

مثال: در یک آزمایش گسترش لایه یک ماده غشایی با دسکوتر اندکزه لری شده است. در سرعت برشی 100 s^{-1} تنش برشی 4 dyne/cm^2 ثبت شده است. گرانروی را به گونه و آن را بر حسب واحد $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ، cP ، kg/ms ، P ، $\text{Pa}\cdot\text{s}$ بیان کنید.

تبدیل تنش برشی در واحد SI

$$\delta = \frac{4 \text{ dyne/cm}^2 \times 0.1 \text{ kg/ms}^2}{1 \text{ dyne/cm}^2} = 0.4 \text{ kg/ms}^2 = 0.4 \text{ Pa}$$

$$\mu = \frac{\delta}{\gamma} = \frac{0.4 \text{ Pa}}{100 \text{ s}^{-1}} = 0.004 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

ی به گرانروی:

$$\mu = \frac{4 \text{ dyne/cm}^2}{100 \text{ s}^{-1}} = \frac{0.04 \text{ dyne}\cdot\text{s/cm}^2}{1 [\text{dyne}\cdot\text{s/cm}^2] / 1 [\text{P}]} = 0.04 \text{ P}$$

$$\mu = \frac{0.04 \text{ P}}{1 \text{ P} / 100 \text{ cP}} = 4 \text{ cP}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg/ms}^2 \rightarrow \mu = 0.004 \text{ kg/ms}$$

$$1 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 1 \text{ cP}$$

$$\mu = 4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

مثال: بزرگ‌نمایی در رینامیک هوا و آب در دماهای 20°C و 60°C تعیین و مقایسه کنید؟

استفاده از جدول A.4.1: خواص فیزیکی آب در دماهای مختلف
جدول A.4.4: خواص فیزیکی هوای خشک در دماهای مختلف

آب

20°C	60°C	
$\mu = 993.414 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\mu = 471.650 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$	رینامیک
$\nu = 1.006 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$\nu = 0.478 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	رینامیک

هوا

20°C	60°C	
$\mu = 18.240 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\mu = 19.907 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$	رینامیک
$\nu = 15.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$\nu = 19.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	رینامیک

نتیجه: با افزایش دما، بزرگ‌نمایی در رینامیک آب کاهش می‌یابد و در رینامیک هوا، بزرگ‌نمایی افزایش می‌یابد. اثر دما بر بزرگ‌نمایی مایعات نسبت به گازها محسوس‌تر است. بزرگ‌نمایی در رینامیک هوا ضعیف‌تر از آب است.

تاثيرها بر گرانروی

- با توجه به تئيرها در جنبه فرادری، تعین دامنه گرانروی به دریا در محصله تئوری با محصله آزمایش

- ذکر در جنبه اندازه گیری گرانروی

- برای آ - جدول A.4.1 به جهت به دریا

ارتباط گرانروی محصله تئوری با دریا با رابطه آرنوس قابل بیان کردن است:

$$\mu = B_a \cdot e^{\frac{E_a}{R_g T_A}} \quad \text{یا} \quad \mu = B_a \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R_g T_A}\right)$$

