

جلسه هشتم

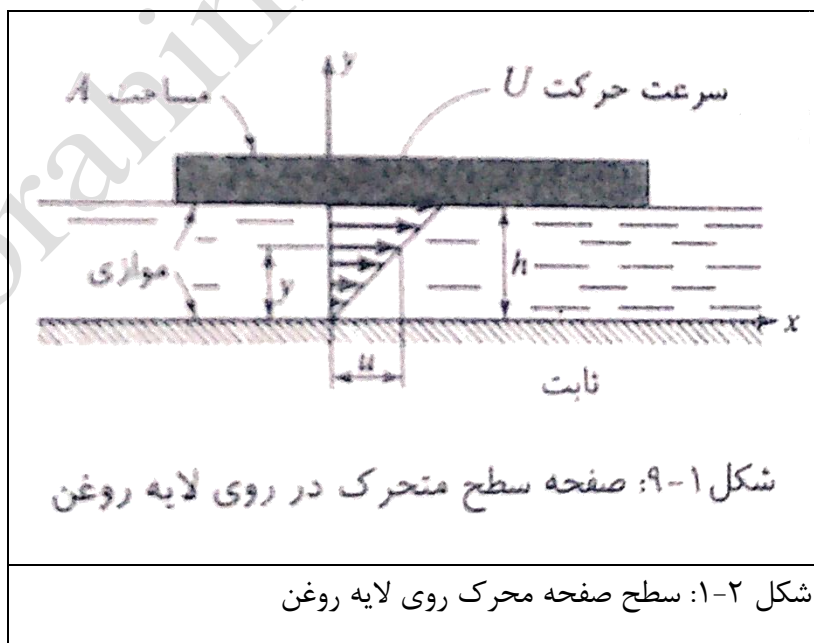
فصل دوم: روانکاری (Lubrication)

ماده روانکار برای کاهش اصطکاک در یاتاقان های ماشین آلات و میان سطوحی که روی هم می لغزند به کار می رود در واقع ماده روانکار مقدار سایش، گرما و امکان گریپاژ قطعات را کاهش می دهد اگرچه ماده روان کار اصطکاک میان سطوح فلزی را به مقدار زیادی کاهش می دهد اما اصطکاک خود لایه روغن یا ماده روان کار باید مورد توجه قرار گیرد.

بنابراین مطالعه روانکاری و طراحی یاتاقان ها عمدتاً شامل پدیده های مربوط به لایه روانکاری میان قطعات متحرک می شود مبحث روانکاری بسیار گسترده است و مطالعه ریاضی وار آن از عهده این درس خارج است خوشبختانه محاسبات طراحی را می توان با کاربرد منحنی های به دست آمده از تحلیل های ریاضی روانکاری انجام داد

لزجت و قانون نیوتن

در شکل زیر ورقی در روی یک لایه روغن به ضخامت h قرار دارد این ورق با نیروی F که موازی با ورق ثابت وارد میشود با سرعت U حرکت می کند. نباید فکر کنیم که ورق در روی ذرات فوقانی روغن می لرزد بلکه این ذرات به طور سفت به ورق چسبیده اند و همراه آن حرکت می کنند. بنابراین اگر ورق و لایه روغن مماس با آن با سرعت U حرکت کند ، سرعت لایه های میان دو ورق متحرک و ثابت ، متناسب با فاصله شان از ورق ثابت (ورق تحتانی) خواهد بود که در شکل توصیف شده است.



طبق قانون نیوتن، مقدار تنش برشی در لایه‌ای از روغن با مقدار سرعت U رابطه مستقیم و با ضخامت h لایه رابطه معکوس دارد بنابراین می توان نوشت:

$$\tau = \mu \frac{U}{h} = \frac{F}{A}$$

ضریب تناسب μ لزجت مطلق یا لزجت دینامیک نامیده می شود در این معادله اندازه مساحت A در مقایسه با h بسیار بزرگتر شده است. زیرا در این شرایط، میتوان از آشفتگی جریان روغن در لبه ها صرف نظر کرد.

