبینی دارند.

گاهی تنش بیشتر، باعث کرنش بیشتر نمی‌شود.

اگر تنش وارد بر گربه را افزایش دهیم، همیشه کرنش گربه هم افزایش پیدا نمی‌کند، بلکه ممکن است گربه از حالت آسوده خارج شود و ...



گراَن شونَدگی  
برشی

... حالت حمله بگیرد و عضلات خود را منقبض کند! با افزایش نرخ کرنش، گرانروی گربه افزایش پیدا می‌کند و تنش‌های بزرگ باعث کرنش‌های کوچک در آن می‌شود. به این حالت گران شونَدگی برشی گفته می‌شود.

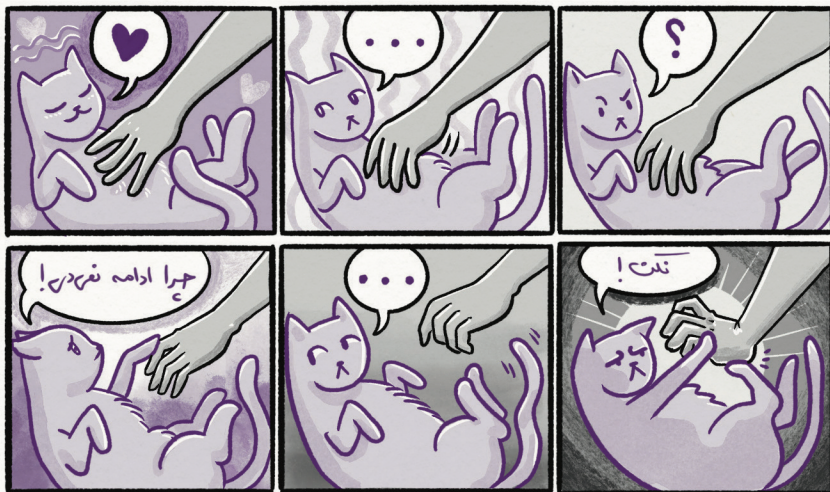
اما تنش همچنین می‌تواند گربه‌ها را از حالت حمله به حالت آرام تغییر دهد.



روان شونَدگی  
برشی

با افزایش تنش، گرانروی گربه کاهش پیدا می‌کند و تنش‌های کم باعث کرنش‌های زیاد می‌شود. به این حالت روان شونَدگی برشی گفته می‌شود.

اگر یک تنش ثابت را برای مدت طولانی به گربه وارد کنید، ممکن است رفتار گربه تغییر کند. ممکن است مقداری طول بکشد تا گربه تصمیم بگیرد چه واکنشی نشان دهد.



وقتی مواد رفتاری وابسته به زمان دارند به آنها **تیکسوتروپ** گفته می‌شود.



این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که یک خاصیت داخل ماده با گذر زمان تغییر کند.

معمولا زمانی که مایعی را با شدت هم بزینید به اطراف پخش می‌شود (مانند تخم مرغ برای تهیه کیک). اما برخی مواد مانند گربه، به همزن می‌چسبند و حتی از آن بالا می‌روند.

به این پدیده

## اثر وایزبرگ

گفته می‌شود.



آب به نرمی و روان از شیر آب خارج می‌شود، اما برخی مایعات گرانبه و کشسان تغییر اندازه می‌دهند و هنگام خارج شدن از یک محفظه افزایش حجم می‌دهند.

به این پدیده

## تورم قالب

گفته می‌شود.

پس گربه‌ها  
چه هستند؟

پستاندارا!

فوق‌العاده  
نازا!

در رسوم سلتی آن‌ها  
را نگهبانان عالم ثانی  
می‌دانستند!

مصریان باستان باور  
داشتند که گربه‌ها  
قدرت‌های الهی هستند!

چهارمین حیوان در  
زودیاک ویتنامی!



احتمالا هیچوقت نمیفهمیم که چرا گربه‌ها اینگونه رفتار می‌کنند.  
اما می‌دانیم مانند خیلی مواد دیگر، قانون خاص خود را دارند.



هنوز خیلی مطالب وجود دارد که  
درباره مواد بین مایع و جامد نمی‌دانیم.  
رئولوژی به ما نشان می‌دهد که این  
رفتار پیچیده به روابط بین تنش  
و کرنش و تغییرات آن‌ها در طول  
زمان بستگی دارد.  
اما هر ماده‌ای کمی متفاوت است.  
درست مانند گربه‌ها!



**شما به کدامیک علاقه دارید؟**

متشکریم که این کتاب را مطالعه کردید!