μ : گرانروی

B_a : ثابت آرنوس

T : دما

R_g : ثابت گاز

E_a : ثابت انرژی فعال سازی

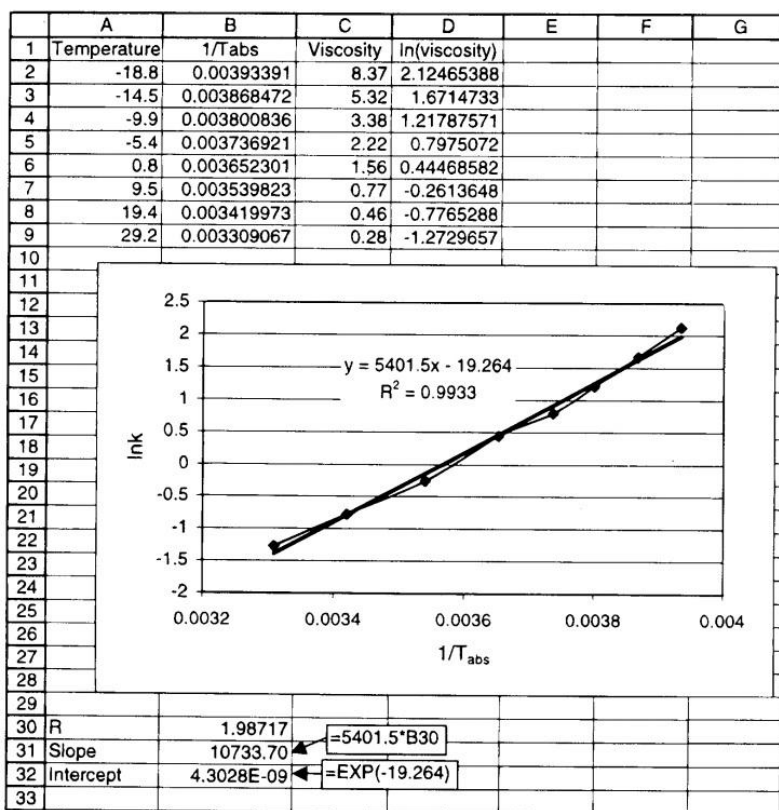
$$\ln \mu = \ln B_a + \frac{E_a}{R_g T_A}$$

با رسم مقادیر $\ln \mu$ در برابر $\frac{1}{T}$ و برآزش بهترین خط، امکان تعیین تغییرات گرانروی در دماهای مختلف وجود دارد.

مثال: محلول زیرگرمی عصاره آب پرتقال را در سرعت برشی 100 s^{-1} رجهت دانه می دهد. انرژی رند سازی، ثابت آرنوس و گرمای در دمای 5°C را محاسبه کنید.

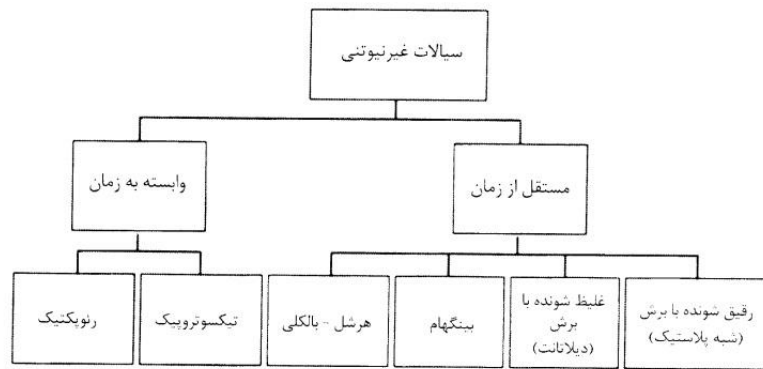
$T(^{\circ}\text{C})$	$\mu(\text{Pa}\cdot\text{s})$
-18.8	8.37
-14.5	5.32
-9.9	3.38
-5.4	2.22
0.8	1.56
9.5	0.77
19.4	0.46
29.2	0.28

$$R_g = 1.98717 \text{ cal/mol}$$

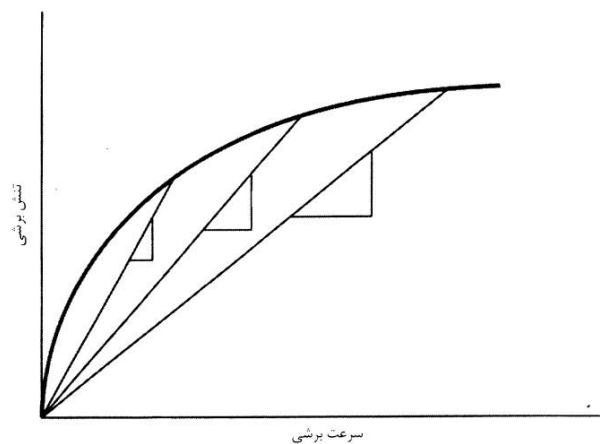


خواص سیالیت غیر نیوتنی

سیالیت غیر نیوتنی بعد از مستقل از زمان، وابسته به زمان هستند.
عدم تبعیت از قانون ویسکوزیته نیوتنی
گرانروی ظاهری: *Apparent viscosity*



شکل ۴۹-۵ طبقه بندی سیالات غیر نیوتنی.