لزجت مطلق در واقع معیار توانایی روغن یا ماده روانکاری برای مقاومت در مقابل تنش برشی است. لذت مطلق یک پدیده مولکولی است و کار انجام یافته توسط نیروی F تبدیل به گرما می شود این گرما دمای روغن و قطعات مجاور را بالا می برد ابعاد μ با استفاده از معادله به صورت زیر در می آید

$$\mu = \frac{F(lb)h(in)}{A(in^2)U\left(\frac{in}{sec}\right)} = \frac{Fh}{AU} \left(\frac{lbsec}{in^2} \right)$$

بنابراین یکای اصلی لزجت مطلق در سیستم یکاهای انگلیسی پوند در ثانیه بر اینچ مربع است. است این یکا به افتخاره رینولدز $reyn$ نامگذاری شده است معادله بالا در سیستم یکاهای SI به صورت زیر نوشته می شود:

$$\mu = \frac{Fh}{AU} \left(\frac{Nsec}{m^2} \right)$$

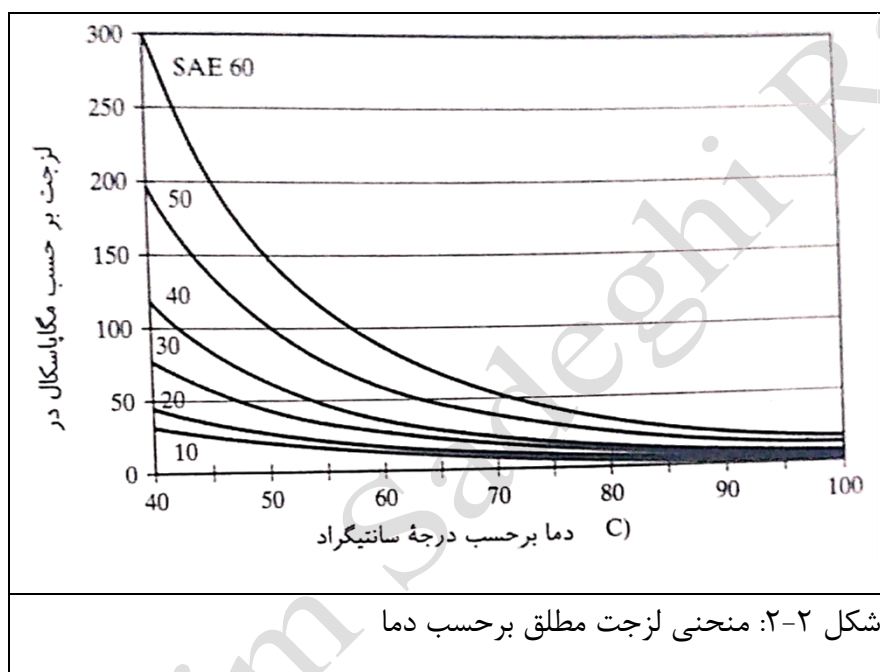
بنابراین یکای اصلی لذت در سیستم یکاهای پاسکال در ثانیه است. نحوه تبدیل یکاهای انگلیسی به SI به صورت زیر است

