

گربه ها جامد هستند یا مایع؟



رئولوژی

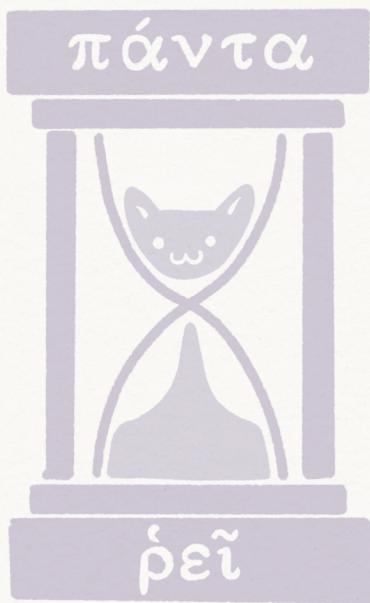
گربه ها



نویسندهان: راب کمبول و کرولاین مارتین

مترجم: پانیزد حقیقی

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



سال انتشار: ۱۴۰۲

v1.1

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



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.

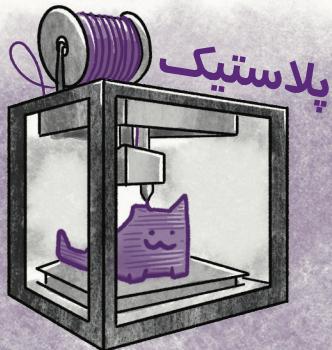


رئولوژی علم مطالعه چگونگی جریان مواد است.



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 لغزنه استفاده می کند.

موادی مانند...



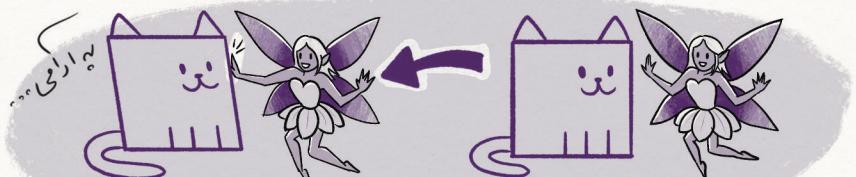
یک رئولوژیست رفتار مواد را با بررسی تنش و کرنش در گذر زمان بررسی می کند.

تصور کنید یک ابر قهرمان غولپیکر بخواهد یک گربه را نوازش کند.



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

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



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

اگر میزان تنفس در طول زمان تغییر کند چه می‌شود؟



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

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

این موضوع چه ربطی به جامد یا مایع بودن دارد؟

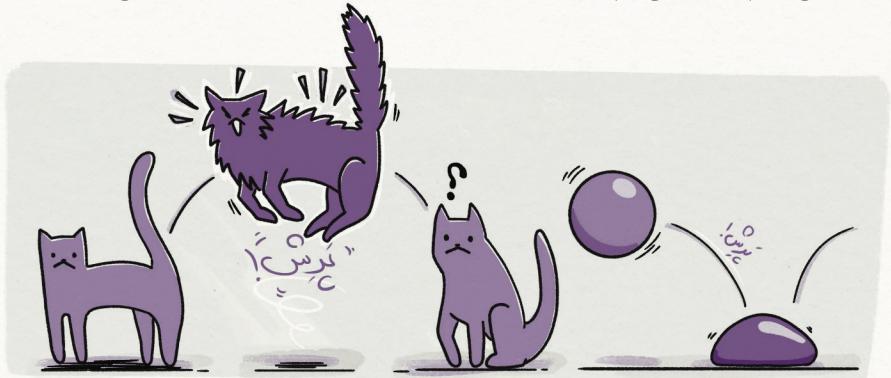


بگذارید با جامد شروع کنیم. در یک مدت کوتاه، گربه‌ها می‌توانند مانند یک جامد باشند.

آن‌ها می‌توانند یکی از حالات زیر باشند:



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 بر می‌گردند.

