تحلیل اهمیت پدیده‌های ریولوژی

پوهاند دیپلوم انجنیر ریحانه پوپلزی[۷]

تقریظ‌دهنده: پوهنوال نسرین راجی پوپلزی

مجله‌ی علمی-تحقیقی حوزه‌ی علوم طبیعی پوهنتون کابل، ۳ (۳) ۱۳۹۹

چکیده

در این مقاله در مورد پدیده‌ی ریولوژی که در ساحات علم کیمیا، طب و فارمسی از اهمیت فوق العاده‌ی برخوردار است، بحث صورت گرفته است؛ البته تحقیق متذکره نسبت به نبود امکانات لابراتواری به شکل تحقیق کتاب‌خانه‌یی و با استفاده از منابع معتبر آماده و در خدمت علاقه‌مندان قرار دارد. امید استفاده‌ی مطلوب از آن برای ارتقای سطح معلومات علاقه‌مندان گردد. علم که سیالت مایعات و تغییر شکل deformation جامدات را تحت اثر فشار بلند مطالعه قرار می‌دهد، به‌نام ریولوژی یا سیالت یاد می‌شود. سیستم‌های نیوتنی و غیر نیوتنی، جریان سودوپلاستیک که اهمیت بزرگی صنعتی و علمی داشته و به خصوص در عرصه‌های صنعت مورد بحث و مطالعه قرار گرفته است. علاوتاً، بحث جریان‌های گشاده و لزوجیت که ارزش خاصی در ساحات علم کیمیا، فارمسی و زراعت دارد، نیز به بررسی گرفته شده است.

اصطلاحات کلیدی: ریولوژی؛ سرعت برش؛ فشار برش؛ سیالت؛ ویسکوزیتی

Evaluation And Investigation Of Important Rheology Phenomena

Professor Raihana Popalzai

Abstract

Rheology is the study of the flow of matter, primarily in a liquid state, but also as "soft solids" or solids under conditions in which they respond with plastic flow rather than deforming elastically in response to an applied force. Rheology is used to describe and assess the deformation and flow behavior of materials. Fluids flow at different speeds and solids can be deformed to a certain extent. Oil, honey, shampoo, hand cream, toothpaste, sweet jelly, plastic materials, wood, and metals – depending on their physical behavior, you can put them in order: On the one side liquids, on the other side solids, and in between highly viscous, semi-solid substances. Here, the fundamental principles, the basics of rheology, are briefly presented.

Keywords: Rheology; Rate of shear; Shearing force; Fluidity; Viscosity

ارجاع

پوپلزی، ریحانه. (۱۳۹۹). تحلیل اهمیت پدیده‌های ریولوژی. مجله‌ی علمی- تحقیقی حوزه‌ی علوم طبیعی پوهنتون کابل، شماره ۳ (۳)، صص ۸۳-۹۵.

---

[۷] استاد پوهنځی کیمیا، پوهنتون کابل

مقدمه

در این مقاله ابتدا ریولوژی مواد در کل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در ادامه سیالت‌ها و مودل پلاستیک بنگهام و روش‌ها و جریانات سودوپلاستیک، جریان باز با دیاگرام‌های آن بیان و هم‌چنین به بحث پیرامون شرایط سازگاری و امتزاج‌پذیری و تکسوتروپی سیستم‌های پلاستیک و سودوپلاستیک مواد پرداخته شده است. این پدیده با گسترش مصرف مواد پولیمری نیاز به مواد جدید روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. توماس هانکوک اولین فردی بود که به فکر دست‌یابی به خواص بهتر این مواد و کارآیی آن افتاد. او با اختلاط لاستیک طبیعی با یک نوع صمغ طبیعی به نام «گوتاپرچا» ماده‌ای به‌دست آورد که در لباس‌های ضد آب مورد استفاده قرار گرفت. اولین آمیزه‌ی تجاری ترموپلاستیک آمیزه NBR / PVC بود که در سال ۱۹۴۲ وارد بازار شد. مهم‌ترین هدف مسأله‌ی اقتصادی آن می‌باشد. بناءً، با در نظر داشت اهمیت این پدیده کوشیده‌ام تا معلومات کلی را با استفاده از منابع معتبر تهیه و به دسترس علاقه‌مندان قرار دهم. این مقاله به شیوه تحقیق کتاب‌خانه‌یی تهیه گردیده است.

سیالت نیوتنی و غیر نیوتنی (Newtonian & Newtonian flow)