$$1reyn = 6890Pa \times sec$$

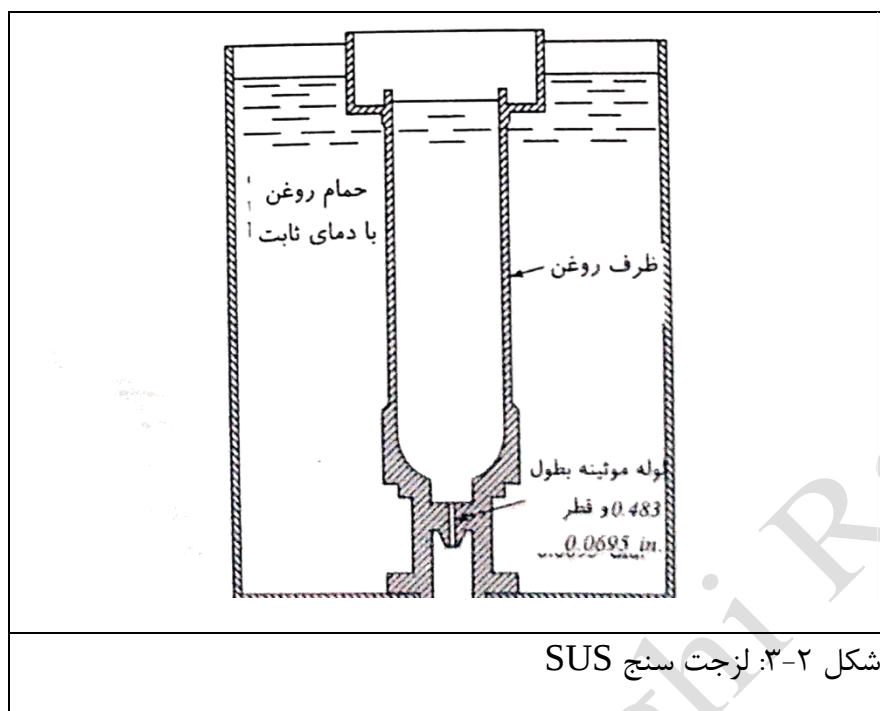
یکاهای $reyn$ و پاسکال در ثانیه به قدری بزرگ هستند که در عمل غالباً از $\mu reyn$ و میلی پاسکال در ثانیه استفاده می شود. به علاوه از یکای دیگر مرسوم به پویز نیز برای اندازه گیری لزجت مطلق استفاده می شود. از یکای پویز سابقاً بیشتر استفاده می شد یک سانتی پویز (cp) دقیقاً برابر با یک میلی پاسکال در ثانیه است تبدیل از $\mu reyn$ به میلی پاسکال در ثانیه به صورت زیر انجام می گیرد:

$$1\mu reyn = 6.89MPa \times sec$$

لزجت مطلق روغن ها وابستگی شدیدی به دمای آنها دارد. افزایش دمای معین ممکن است لزجت مطلق روغن را چندین برابر کاهش دهد. در شکل زیر منحنی لذتهای مطلق میانگین چند روغن بر حسب $MPa \times sec$ نشان داده شده است. این روغن ها برای روانکاری اتومبیل ها به کار می روند، منحنی یاد شده توسط جامعه مهندسان اتوماتیک *SAE* (Society of Automotive Engineers) تهیه شده است. یاد آور می شویم که منحنی یک روغن معین ممکن است به طور قابل توجهی با این منحنی ها فرق کند. زیرا رده بندی *SAE* عملاً یک سری از نوارهای لزجی را تعریف می کند.



به لحاظ تجاری معمولاً لزجت یک روغن را بر حسب پارامترهای مربوط به دستگاه مورد استفاده برای اندازه گیری آزمایشگاهی آن مشخص میکنند. یک روش معمول برای اندازه گیری لزجت روغن ها عبارت از روش *SUS* (*Saybolt Universal Seconds*) در دمای معین است. لزجت *SUS* عبارت است از مدت زمانی بر حسب ثانیه که طول می کشد تا $60cm^3$ روغن از درون یک لوله موئینه با قطر معین در دمای معین F عبور کند.