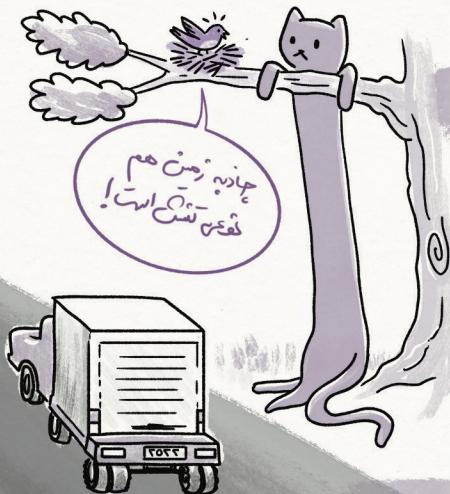
به این توانایی بازگشت به حالت اولیه «کشسانی» گفته می‌شود.



برخی جامدها مانند خمیر سفالگیری به  
حالت اولیه برنمی‌گردند.  
تنش روی جامد **خمیری** باعث کش  
آمدن یا فشرده شدن آن می‌شود و  
به همین شکل باقی می‌ماند تا تنش  
جدیدی به آن وارد شود. به این  
توانایی تغییر شکل «حالت خمیری»  
گفته می‌شود.



گربه‌ها حالت کشسانی  
خود را حفظ می‌کنند تا  
زمانی که به **تنش تسليم**  
برسند، یعنی میزان تنشی  
که باعث می‌شود وارد  
حالت خمیری شوند و  
دیگر نتوانند به حالت اولیه  
برگردند.



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



... در نهایت می‌شکند.

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



در مقایسه با آب، گربه‌ها  
گراندروی بیشتر هستند. آن‌ها کمی  
غلیظتر هستند.

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



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

چگونه رابطه بین تنفس 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 نظر کرنش گفته می‌شود.



گرانروی به ما رابطه بین تنش و نرخ کرنش را می‌دهد. گرانروی به ما می‌گوید برای اینکه مایع «تالای! تالای!» 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، مانند دمای آن، تغییر کند. به طور مثال عسل داغ سریعتر از عسل سرد جریان پیدا می‌کند.)

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

## گرانرو کشسان



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

(مانند: اسپاگتی، سس کچاپ)

## گرانرو خمیری



یک جامد خمیری در تنفس پایین و یک مایع گرانرو در تنفس بالا (مانند: گل و لای، خمیردنдан، سس مايونز)

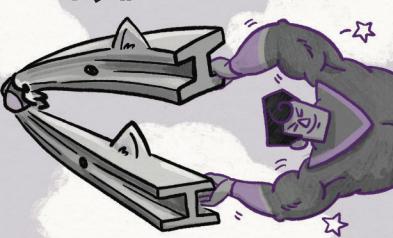
## کشسان گرانرو خمیری



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

(مانند: گدازه)

## کشسان خمیری



جامدات دارای تنفس تسیلم. ماده در تنفس پایین رفتاری کشسان و در تنفس بالا رفتاری خمیری دارد.

(مانند: فولاد)

کام مرائن  
مان و چادر  
له مهد است  
تفصیل سدا



رفتار این مواد به روابط پیچیده بین تنفس و کرنش وابسته است و درنتیجه رفتاری غیرقابل پیشینی 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 ...