شکل ۵۱ تعیین گرانروی ظاهری از نمودار تنش برشی بر حسب سرعت برشی.

① سیالیت رقیق شونده با برش: shear thinning or pseudoplastic

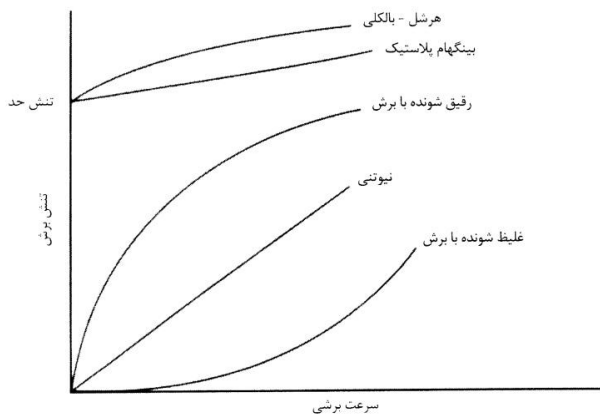
مثل شیره تعلیق شده، پدیده مسدود، مایه تر، خردل در پختن و بزی

علت رفتار سیالیت رقیق شونده با برش

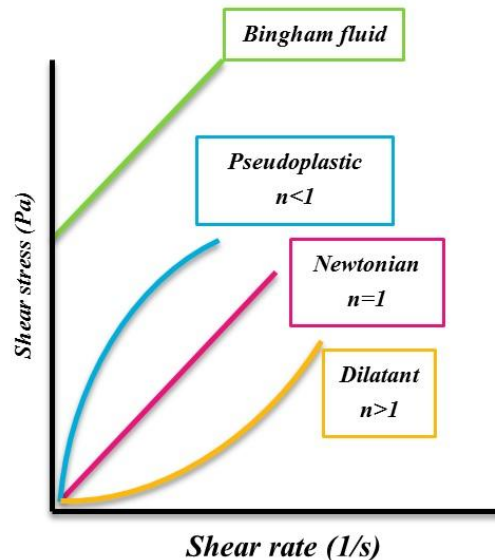
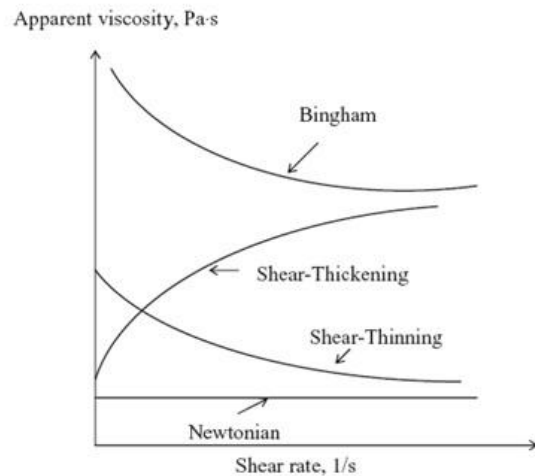
② سیالیت غلیظ شونده با برش: shear thickening or dilatant

مثل سریشون، ۴/۱ آب رشت به مایه سریشون، ذرات جامد در مایع

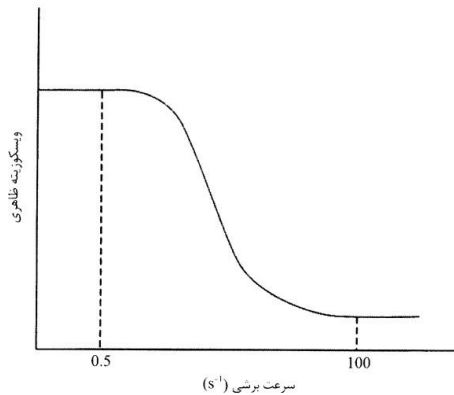
① + ② ← سیالیت کانن توان power law



شکل ۵-۵ رابطه بین تنش برشی و سرعت برشی برای سیالات نیوتنی و غیر نیوتنی.



اندازه گیری خواص رئولوژیکی سیالات مانرن توان در محدوده $5^{-1} - 100 - 0.5$



شکل ۵-۲ گرانروی برحسب سرعت برشی.

