

گرچه ها جامد هستند یا مایع؟



نویسندگان: راب گمبل و کروالین مارتین

مترجم: پانید حقیقی

کمیک ریولوژی

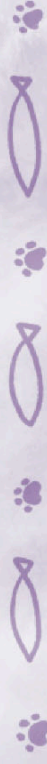
ریولوژی علم مطالعه جریان مواد است.  
(رئو به معنی جریان و لوگوس به معنی مطالعه.)

«همه چیز در جریان است!»  
-پانتا ری

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



پشتیبان مالی: صندوق سرمایه گذاری  
ریولوژی انجمن ریولوژی



برای اطلاعات بیشتر درباره ریولوژی 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!



## واژه نامه:

**گرانروی خمیری (viscoplastic)** - ماده‌ای که در تنش پایین رفتاری مانند جامد خمیری و در تنش بالا رفتاری مانند مایع گرانرو 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 گرانرو در مدت طولانی دارد (مانند: اسپرنگ، کجپ).  
**کشسان خمیری (elastoplastic)** - ماده‌ای که تنش تسلیم دارد و در تنش پایین حالت کشسانی و در تنش بالا حالت خمیری دارد.

**کشسان گرانرو خمیری (elastoviscoplastic)** - ماده‌ای که رفتار آن با میزان تنش و نرخ کرنش متغیر است.  
**گرانروشدگی برشی (shear thickening)** - هنگامی که گرانروی ماده با افزایش نرخ برش افزایش پیدا میکند و تنش‌های بزرگ باعث کرنش‌های کوچک می‌شود.

**رقیق‌شوندگی 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 وایسبرگ (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 (rheology)** - علم مطالعه چرا و چگونه تغییر شکل مواد در موقعیت‌های مختلف (به ویژه موادی که حالت جامد، مایع یا گاز خاص 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 تنش که یک ماده کشسان می‌تواند تحمل کند تا قبل از اینکه به حالت خمیری تغییر کند.

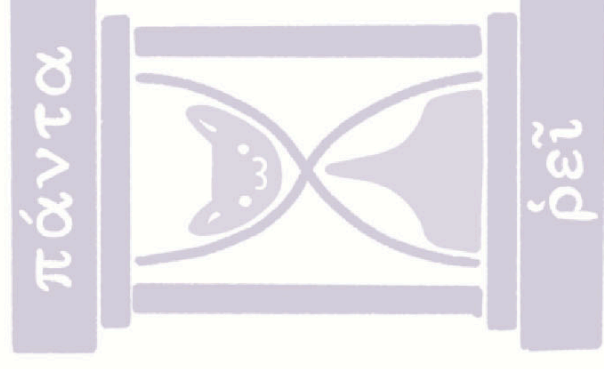
**جامد شکننده (broken solid)** - ماده‌ای که شکل خود را حفظ می‌کند اما ترک می‌خورد، می‌شکند یا پاره می‌شود.

**مایع گرانرو (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.

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



سال انتشار: ۱۴۰۲

vi.1

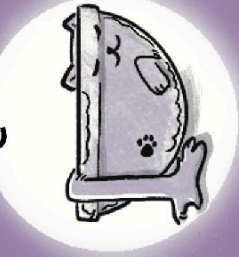


گره‌ها جامد هستند یا مایع؟  
ما سه حالت اصلی ماده را می‌شناسیم:

گاز



مایع



جامد



مواد جامد شکل خود را حفظ می‌کنند. مایعات و گازها شکل طرف 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.

احتمالا هیچوقت نمیفهمیم که چرا گره‌ها اینگونه رفتار می‌کنند. اما می‌دانیم مانند موادی خیلی 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 گره‌ها!

**شما به کدامیک علاقه دارید؟**

پس گره‌ها چه هستند؟

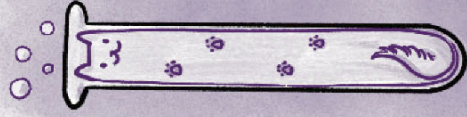
پستاندارا!

در رسوم سلتی آن‌ها را نگهبانان عالم ثانی می‌دانستند!

مصریان باستان باور داشتند که گره‌ها قدرت‌های الهی هستند!

چهارمین حیوان در زودیاک ویتنامی!