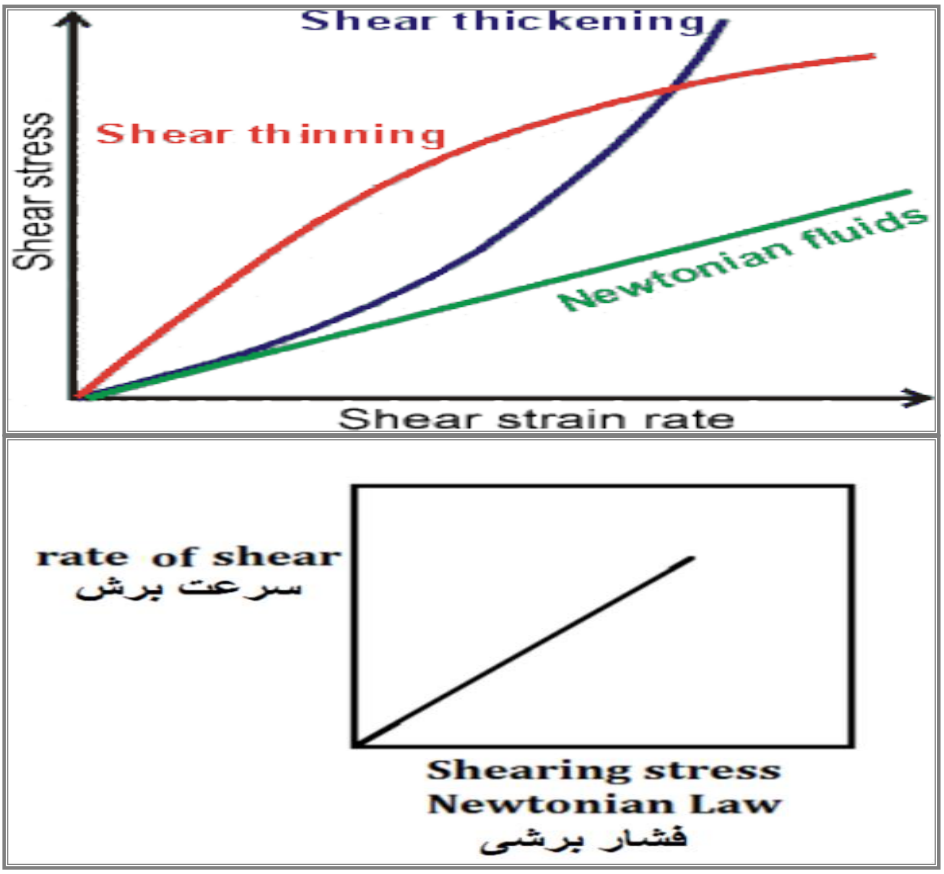
آن مایعات که از قانون لزوجیت نیوتن پیروی می‌کنند، به‌نام مایعات نیوتنی یاد شده و مایعات که از قانون نیوتن پیروی نمی‌کنند، مایعات غیر نیوتنی نامیده می‌شوند، لزوجیت مایعات نیوتنی در اثر فشار برش ثابت می‌مانند؛ ولی از مایعات غیر نیوتنی تغییر می‌کنند، مایعات ساده مانند آب، محلول‌های حقیقی و سوسپنشن‌های رقیق مثال‌های خوب از مایعات نیوتنی استند (۱۱).

سیستم نیوتنی Newtonians System

قانون سیالت نیوتن Newtonians slaw of flow: یک قالب مایع که از بشقاب‌های موازی مالیکول‌ها تشکیل شده است، تحت بررسی و مطالعه قرار می‌دهیم، ق شر تحتانی مایع به موقعیت خود ثابت فرض می‌گردد.

اگر مستوی فوقانی مایع با سرعت ثابت حرکت کرده باشد، هر قشر تحتانی با چنان سرعتی حرکت خواهد کرد که تناسب مستقیم به فاصله بین این قشر و قشر ایستاده در پایین دارد. تفاوت سرعت دو مستوی dv در فاصله‌ی بی‌نهایت dr می‌باشد که عبارت از میلان سرعت (Velocity gradient) یا سرعت برش dv/dr (rate of shear) است.

برای این مایع که دارای حرکت است قوه فی واحد سطح ($F_1/(A$) لازم است که به‌نام قوه‌ی برش یاد گردیده و به سمبول F نشان داده می‌شود (۱۱).



شکل ۱: ارتباط سرعت برش و فشار برش

نیوتن دانست به هر اندازه‌ی که لزوجیت بیشتر باشد، به همان اندازه فشار برش برای تولید سرعت معین ضرورت است. فشار برش را به سمبول G نشان می‌دهند، به این ترتیب فشار برش مستقیماً متناسب به سرعت برش است:

$$\frac{F_1}{A} = \eta \frac{dv}{dr} \qquad (۱)$$

ایتا η ضریب لزوجیت است که مختصراً به‌نام لزوجیت یاد می‌شود. این معادله را می‌توان چنین نوشت

$$\eta = \frac{F}{G}. \quad \text{که} \quad F = \frac{F_1}{A} \quad \text{و} \quad G = dv/dr \quad \text{است.} \qquad (۲)$$

اگر قیمت F در مقابل قیمت G وضع گردد، منحنی سیالت حاصل می‌گردد و به‌نام ریوگرام (Rheogram) یاد می شود، در شکل ذیل سیستم نیوتن نشان‌داده شده است و واحد لزوجیت پایز (Poise) است.

این واحد را با مراجعه به شکل دومی ذیل می‌توان چنین تعریف نمود: مقدار قوه‌ی برش (Shearing force) که برای جدا نمودن دو مستوی که هر مستوی $1cm^2$ مساحت دارد، به سرعت 1cm/sec به فاصله 1cm ضرورت است.