جدول ۴-۵ سرعت‌ها برشی رایج در فرآیندهای صنعتی و غیر صنعتی

وضعیت	$\dot{\gamma}$ (1/s)	کاربرد
ته‌نشینی ذرات معلق در یک مایع	$10^{-6} - 10^{-3}$	داروسازی - رنگ‌ها - ادویه‌ها در سس سالاد
تراز شدن در اثر تنش سطحی	$10^{-2} - 10^{-1}$	رنگ‌ها - جوهر چاپ
نخلیه در اثر نیروی ثقل	$10^{-1} - 10^1$	ظروف کوچک مواد غذایی - رنگ‌کاری و پوشش
روغن رانی (اکستروژن)	$10^0 - 10^3$	غذاهای سبک، غلات، ماکارونی، پلیمرها، خمیر دندان
کالدرینگ	$10^1 - 10^2$	لوله کردن خمیر (Dough Sheetting)
نخلیه از یک بطری	$10^1 - 10^2$	مواد غذایی، آرایشی و بهداشتی
جویدن و بلعیدن	$10^1 - 10^2$	مواد غذایی
پوشش از طریق فروبری	$10^1 - 10^2$	فرآورده‌های قنادی، رنگ‌ها
همزدن و اختلاط	$10^1 - 10^3$	صنایع غذایی
جریان در لوله	$10^1 - 10^3$	صنایع غذایی، جریان خون
مالش‌دهی	$10^2 - 10^4$	کرم‌ها و لوسیون‌ها
برس زدن (Brushing)	$10^3 - 10^4$	رنگ‌زدن، رژ لب، پولیش ناخن (لاک)
پاشیدن	$10^3 - 10^5$	خشک‌کن پاششی، رنگ‌آمیزی پاششی، پاشش سوخت
پوشش‌دهی با سرعت بالا	$10^4 - 10^6$	کاغذ
روانکاری	$10^3 - 10^7$	یاتاقان‌ها (Bearings)، موتورهای گازوئیلی

سیالیت نیوهم بکسید Bingham plastic

مثل سس و رگم فرنگی

سیالیت هرشل باکس Herschel Bulkley

جدول ۵-۵ محدوده ضرایب برای مدل های ارائه شده

سیال	K	n	σ_0	مثال های رایج
هرشل - بالکلی	> 0	$0 < n < \infty$	> 0	خمیر ماهی خرد شده، خمیر کشمش
نیوتنی	> 0	1	0	آب، آب میوه، عسل، شیر، روغن نباتی
رفیق شونده با برش (شبه پلاستیک)	> 0	$0 < n < 1$	0	سس سیب، پوره موز، عصارة آب پرتقال
غلیظ شونده با برش (دیلاتانت)	> 0	$1 < n < \infty$	0	برخی از انواع عسل، محلول نشاسته ذرت خام 40%
نیوهم پلاستیک	> 0	1	> 0	رُب گوجه فرنگی، خمیر دندان

جدول ۶-۵ خواص رئولوژیکی برخی از مواد غذایی

فرآورده	درصد مواد جامد تام	T (°C)	n (-)	K (Pa·s ⁿ)	σ_0 (Pa)	$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)
امه، 20% چربی	---	40	1.0	0.00238	---	---
امه، 20% چربی	---	80	1.0	0.00129	---	---
امه، 40% چربی	---	40	1.0	0.00690	---	---
شکلات (ذوب شده)	---	46.1	0.574	0.57	1.16	---
مساره آب پرتقال (ناول)	65° Bx	29.5	0.528	9.09	---	20 - 450
رُب گوجه فرنگی	5.8	32.2	0.59	0.223	---	500 - 800
رُب گوجه فرنگی	5.8	65.5	0.47	0.37	---	500 - 800
رُب گوجه فرنگی	25	32.2	0.41	12.9	---	500 - 800
رُب گوجه فرنگی	25	82.2	0.43	6.1	---	500 - 800
رُب گوجه فرنگی	30	48.8	0.42	15.1	---	500 - 800
رُب گوجه فرنگی	30	65.5	0.43	11.7	---	500 - 800
سس مایونز	---	25	0.55	6.4	---	30 - 1300
سس مایونز	---	25	0.6	4.2	---	40 - 1100
روغن ذرت	---	25	1.0	0.0565	---	---
روغن سویا	---	30	1.0	0.0406	---	---
روغن سویا	---	50	1.0	0.0206	---	---
خمیر ماهی چرخ شده (سوریمی)	---	3 - 6	0.91	8.55	1600.0	62 - 238