تا با ما هم‌علاقه



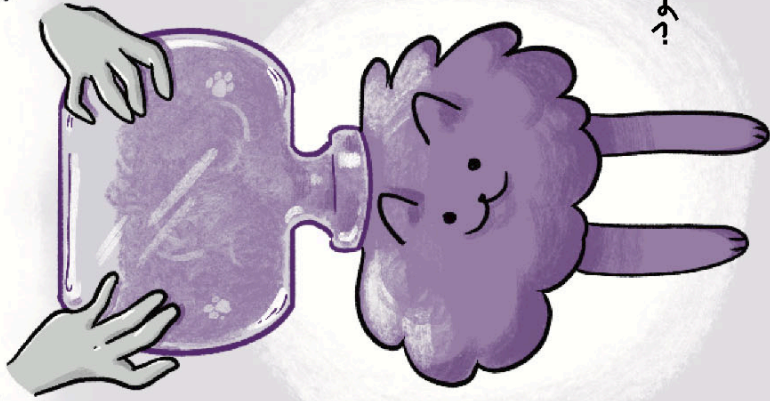


معمولاً زمانی که مایعی را با شدت هم بزیند به اطراف پخش می‌شود (مانند تخم مرغ برای تهیه کیک). اما برخی مواد مانند گربه، به همزن می‌چسبند و حتی از آن بالا می‌روند.

به این پدیده

## اثر وایزبرگ

گفته می‌شود.

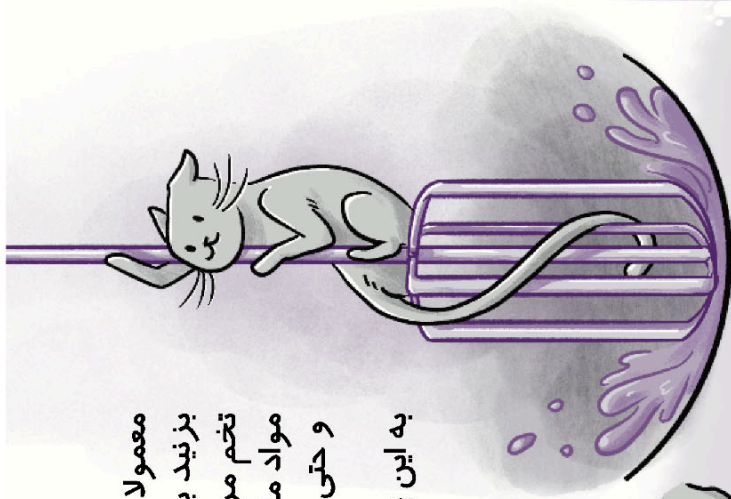


آب به نرمی و روان از شیر آب خارج می‌شود، اما برخی مایعات گرانش و کشسان تغییر اندازه می‌دهند و هنگام خارج شدن از یک محفظه افزایش حجم می‌دهند.

به این پدیده

## تورم قالب

گفته می‌شود.



رئولوژی علم مطالعه چگونگی جریان مواد است.



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

موادی مانند...



اسلایم



پودینگ



بتن



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





تصور کنید یک آبر قهرمان غولپیکر 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.

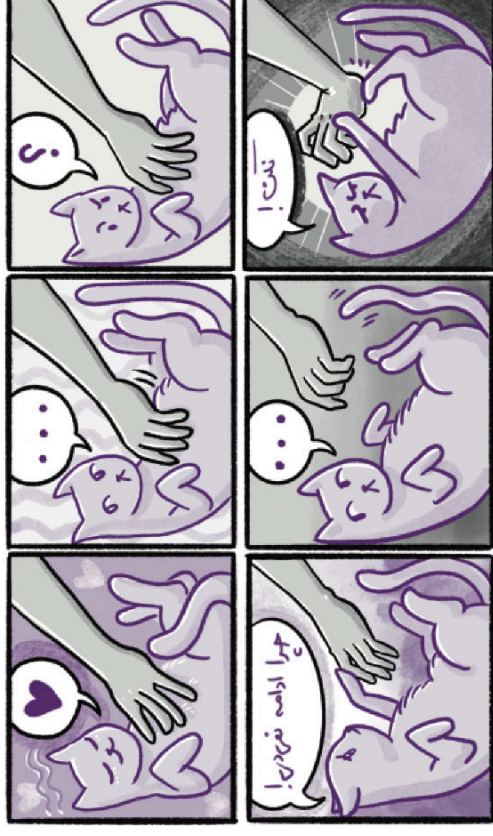
اگر میزان تنش در طول زمان تغییر کند چه می‌شود؟



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

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

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.



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 ...



کرنش شونده گی  
برشی



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

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



کرنش شونده گی  
برشی

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

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:



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.