این واحدات را از انالیز ضریب لزوجیت حاصل می‌کنیم و معادله‌ی ذیل را می‌توان نوشت:

$$\eta = \frac{\dot{F}dr}{Adv} = \frac{dynes \times cm}{\frac{cm^2 \times cm}{sec}} = \frac{dynes \times sec}{cm^2} = \frac{\frac{g \times cm}{sec^2 \times sec}}{cm^2} = \frac{g}{cm \times sec} \qquad (۳)$$

بعضی اوقات اصطلاح سیال بودن (Fluidity) برعکس لزوجیت استفاده می‌شود.

$$\Phi = \frac{1}{\eta} \qquad (۴)$$

ارتباط درجه‌ی حرارت با لزوجیت گازات با بلند رفتن درجه‌ی حرارت بیشتر می‌گردد؛ ولی لزوجیت مایعات کم و سیال بودن یا فلوئیدیتی آن‌ها زیاد می شود. این ارتباط را توسط معادله‌ی ذیل که شبیه معادله‌ی ارینوس است، می‌توان چنین ارایه نمود:

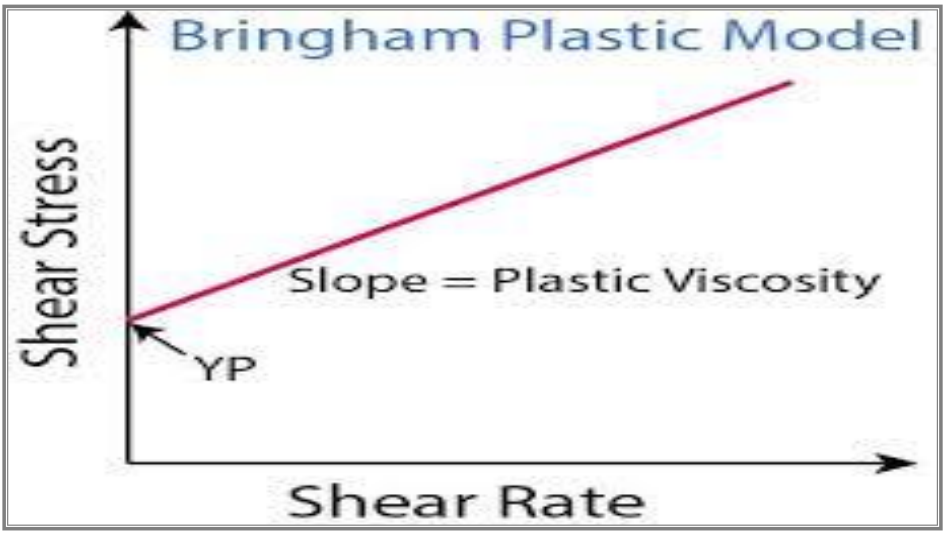
$$\eta = Ae^{\frac{E_v}{RT}} \qquad (۵)$$

که A ثابت است و مربوط وزن مالیکولی مایع و حجم مولر آن است، E_v انرژی فعالیت است، که برای سیالت بین مالیکول‌ها ضرورت است. انرژی تبخیر یک مایع عبارت از آن مقدار انرژی است که برای جدا نمودن یک مالیکول ضرورت است.

سیستم‌های غیر نیوتنی

اکثراً کارهای محققان به مقایسه با مواد ساده با مواد غیر نیوتنی بیشتر می‌با شد. اجسام غیر نیوتنی به آن موادی گفته می‌شود که از قانون و معادله‌ی نیوتن پیروی نمی‌کنند. مانند: ذرات کلویید، ایملشن‌ها، سوسپنشن‌ها، مرهم‌ها و غیره.

اگر این مواد به ویسکوزیمتر دورانی (Rotational Viscose meter) تحلیل گردد، از مقایسه‌ی ارقام روی منحنی لزوجیت ریوگرام معلوم می‌شود که سه نوع جریان وجود دارد: پلاستیک جریان (plastic flow)، شبه پلاستیک (pseudo plastic) و سیستم گشاده دلیتانت (dilatant). گرچه منحنی مذکور از مبدأ کمیات وضعیه نمی‌گذرد؛ ولی محور فشار برش را (shearing stress axis) در یک نقطه قطع می‌کند که قیمت به دست آمده قیمت حاصله‌ی بنگهام F_B است.



شکل ۲: جریان پلاستیک (plastic flow)

خواص مشخص مواد که نشان‌دهنده‌ی جریان پلاستیک است که در ریوگرام مطابق شکل (۲) است. این مواد به افتخار بنگهام (E.C.Bingham) به‌نام او یاد می‌شود. این منحنی در اکثر قسمت‌ها با جریان نیوتن تطابق می‌کند، خطی است. قیمت حاصله‌ی پایین F_l برای تطبیقات عملی مواد پلاستیک بسیار مناسب است، به‌خاطری‌که این قیمت نشان می‌دهد که واقعاً چه وقت این جریان آغاز می‌شود. علاوه بر این بعضی اوقات قیمت بلند حاصله F_h هم استفاده می‌گردد (۱۲).