مدل دینامیکی برای رفتار رگولوشنی سیالیت

① power law قانون توان

$$\tau = K \dot{\gamma}^n$$

$n < 1$ تئقی شونده با برش

$n > 1$ غلیظ شونده با برش

برای سیالیت تئقی شونده یا غلیظ شونده با برش

(Pa) تنش برش: τ

(s^{-1}) سرعت برش: $\dot{\gamma}$

($Pa \cdot s^n$) ضریب برای K

n : (برای بد) شاخص تغییر

② سیالیت بیدینامیک

$$\tau = \tau_0 + \frac{\mu}{\rho} \dot{\gamma}$$

(Pa) تنش برش اولیه: τ_0

($Pa \cdot s$) گرانروی بیدینامیک: $\frac{\mu}{\rho}$

③ سیالیت حزش با لکلی

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n$$

④ مدل کاسون

$$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + K (\dot{\gamma})^{0.5}$$

کاربرد: در صنعت سلفات سازی

Newtonian	Shear thinning (Pseudoplastic)	Shear thickening	Bingham Plastic	Non-Bingham Plastic
$n = 1$	$0 < n < 1$	$1 < n < \infty$	$n = 1$	$0 < n < 1$
$\tau_0 = 0$	$\tau_0 = 0$	$\tau_0 = 0$	$\tau_0 > 0$	$\tau_0 > 0$
Gases; oils; water; tea, coffee, beer, carbonated beverages, fruit juices, milk	Apple sauce, banana puree, concentrated fruit juices	Corn starch Suspension	Mayonnaise, tomato paste, ketchup	Minced fish paste; raisin paste rice flour-based batter used in fried products; Molten milk chocolate

Activate
Go to PCs

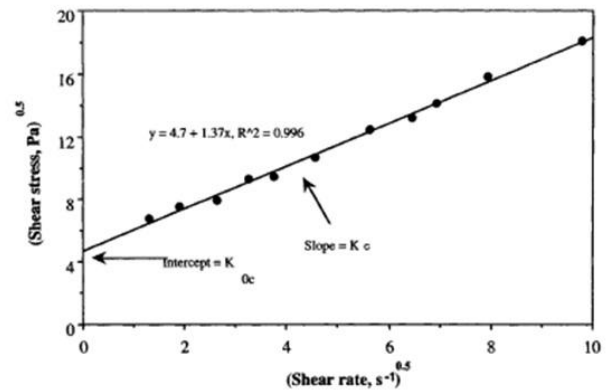
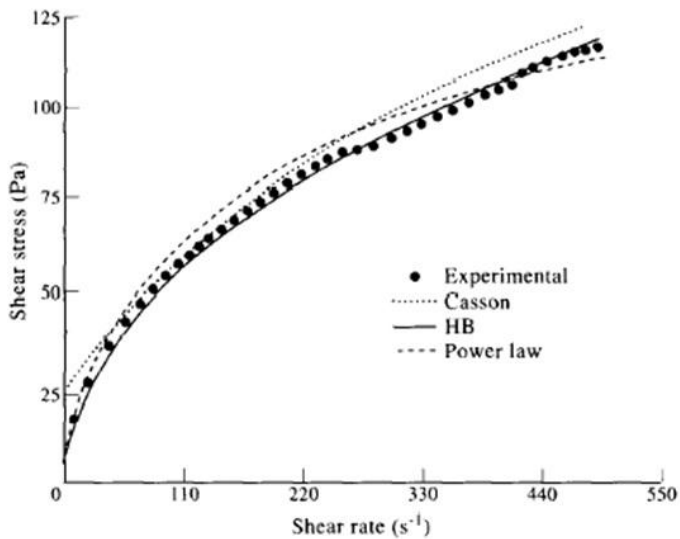
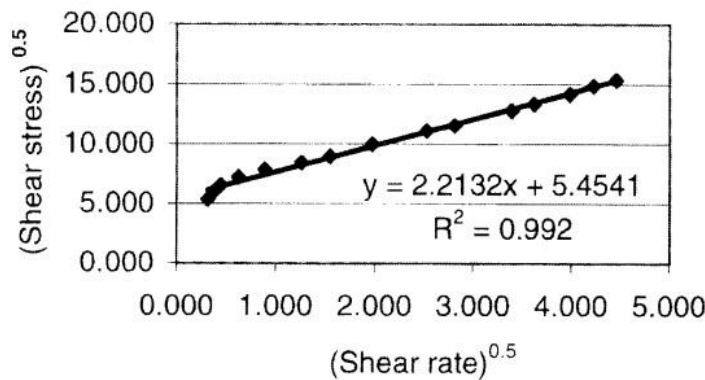