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

### گرانرو خمیری



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

### کشسان خمیری



جامدات دارای تنش تسلیم ماده در تنش پایین رفتاری کشسان و در تنش بالا رفتاری خمیری دارد. (مانند: فولاد)

### گرانرو کشسان



نرخ کشش به زمان بستگی دارد. ماده در کوتاه مدت رفتاری کشسان و در بلند مدت رفتاری گرانرو دارد. (مانند: اسپاگتی، سس کچاپ)

### کشسان گرانرو خمیری



رفتار این مواد هم به میزان کرنش و هم به نرخ کرنش بستگی دارد. (مانند: گدازه)



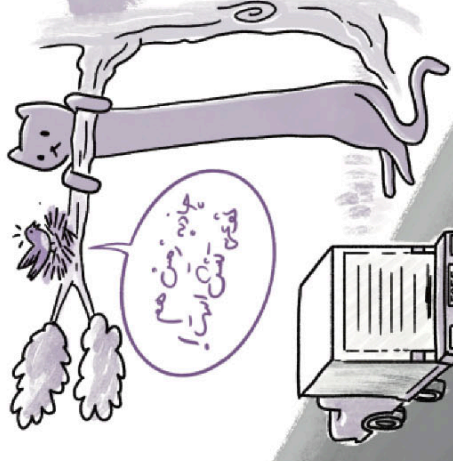
رفتار این مواد به روابط پیچیده بین تنش و کرنش وابسته است و در نتیجه رفتاری غیر قابل پیشبینی دارند.

همه عزیزان  
حاج و حاجیه  
که همدا نشسته  
تقصیر است  
و نه خدا



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.

گربه 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 شکند.

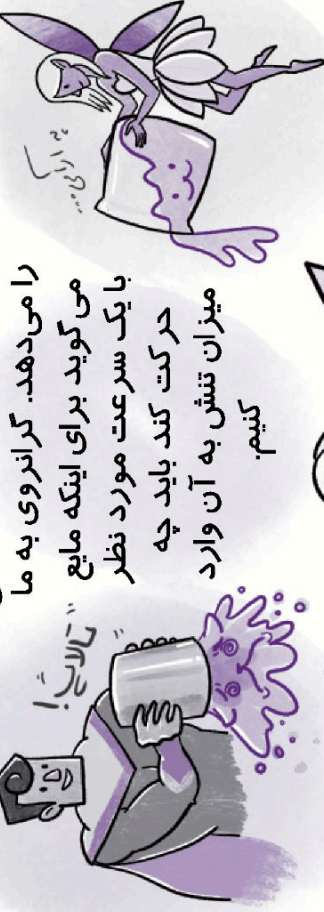


مایعات همواره در حال جریان هستند، در نتیجه میزان تنش همواره در حال تغییر است.



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



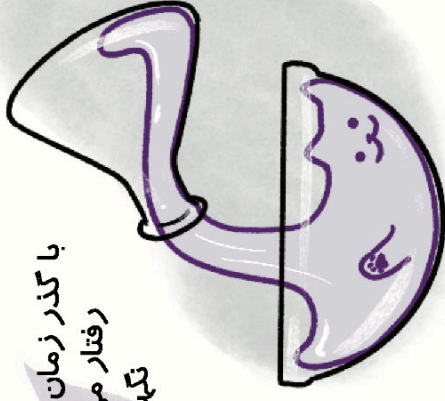
را می‌دهد. گرانروی به ما می‌گوید برای اینکه مایع با یک سرعت مورد نظر حرکت کند باید چه میزان تنش به آن وارد کنیم.



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

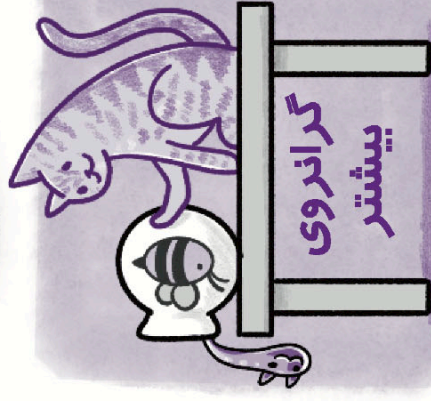
(بحث گرانروی پیچیده‌تر می‌شود وقتی محیط ماده، مانند دمای آن، تغییر کند. به طور مثال عسل داغ سریعتر از عسل سرد جریان پیدا می‌کند.)

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



در مقایسه با آب، گریه‌ها گرانروتر 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!