در ریوگرام میلان به اصطلاح (mobility) که در سیستم نیوتن سیالت است و معکوس آن لزوجیت پلاستیک U است:

$$U = \frac{F - F_b}{G} \qquad (٦)$$

که F_b قیمت حاصله است و به $\frac{dyne}{cm^2}$ نشان داده می‌شود، F فشار برش shearing stress و G سرعت برش shear stress است.

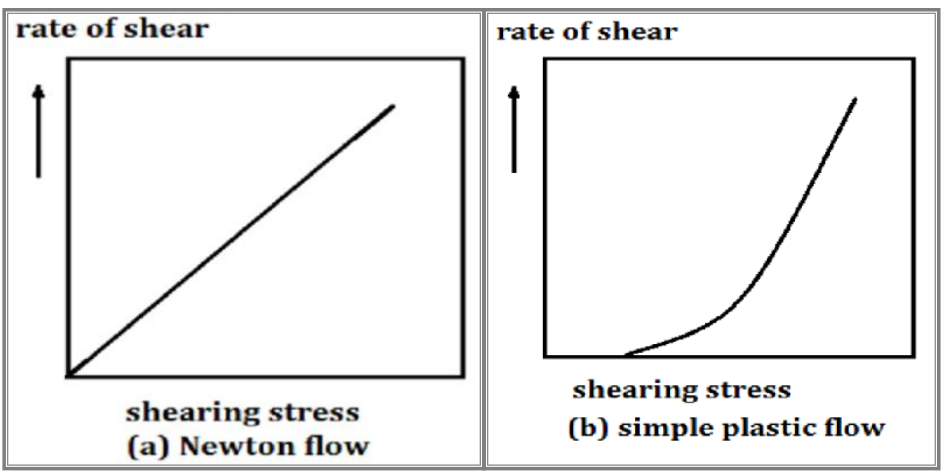
لزوجیت پلاستیک U بر علاوه قیمت حاصله، قوه‌ی برش است که برای دریافت واحد سرعت برش G لازم است. تعداد موادی که جریان خالص پلاستیک را نشان می‌دهد، محدود است. سوسپنشن اکساید جست در تیل معدنی نمونه‌ی خوب اجسام بنگهام است. مثال‌های دیگر آن رنگ نقاشی، رنگ‌های چاپ و جیل‌های سخت (hard gels) است. مایعات نیوتنی به قوه‌های ضعیف حاصل می‌گردد؛ ولی اجسام بنگهام بر خلاف آن به فشار معین برش حاصل می‌شود (۱۰).

جریان سودوپلاستیک (Pseudo plastic)

بسیاری از محصولات فارمسیوتیک به شمول ذرات مایع، صمغ‌های طبیعی و مصنوعی مانند: (Sodium alginate, methylcellulose, sodium carboxyl methyl cellulose).

جریان سودوپلاستیک دارند: مثال جریان سودوپلاستیک پولیمیر در محلول است، برخلاف سیستم‌های پلاستیک که از ذرات فلکوله (Flocculated) در سوسپنشن تشکیل گردیده است. در سیستم‌های سودوپلاستیک مانند سیستم‌های پلاستیک قیمت حاصله وجود ندارد. در شکل ذیل منحنی ثبات (Consistency Curve) دیده می‌شود که در نقطهی مبدأ شروع گردیده و یا کم از کم با سرعت پایین‌تر از سرعت برش شروع می‌گردد و هیچ حصه‌ی آن خطی نیست؛ بناءً، مواد سودوپلاستیک قیمت معین لزوجیت ندارد (۵).

لزوجیت مواد سودوپلاستیک با زیاد شدن سرعت برش کم می‌گردد. سرعت ظاهری برش را می‌توانیم در یک نقطه‌ی خاص از میلان تانجانت منحنی پیدا نمائیم.



شکل ۳: جریان پلاستیک و جریان نیوتنی را با سرعت برش

گراف متشکله از مواد پلاستیکی نمایندگی قابل قبول می‌کند. چون که قوه‌ی برش زیاد می شود، به صورت عادی مالیکول‌های نا منظم محور طویل را می پیماید (٦).

این جهت‌گیری مقاومت داخلی مواد را کم می سازد و به هر فشار متوالی برش، ازدیاد سرعت برش را اجازه می‌دهد. علاوه براین، یک قسمت از محلل که با مالیکول‌ها یک جا گردیده آزاد می‌شود و در نتیجه در غلظت و جسامت ذرات منتشره تنزیل مؤثر به میان می‌آید و این لزوجیت ظاهری را هم تقلیل می‌دهد.