لذت اندازه گیری شده توسط روش سایبولت لزجت سینماتیک v نامیده می شود و بر حسب طول به توان دو بر واحد زمان بیان می شود بنابراین با لذت مطلق فرق دارد. یکای اصلی لزجت سینماتیک cm^2/sec و به نام استوک معروف است. یک استوک را با St نشان می دهند معمولاً برای مدیریت بهتر عدد استوک از واحد سانتی استوک (cSt) استفاده میشود یک سانتی استوک برابر با یک صدم استوک است لزجت سینماتیک بر حسب سانتی استوک را می توان به صورت زیر بر حسب SUS نوشت.

$$v = \left(0.22SUS - \frac{180}{SUS} \right)$$

با تقسیم لزجت مطلق بر چگالی روغن می توان لزجت مطلق را به لزجت سینماتیک تبدیل کرد.

بنابراین برای تعیین لزجت مطلق از روی لزجت سینماتیک می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\mu = \left(0.22SUS - \frac{180}{SUS} \right) \rho$$

در این رابطه لزجت سینماتیک بر حسب $MPa \times sec$ و چگالی جرمی ρ بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب است و از نظر عددی برابر با چگالی نسبی است. در مورد روغن های نفتی چگالی جرمی بستگی به دمای روغن دارد و از رابطه زیر به دست می آید:

$$\rho = \rho_{15.6^\circ C} - 0.00063(C - 15.6)$$

در این رابطه $\rho_{15.6^\circ C}$ چگالی جرمی در دمای $15.6^\circ C$ و تقریباً برابر با 0.89 gr/cm^3 است. در مواردی که مقدار بسیار دقیق در دسترس نیست از 0.89 برای محاسبات مهندسی می توان استفاده کرد.

از آنجا که لزجت سینماتیک در تست های آزمایشگاهی به طور مکرر مورد استفاده قرار می گیرد ، لذا جامعه آزمایشگران مواد آمریکا موسوم به *ASTM (American Society for Testing and Materials)* استاندارد *D341-93* را تهیه کرده اند که شامل نوع ویژه ای کاغذ گراف است. روی این کاغذ نمودار لزجت سینماتیک به صورت یک خط راست رسم می شود این کاغذ یک مقیاس لگاریتمی در روی محور قائم و یک مقیاس لگاریتمی روی محور افقی ارائه می دهد منحنی های لزجت روی این چارت ها وسیله راحتی برای تعیین لزجت سینماتیک در هر نقطه هستند. البته به شرطی که لزجت سینماتیک در دو دمای متفاوت معلوم باشد و بتوان با استفاده از آن ها خط لزجت سینماتیک را رسم کرد طبق گزارش مانینگ (*Manning*) یک تقریب بسیار خوب برای خطی که روی کاغذ گراف رسم می شود به صورت زیر است:

$$\log \log Z = A - B \log T$$

که داریم:

$$Z = v + 0.7 + \exp(-1.47 - 1.84v - 0.51v^2)$$

یا

$$v = (Z - 0.7) - \exp(-0.7487 - 3.295(z - 0.7) + 0.6119(z - 0.7)^2 - 0.3193(z - 0.7)^3)$$

که در آن:

$\log : \log_{10}$

$v : \text{Kinematics Viscosity (cSt)}$

$T : \text{Temperature (}^\circ K)$

$B, A : \text{Constants}$

استاندارد *ASTM* هشدار می دهد که چارت *D341* باید تنها در محدوده به کار رود که در آن روغن های مورد نظر به صورت مایعات همگن هستند بنابراین محدوده پیشنهاد شده در میان نقطه ابری در دماهای پایین