Figure 2-2 Plot of $(\dot{\gamma})^{0.5}$ versus $(\sigma)^{0.5}$ for a Food That Follows the Casson Model. The square of the intercept is the yield stress, and that of slope is the Casson plastic viscosity. Casson, 1959.

مثال: جدول زیر داده های رئولوژیکی مربوط به گندم سفید شیری تجارتی در دما ۲۰ درجه سانتیگراد را نشان می دهد. با استفاده از مدل کاسون، ضریب یاداری و تنش برش اولیه آن را تعیین کنید.

تنش برشی (Pa)	سرعت برشی (s^{-1})
28.6	0.099
35.7	0.14
42.8	0.199
52.4	0.39
61.9	0.79
71.4	1.6
80.9	2.4
100	3.9
123.8	6.4
133.3	7.9
164.2	11.5
178.5	13.1
201.1	15.9
221.3	17.9
235.6	19.9

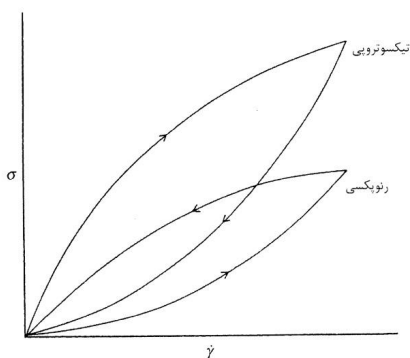
	A	B	C	D	E
1	Shear rate	Shear stress	Shear rate ^{0.5}	Shear stress ^{0.5}	
2	0.099	28.6	0.315	5.348	
3	0.14	35.7	0.374	5.975	
4	0.199	42.8	0.446	6.542	
5	0.39	52.4	0.624	7.239	
6	0.79	61.9	0.889	7.868	
7	1.6	71.4	1.265	8.450	
8	2.4	80.9	1.549	8.994	
9	3.9	100	1.975	10.000	
10	6.4	123.8	2.530	11.127	
11	7.9	133.3	2.811	11.546	
12	11.5	164.2	3.391	12.814	
13	13.1	178.5	3.619	13.360	
14	15.9	201.1	3.987	14.181	
15	17.9	221.3	4.231	14.876	
16	19.9	235.6	4.461	15.349	
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					



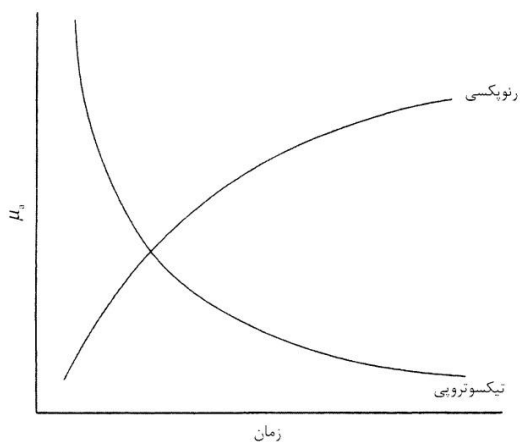
سیالات غیر نیوتنی وابسته به زمان

① تیکسوتروپیک : مثل ماست و غذای کدو

② رئوپیک : مودل و عسل و شکر



شکل ۵۴-۵ نمودار تنش برشی بر حسب سرعت برشی برای سیالات غیر نیوتنی وابسته به زمان.



شکل ۵۵-۵ نمودار گرانیوی ظاهری بر حسب زمان برای سیالات غیر نیوتنی وابسته به زمان.