مقایسه‌ی واقعی مواد مختلف سودوپلاستیک نسبت به این که مواد نیوتنی و یا پلاستیک است مقایسه می‌گردد، چنان‌چه سیستم‌های نیوتنی توسط لزوجیت می‌تواند توضیح گردد. سیستم‌های که جریان پلاستیکی را نشان می‌دهند توسط قیمت حاصله و لزوجیت پلاستیکی تاحد کافی تشریح و توضیح می‌گردد. به منظور ارائه نمودن مواد سودوپلاستیک هم کوشش و تلاش‌های زیادی صورت گرفته است. این فورمول طاقت را مارتین (Martin) به منظور تشریح مواد سودوپلاستیک وضع نموده است: $F^N = \dot{\eta} G$

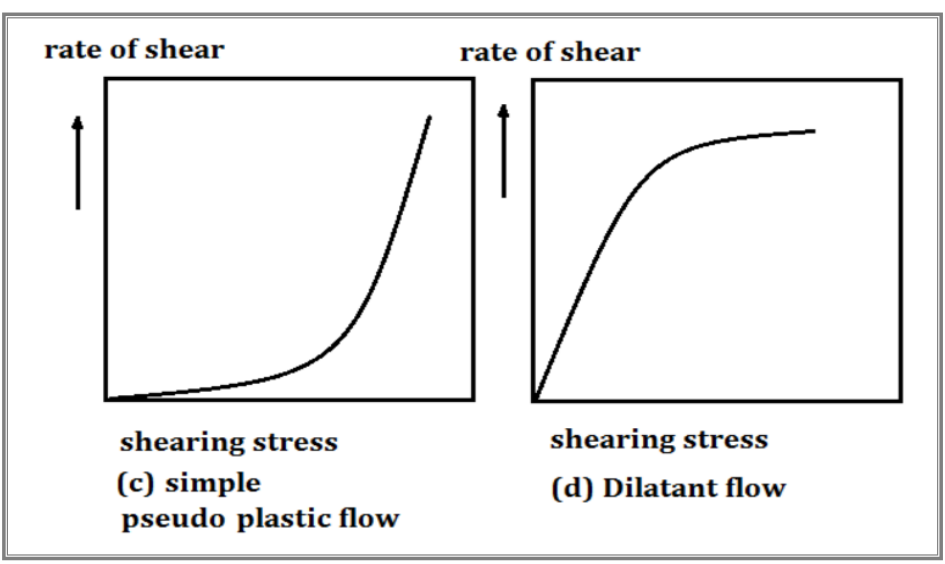
وقتی که N=1 شود، جریان نیوتنی می‌شود، $\dot{\eta}$ ضریب لزوجیت می‌باشد و با تنظیم دوباره داریم:

$logG = NlogF - log\dot{\eta}$ که یک خط مستقیم است.

جریان باز (Dilatant flow)

این نوع سیستم‌ها واقعاً وقتی قطع شوند، حجم شان زیاد می‌گردد، و از همین سبب به‌نام جریان باز یا گشاده Dilatant flow یاد می‌شود.

خواص سیالت درشکل ذیل نشان داده شده است. جریان در این مواد عکس جریان در مواد سودوپلاستیک است: سیستم سودوپلاستیک رقیق یا باریک‌کننده برش shear thinning system و سیستم باز غلیظ یا ضخیم‌کننده برش shear thickening system یاد می‌گردد.



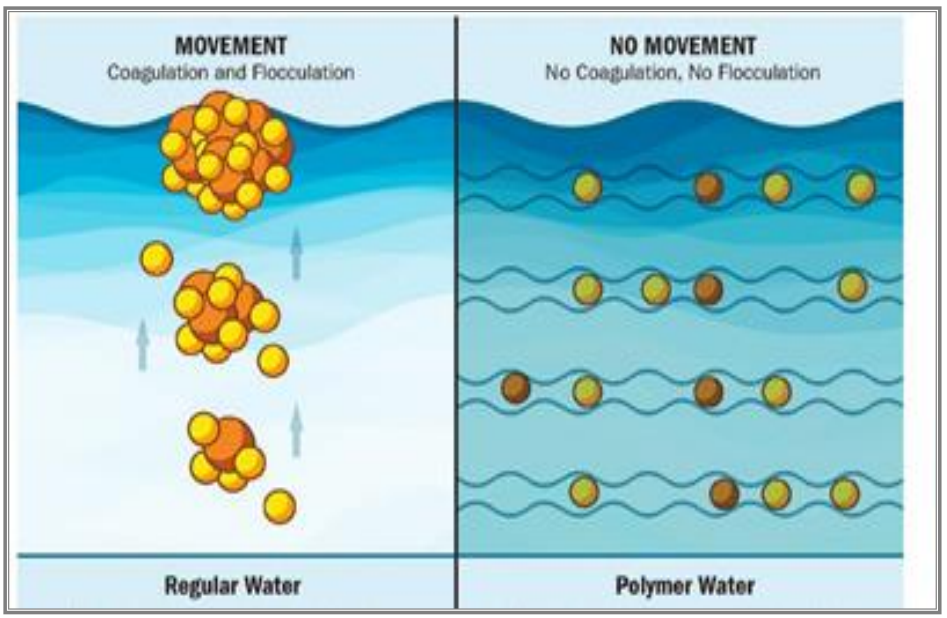
شکل ٤: سیستم سودوپلاستیک به رقیق یا باریک کننده برش *shear thinning system* و سیستم باز به غلیظ یا ضخیم کننده برش *shear thickening system* در مقابل هم (۷).

وقتی‌که فشـار بر طرف شـود، مواد سـیسـتم باز حالت عادی جریان را به خود اختیار می‌کند و برای سیستم باز معادله $logG = NlogF - log\dot{\eta}$ را استفاده می‌توانیم.