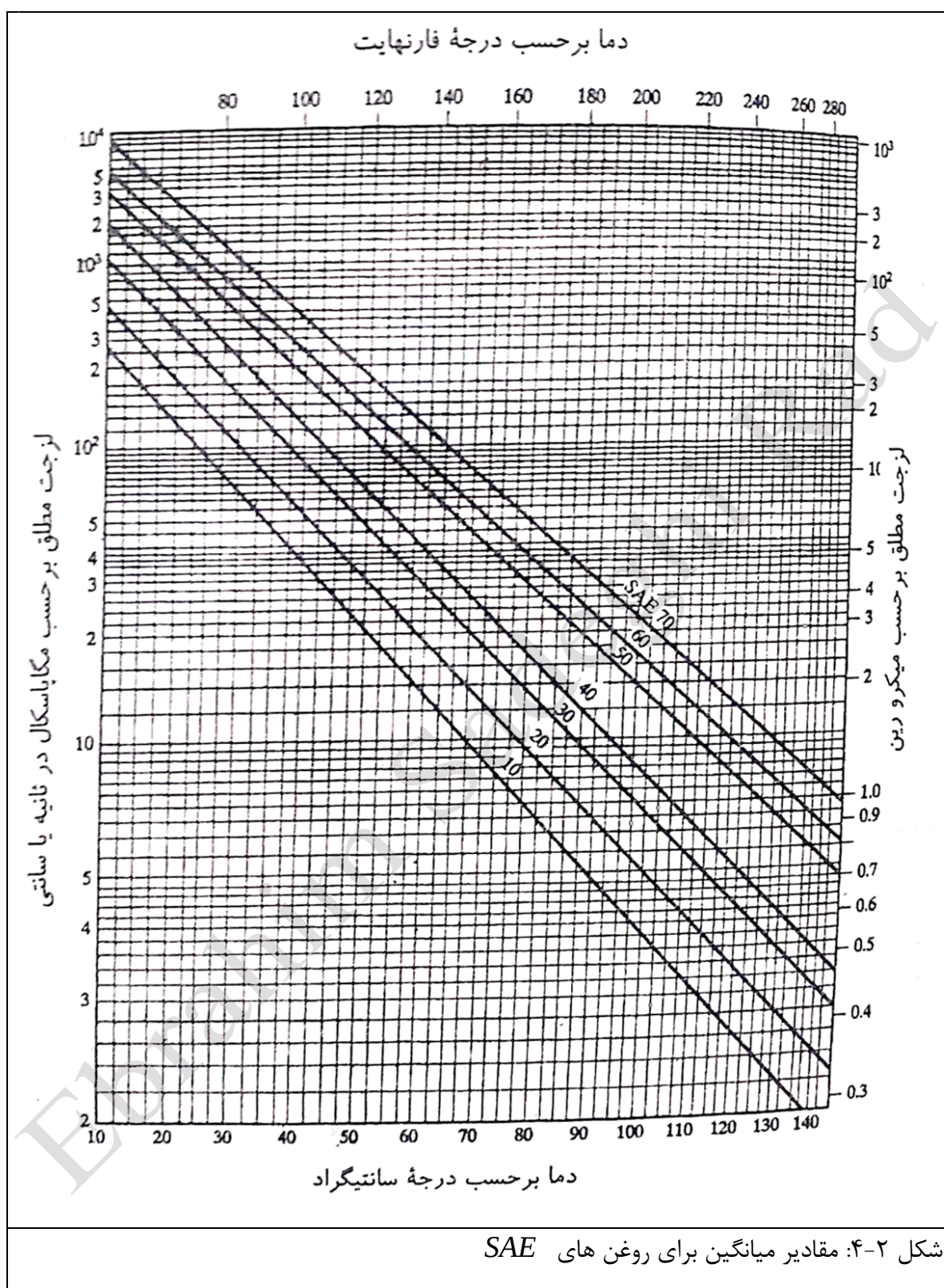
و در نقطه جوش اولیه در دمای بالا قرار دارد. از آنجا که چگالی روغن بستگی به دما دارد، ضریب تبدیل میان لزجت سینماتیک و لزجت مطلق وابسته به دما است. به همین دلیل چارت $ASTM - D341$ که برای لزجت سینماتیک به صورت خط راست است در مورد لزجت مطلق به شکل خط راست نیست. اما انحراف واقعی از خط راست نسبتاً کوچک (برای دمای $40 - 100^{\circ}C$ در حدود 2%) است.