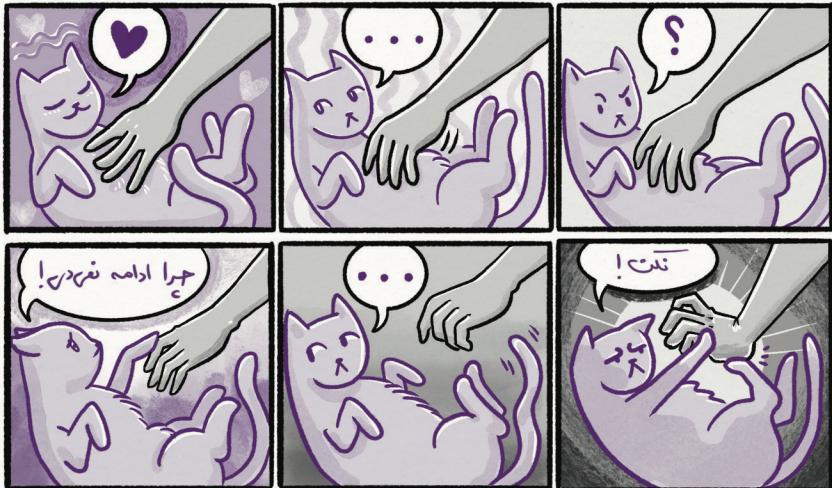
... حالت حمله بگیرد و عضلات خود را منقبض کند! با افزایش نرخ کرنش، گرانروی گربه افزایش پیدا می‌کند و تنش‌های بزرگ باعث کرنش‌های کوچک در آن می‌شود. به این حالت گرانشوندگی برشی گفته می‌شود.

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



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

اگر یک تشن 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 گذرا زمان تغییر کند.

معمولًا زمانی که مایعی را باشدت هم  
بزنید 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 وايزنبرگ

گفته می‌شود.



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

به این پدیده

## توردم قالب

گفته می‌شود.

پس گربه‌ها  
چه هستند؟



احتمالاً هیچوقت نمی‌فهمیم که چرا گربه‌ها اینگونه رفتار می‌کنند.  
اما می‌داییم 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 تنفس و کرنش و تغییرات آن‌ها در طول زمان بستگی دارد.  
اما هر ماده‌ای کمی متفاوت است.  
درست مانند گربه‌ها!!



شما به کدامیک علاقه دارید؟

## واژه نامه:



**گراندروی خمیری** (viscoplastic) - ماده‌ای که در تنش پایین رفتاری ماننده جامد خمیری و در تنش بالا رفتاری مانند مایع گراندرو دارد (مانند: گل و لای، خمیر دندان، سس مایونز).

**گراندروکشسان** (viscoelastic) - ماده‌ای که نرخ کرنش آن به زمان بستگی دارد و رفتار کشسان در مدت کوتاه و رفتار گراندرو در مدت طولانی دارد (مانند: اسپاگتی، کچاب).

**کشسان خمیری** (elastoplastic) - ماده‌ای که تنش تسلیم دارد و در تنش پایین حالت کشسانی و در تنش بالا حالت خمیری دارد.

**کشسان گراندرو خمیری** (elastoviscoplastic) - ماده‌ای که رفتار آن با میزان تنش و نرخ کرنش متغیر است.

**گرانشوندگی برشی** (shear thickening) - هنگامی که گراندرو ماده با افزایش نرخ برش افزایش پیدا میکند و تنش‌های بزرگ باعث کرنش‌های کوچک می‌شود.

**رقیق شوندگی برشی** (shear thinning) - زمانی که ویسکووزیته با افزایش نرخ برش کاهش پیدا می‌کند و تنش‌های کوچک باعث کرنش‌های بزرگ می‌شود.

**تیکسوتروپی** (thixotropy) - وقتی یک تنش ثابت در مروز زمان باعث رفتارهای مختلف می‌شود. اثر «حافظه‌ای» یا «تاخیر» که به دلیل ساختار ماده اتفاق می‌افتد.

**اثر وايسنبرگ** (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 چگونگی تغییر شکل مواد در موقعیت‌های مختلف (به ویژه موادی که حالت جامد، مایع یا گاز خالص نیستند).

**تنش** (stress) - میزان نیروی وارد به 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 برگرد.

**جامد خمیری** (plastic solid) - ماده‌ای که شکل خود را حفظ می‌کند اما بعد از برداشته شدن تنش به شکل اولیه برآیند.

**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 گراندرو** (Viscous liquid) - ماده‌ای که جریان پیدا می‌کند و به شکل ظرف تنهدارنده خود درمی‌آید.

**گراندروی** (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.

# کمیک رئولوژی

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

«همه چیز در جریان است!»  
-پانترا ری

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

پشتیبان مالی: صندوق سرمایه گذاری  
ریولوژی انجمان 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!