در این حالت قیمت N همیشه کوچک‌تر از ۱ است، با زیاد شدن درجه‌ی گشاده‌گی این قیمت هنوز کوچک‌تر می شود و به این ترتیب وقتی N به ۱ تقرب کند؛ سیستم بیشتر خواص و سلوک سیستم نیوتنی را نشان می‌دهد.

مواد دارای خا صیت و سلوک سیستم گشاده سو سپنشن‌های یک نواخت حاوی غلظت بلند ۵۰% ذرات کوچک غیر فلکوله deflocculated می‌باشند (۱۰).

اصـطلاح Flocculation، در کیمیا، عملیه‌ی را گویند که در آن کلوئیدها از حالت تعلیق به شـکل floc (کیسه مانند) یا flake (برف یا سبوسک مانند) بیرون می آیند، به صورت خود به خود یا به علت اضافه کردن عامل روشن‌کننده.

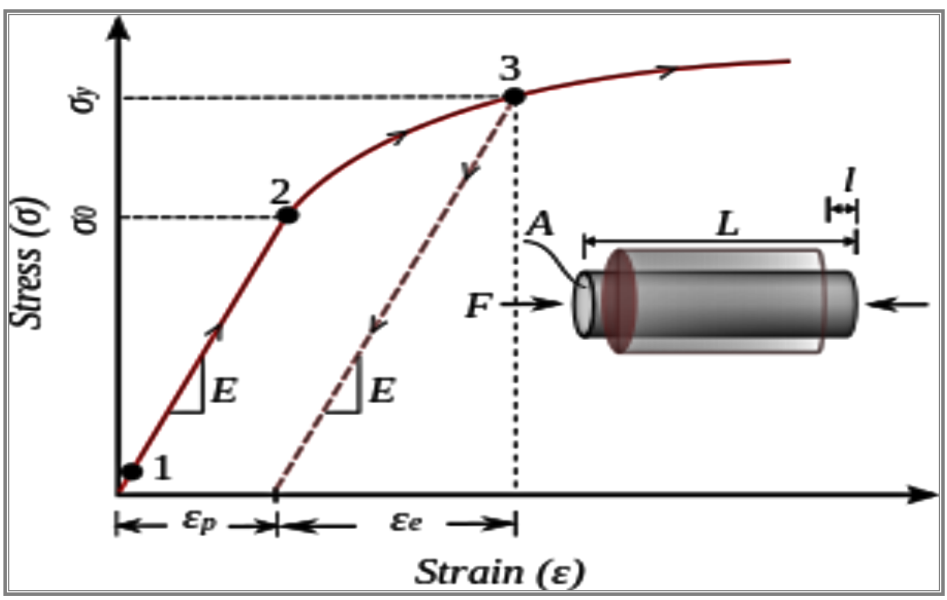


شکل ۵: حالت آب پولیمیری و آب عادی

تکسـوتروپی thixotropic: به درجه‌ی حرارت معین، در سـیسـتم‌های غیر نیوتنی مانند پلاسـتیک، سـودوپلاسـتیک و گشـاده در اثر تغییر فشـار برش با گذشـت زمان در لزوجیت آن‌ها تغییرات رونما می‌شود که به‌نام تکسوتروپی یاد می‌گردد (۸).

تکسوتروپی سیستم‌های پلاستیک و سودوپلاستیک: به هر درجه‌ی حرارت با زیاد شدن فشار برش، لزوجیت کم می شود و با دور نمودن فشار برش لزوجیت سیستم دوباره آهسته آهسته و به مرور زمان به حالت اولی بر می‌گردد. این پدیده را تکسوتروپی می‌نامند. تغییر معکوس ایزوترمل از جیل gel به زول sol اگر در ریوگرام فشـــار و سرعت برش وضـــع گردد، حلقه loop طوری که در شـــکل دیده می‌شود، حاصل می‌گردد و به‌همین ترتیب فشار برش زیاد می‌گردد (۱۳).

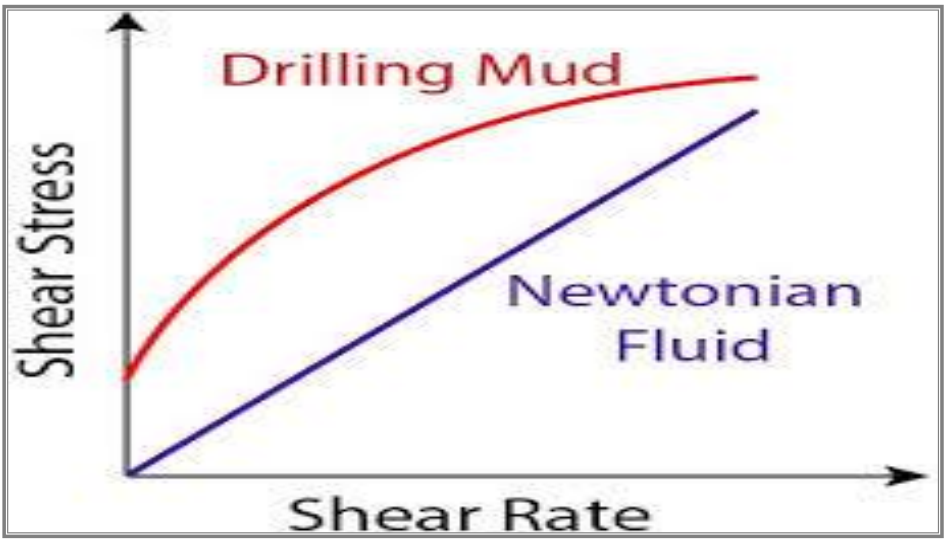
منحنی فوقانی تشکیل می شود و با کم شدن تدریجی فشار برش، منحنی تحتانی تشکیل می‌گردد. برخلاف سیستم نیوتن؛ منحنی‌های فوقانی و تحتانی با هم تطبیق نمی‌شوند (۹).