بنابراین چارت $D341$ می تواند به عنوان روشی برای تعیین لزجت های مطلق روغن های گوناگون به کار رود. شکل زیر نشانگر لزجت مطلق روغن های متداولی است که به روش SAE درجه بندی شده اند خطوط این شکل با استفاده از چارت $D341$ رسم شده اند.

جامعه مهندسان اتومکانیک $ASTM$ روغن ها را برحسب لزجت آنها طبقه بندی می کنند در شکل های قبل روغن های SAE شماره 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 نشان داده شده اند. این روغن ها در $100^{\circ}C$ دارای خاصیت ویژه هستند. در روش SAE همچنین با کاربرد علائمی مانند 5W, 10W, 20W روغن ها را طبقه بندی می کنند. این روغن در دمای $18^{\circ}C$ - خاصیت ویژه ای از خود نشان می دهد. روغن های چند وزنی در اتومکانیک کاربرد دارد و باید هر دو خاصیت ویژه یادشده را داشته باشند. برای مثال روغن 30 - 10W باید دارای خاصیت لزجی در دماهای $18^{\circ}C$ - و خاصیت لزجی کار در دمای $100^{\circ}C$ باشد. روغن های چند درجه ای در مقایسه با روغن های تک درجه ای نسبت به دما تغییر لزجت کمتری از خود نشان می دهند و همین دلیل در کاربردهایی که تغییر دمای گسترده ای رخ می دهد بهتر عمل می کند.

مواد روانکاری سیال مورد استفاده در صنعت، بر طبق استانداردهای بین المللی مشخص می شوند. این استانداردها در $ASTM - D2422 - 86$ که مجدداً در سال ۱۹۹۳ تصویب شد و در سازمان استاندارد های بین المللی ISO مستند شدند. سیالات روانکاری مشخص شده توسط این استاندارد دارای علامت $ISO - VG$ همراه با یک عدد هستند. عدد در آخر علامت درج می شود و نشانگر لزجت سینماتیک بر حسب cSt در دمای $40^{\circ}C$ است. ۱۸ نوع استاندارد مشخص شده اند که در گستره $ISO - VG2$ تا $ISO - VG1500$ قرار می گیرد.

گریس های روانکاری مواد غیر نیوتنی هستند بدین معنی که این مواد تا زمانی که تحت یک تنش برشی بزرگتر از تسلیم خود قرار نگرفته اند جریان می یابند. موقعی که تنش برشی وارد بر گریس بیشتر از تنش تسلیم آن شود، با افزایش تنش از لزجت گریس کاسته می شود. در این شرایط لزجت گریس را لزجت ظاهری می نامند. چند روش اندازه گیری لزجت ظاهری مواد روانکاری غیرنیوتنی مانند گریس ها، در استاندارد $ASTM - D1092 - 93$ نشان شده است.



SAE Viscosity Grade	Low Temp. Cranking (cP)	Low Temp. Pumping (cP)	Minimum Kinematic (cSt)	Maximum Kinematic (cSt)	Hi-Temp. Hi-Shear (cP)
0W	6,200 @ -35 °C	60,000 @ -40 °C	3.8	-	-
5W	6,600 @ -30 °C	60,000 @ -35 °C	3.8	-	-
10W	7,000 @ -25 °C	60,000 @ -30 °C	4.1	-	-
15W	7,000 @ -20 °C	60,000 @ -25 °C	5.6	-	-
20W	9,500 @ -15 °C	60,000 @ -20 °C	5.6	-	-
25W	13,000 @ -10 °C	60,000 @ -15 °C	9.3	-	-
8	-	-	4	<6.1	1.7
12	-	-	5	<7.1	2.0
16	-	-	6.1	<8.2	2.3
20	-	-	6.9	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	3.5 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 monograde)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

شکل ۲-۶: جدول برای روغن های SAE