## واژه نامه:

**رئولوژی (rheology)** - علم مطالعه چرا و چگونگی تغییر شکل مواد در موقعیت‌های مختلف (به ویژه موادی که حالت جامد، مایع یا گاز خالص نیستند).

**تنش (stress)** - میزان نیروی وارده بر ماده.

**کرنش (strain)** - میزان تغییر شکل ماده.

**جامد کشسان (elastic solid)** -

ماده‌ای که شکل خود را حفظ می‌کند و بعد از برداشته شدن تنش به شکل اولیه برمی‌گردد.

**جامد خمیری (plastic solid)** - ماده‌ای

که شکل خود را حفظ می‌کند اما بعد از برداشته شدن تنش به شکل اولیه برنمی‌گردد.

**تنش تسلیم (yield stress)** - بیشترین

تنشی که یک ماده کشسان می‌تواند تحمل کند تا قبل از اینکه به حالت خمیری تغییر کند.

**جامد شکننده (broken solid)** - ماده‌ای

که شکل خود را حفظ می‌کند اما ترک می‌خورد، می‌شکند یا پاره می‌شود.

**مایع گرانبرو (viscous liquid)** - ماده‌ای

که جریان پیدا می‌کند و به شکل ظرف نگهدارنده خود درمی‌آید.

**گرانروی (viscosity)** - میزان «غلظت»

یک ماده. مقیاسی از رابطه بین تنش و نرخ کرنش. این مقیاس نشان می‌دهد که برای تغییر سرعت حرکت ماده به چه میزان تنش نیاز داریم.

**نرخ کرنش (strain rate)** - سرعت تغییر کرنش. سرعت حرکت ماده و تغییر شکل آن.

**گرانروی خمیری (viscoplastic)** -

ماده‌ای که در تنش پایین رفتاری مانند جامد خمیری و در تنش بالا رفتاری مانند مایع گرانبرو دارد (مانند: گل و لای، خمیردندان، سس مایونز).

**گرانروکشسان (viscoelastic)** - ماده‌ای

که نرخ کرنش آن به زمان بستگی دارد و رفتار کشسان در مدت کوتاه و رفتار گرانبرو در مدت طولانی دارد (مانند: اسپاگتی، کچاپ)

**کشسان خمیری (elastoplastic)** - ماده‌ای

که تنش تسلیم دارد و در تنش پایین حالت کشسانی و در تنش بالا حالت خمیری دارد.

**کشسان گرانبرو خمیری**

(elastoviscoplastic) - ماده‌ای که رفتار

آن با میزان تنش و نرخ کرنش متغیر است.

**گراننشوندگی برشی (shear thickening)**

- هنگامی که گرانروی ماده با افزایش نرخ برش افزایش پیدا میکند و تنش‌های بزرگ باعث کرنش‌های کوچک می‌شود.

**رقیق شوندگی برشی (shear thinning)**

- زمانی که ویسکوزیته با افزایش نرخ برش، کاهش پیدا می‌کند و تنش‌های کوچک باعث کرنش‌های بزرگ می‌شود.

**تیکسوتروپی (thixotropy)** - وقتی یک

تنش ثابت در مرور زمان باعث رفتارهای مختلف می‌شود. اثر «حافظه‌ای» یا «تاخیر» که به دلیل ساختار ماده اتفاق می‌افتد.

**اثر وایسنبرگ (Weissenberg effect)**

- هنگام هم زدن، ماده به جای پخش شدن به اطراف، از همزن بالا می‌رود.

**تورم قالب (die swell)** - هنگامی که مایع

از محفظه خارج می‌شود حجم آن افزایش پیدا می‌کند.

رئولوژی علم مطالعه جریان مواد است.  
(رئو به معنی جریان و لوگوس به معنی مطالعه.)

«همه چیز در جریان است!»  
-پانتاری

الهام گرفته شده از مقاله «رئولوژی گربه‌ها». نوشته  
م.ا. فردین برنده جایزه نوبل، سال ۱۳۹۲. این کمیک  
با کمک گربه‌های دوست داشتنی به توصیف مبانی  
رئولوژی می‌پردازد.

پشتیبان مالی: صندوق سرمایه گذاری  
ریولوژی انجمن ریولوژی



برای اطلاعات بیشتر درباره رئولوژی رمزینه  
سریع پاسخ زیر را دنبال کنید.  
این کتاب در زبان‌های زیر  
موجود می‌باشد:



English • 日本語

Ελληνικά • Français

Español • العربية

به زودی کارهای بیشتری خواهیم داشت!