شکل ٦: لزوجیت در منحنی تحتانی نسبت به منحنی فوقانی کمتر است

منحنی پائینی طرف چپ منتقل می شود و مفهوم آن این است که لزوجیت در منحنی تحتانی نسبت به منحنی فوقانی کم‌تر است. این نشان می‌دهد که ساختمان جیل فوراً تشکیل نمی‌شود بلکه به مرور زمان تشکیل مجدد می‌کند.

سیستم‌های تکسوتروپ ذرات غیر متناظر اند که ساختمان سه بعدی سست losses را می سازند. این ساختمان به سیستم یک اندازه استحکام می‌بخشد که نمایندگی از جیل می‌کند. چون فشار برش تحمیل می شود، ساختمان می شکند و مواد از ساختمان جیل به ساختمان زول تبدیل می‌گردد اما با بر طرف نمودن فشار برش بعد از یک مدت زمانی ساختمان آن به حالت اولی بر می‌گردد (۳).



شکل ۷: تعیین خصوصیات ریولوژیک مواد

ویسکوزیمتر یا لزوجیت سنج Viscose meter: انتخاب متود در تعیین و تحقیق خصوصیت‌های ریولوژیک یک سیستم اهمیت به‌سزائی دارد. در سیستم‌های نیوتنی چون نسبت قوه‌ی برش و سرعت برش ثابت است، تغییر نمی‌کند. بناءً، دریک دستگاه که به‌سرعت خاص برش عمل می‌کند، تعیین نمودن لزوجیت ممکن است. دراین دستگاه‌ها خط ریوگرام را رسم می‌کنند، از همین سبب از این دستگاه‌ها برای تعیین نمودن مشخصات سیستم‌های غیرنیوتنی استفاده کرده نمی‌توانیم (۴).

برای این سیستم‌ها از دستگاهی مولتی پاینت multipoint که در سرعت‌های مختلف برش قدرت کار نمودن را دارد و هم ریوگرام مکمل را رسم می‌کند، کار می‌گیرند؛ دراین جا ۴ دستگاه ویسکوزیمتر که عبارت اند از:

تیوب شعریه Ostwald s U- tube viscose meter، کره در حال سقوط Falling sphere viscose meter، مخروط و صفحه Cone & plate و Cup & Bob ویسکوزیمتر (۱) دو دستگاه اولیه صرف برای سیستم‌های نیوتنی مورد استعمال دارد، ولی دو دستگاه اخیرالذکر برای هر دو سیستم کار برد دارد.

لزوجیت ارتجاعی Viscoelasticity

به‌منظور اندازه نمودن ثبات و پایداری محصولات فارمسیوتیکی و محصولات آرایشی cosmetic متودهای متعدد به کار برده می‌شود. دراین مبحث اساسات خصوصیات ریولوژیک مرکبات

غیرنیوتنی بررسی می‌گردد. اندازه نمودن تغییرات فزیکی تدریجی و جنبیدن creep، ارتعاش یا نوسان oscillatory برای مطالعه و بررسی فارمسیوتیک‌ها، اشیای نیمه‌جامد غذا و مواد آرایشی اهمیت شایانی دارد. بررسی و مطالعه‌ی قوه و سرعت برش این مرکبات با استفاده از ویسکوزیمتر انجام می‌شود. هم‌چنان ویسکوزیمتر منحنی جریان را هم رسم می نماید (۹).

اما به صورت متواتر نمی‌توانیم ماده را به حالت ا سا سی ریولوژیک بر رسی نمائیم؛ تغییرات و تغییر شکل را می‌توان تعیین کرد. هدف انالیز ویسکوالاستیک، تخریب ترکیب نیست، بلکه هدف آن بررسی قوا بین مالیکول‌ها و آیون‌ها است.

اندازه‌های ویسکوالاستیک مرکبات به اساس خصوصیت‌های میخانیکی آن انجام می‌شوند که خصوصیت‌های غلظت و لزوجیت مایع و خصوصیت‌های الاستیکی جامدات با هم یک‌جا دارد. سیستم‌های زیادی دواسازی مانند لوشن‌ها، کریم‌ها، مرهم‌ها، شیاف‌ها، سوسپنشن‌ها، محلول‌های کلوئیدی و عوامل ایمولشن‌کننده مربوط این گروپ استند (۲).

هم‌چنان ترکیبات سوسپنشن‌های بیولوژیکی مانند؛ خون، بلغم، و مایع عنق رحم هم دارنده‌ی خصوصیات الاستیکی استند. طوری‌که گفتیم ترکیب نیمه‌جامد دو خاصیت مایع و جامد دارد. لزوجیت یک مایع نیوتن از فورمول ذیل به دست می‌آید:

$$\eta = \frac{F}{G} \qquad ۷$$

F قوه‌ی برش و G سرعت برش است .http://google.com.af/books-isbn=9401592136

ترکیب جامد خاصیت سیالت ندارد؛ ولی خاصیت ارتجاعیت دارد و سلوک آن برای یک فنر به معادله‌ی ذیل که از قانون هوک گرفته شده محاسبه کرده می‌توانیم:

$$E = \frac{F}{\gamma} \qquad ۸$$

در این فورمول E معرف ارتجاعیت elastic modulus، و F فشار وارده به $dyne/cm^2$ و γ کشش را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

بررسی ریولوژی ترکیبات در ساختن، انتخاب، فورمول‌بندی و پایداری (خصوصاً در سیستم‌های پراگنده یا دسپرشنی) مواد بالای مشتریان و صارفین اهمیت فراوان دارد. به‌طور مثال محلول‌های پولیمیر که در ساختن محصولات چشم، در لنزهای تماسی به‌حیث عامل مرطوب‌کننده و یا در عوض اشک در سندروم چشم‌های خشک کاربرد دارد، باید آن خصوصیت‌های را داشته باشد که اشک طبیعی دارند ریولوژی در تهیه نمودن تابلیت و کپسول‌ها هم اهمیت خاص دارد (۱).

در محصولات موضعی بر علاوه‌ی ترکیب، ساختمان و خصوصیات فارمکولوژی باید با معیارها برابر باشد؛ هم‌چنان قابلیت پذیرش باشد. مواد محصولات غذایی مانند: مسکه، شکلات و چتنی در تمام پروسه‌ی تولید پایداری مناسب داشته باشد، جابه‌جا کردن و به دست‌های صارفین همیشه امتحان و کنترول شود. احساس مواد نیمه جامد در ذهن، احساس مواد در دست گرفتن و چگونگی انتشار مواد به روی این‌ها همه مواردی اند که درسایکولوژی مطالعه می‌شوند. متخصصین جلد محصولات موضعی را به سه دسته تقسیم نموده اند:

۱. آن محصولات که نرم استند و معمولاً برای چشم استعمال می‌گردند؛

۲. آن محصولات که پایداری متوسط دارند مانند مرهم‌ها است؛

۳. آن محصولات که برای زخم‌های باز مورد استعمال قرار می‌گیرند.

منابع

(1) Barnes, Jonathan. The pre-Socratic philosophers. (1982) ISBN 978-0-415-05079-1.

(2) Beris, A. N.; Giacomin, A. J. Everything Flows." Applied Rheology. (2014). 24: 52918. doi:10.3933/ApplRheol-24-52918.

(3) Bird, R. B. W. E. Stewart, E. N. LightfootTransport Phenomena, John Wiley & Sons,. (1960). ISBN 0-471-07392-X

(4) Byrin Bird R., Charles F. Curtiss, Robert C. Armstrong. Dynamics of Polymeric Liquids, Vole 1 & 2, Wiley Interscience, (1989). ISBN 0-471-51844-1 and 978-0471518440

(5) Faith A. Morrison. Understanding Rheology, Oxford University Press, (2001). ISBN 0-19-514166-0 and 978-0195141665

(6) Ferrari, L; Kaufmann, J; Winnfield, F; Plank, J. "Multi-method approach to study influence of super plasticizers on cement suspensions". Cement and Concrete Research. (2011). 41 (10): 1058. Doi: 10.1016/j.

(7) Kumagai, N., Sasajima, S., Ito, H., Long-term Creep of Rocks, J. Soc. Mat. Sci. (Japan), Vol. 27, p. 157 (1978) Online Gunasegaram, M.

(8) Lai, Kasif Onaran. Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials, Dover Publications Schowalter. W. R. (1989).

(9) McKenna, and J.G. Lyng"Relaxation time and viscosity of fused silica glass at room temperature". Eur. Phys. J. E. (2003). 34 (9): 9–14. Doi: 10.1140/epje/i2011-11092-9. PMID 21947892.

(10) Mehmet. Cheese rheology and texture, CRC Press, (2003). ISBN 1-58716-021-8 Mechanics of Non-Newtonian Fluids Pergamon ISBN 0-08-021778-8

(11) York. William N. Findley, James S. (1996).

(12) Silaghi, Fiorina (et al)."Estimation of rheological properties of gelato by FT-NIR spectroscopy". Food Research International. 2010.43 (6): 1624–1628. Doi:10.1016/j.foodres.2010.05.007. Retrieved 7 July 2016.

(13) Steffe. Rheological Methods in Food Process Engineering. Freeman Press. (1996). ISBN 978-0-9632036-1-8.