

## تقطیر فرآورده‌های نفتی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:

- ۱- تقطیر ASTM را شرح دهد و اهمیت آن را بیان کند.
- ۲- منحنی تقطیر را بر اساس نتایج آزمایش رسم نماید.

### ۱-۶- مقدمه

این آزمایش که به تقطیر ASTM<sup>۱</sup> مشهور است، ساده‌ترین نوع تقطیر است که به منظور تعیین محدوده‌ی دمای جوش محصولات نفتی مختلف نظیر بنزین، نفتا، نفت سفید، گازوییل و سوخت کوره انجام می‌شود. می‌دانیم مواد خالص در فشار ثابت در یک دمای ثابت و معین می‌جوشند یعنی تا زمانی که آخرین قطره‌ی مایع تبخیر شود، دما تغییر نمی‌کند و همچنان ثابت است. اما مخلوط‌ها و از جمله محصولات نفتی که مخلوطی از هیدروکربن‌های مختلف می‌باشند، در یک دمای ثابت نمی‌جوشند، بلکه دارای «محدوده‌ی دمای جوش» می‌باشند. در این آزمایش می‌توان محدوده‌ی دمای جوش ترکیبات مختلف نفتی را تعیین کرد و براساس آن نموداری به نام «منحنی تقطیر ASTM» رسم نمود. این منحنی امکان نتیجه‌گیری در مورد توزیع هیدروکربن‌های موجود در یک نمونه را فراهم می‌کند.

### ۲-۶- وسایل مورد نیاز

شکل ۱-۶ تجهیزات مورد نیاز جهت انجام تقطیر ساده (ASTM) را نشان می‌دهد. قسمت‌های مختلف این دستگاه به شرح زیر است:

- فلاسک<sup>۲</sup> (بالن) شیشه‌ای به حجم ۱۲۵ میلی‌لیتر مجهز به درپوش لاستیکی که یک سوراخ جهت عبور دماسنج در آن تعبیه شده است.
- چگالنده (کندانسور<sup>۳</sup>) شیشه‌ای که مانند شکل ۱-۶، یک مبدل حرارتی<sup>۴</sup> دوجداره می‌باشد که بخار در لوله‌ی داخلی و آب سرد در جداری خارجی آن جریان دارد. در چگالنده بخار هیدروکربن‌ها، سرد شده و به مایع تبدیل می‌شود. در صورتی که مبدل حرارتی شیشه‌ای دوجداره در کارگاه موجود نباشد، می‌توان لوله‌ی خروجی از بالن را از داخل ظرف یخ عبور داد تا بدین وسیله بخار خروجی از بالن به مایع تبدیل شود.
- منبع حرارتی، ترجیحاً گرمکن الکتریکی که حرارت آن قابل تنظیم باشد.
- استوانه‌ی مدرج به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر جهت جمع‌آوری مایعات تقطیر شده<sup>۵</sup>.
- دماسنج جیوه‌ای که بتواند محدوده‌ی دمایی C ۲- تا C ۳۰۰ را نشان دهد.

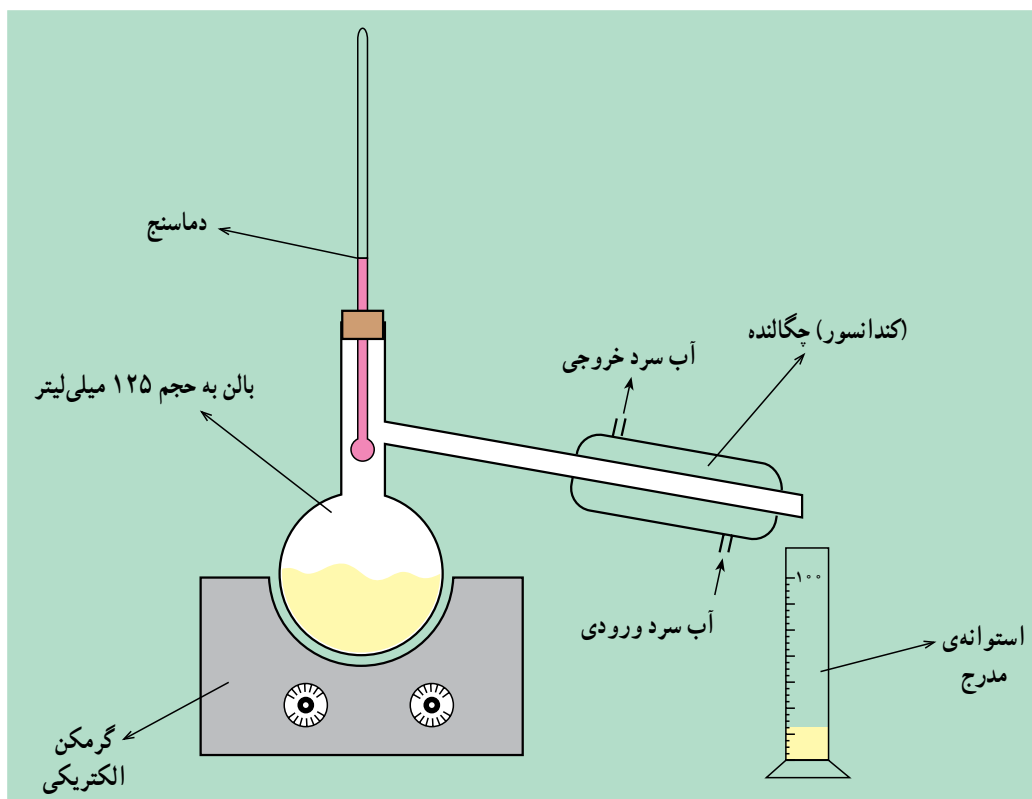
۱- American Society for Testing and Materials

۲- Flask

۳- Condenser

۴- Heat Exchanger

۵- Condensate



شکل ۱-۶ - دستگاه تقطیر ASTM

### ۳-۶- روش کار

ابتدا لازم است با بعضی از تعاریف و اصطلاحات مهم در خصوص تقطیر، به شرح زیر آشنا شوید:

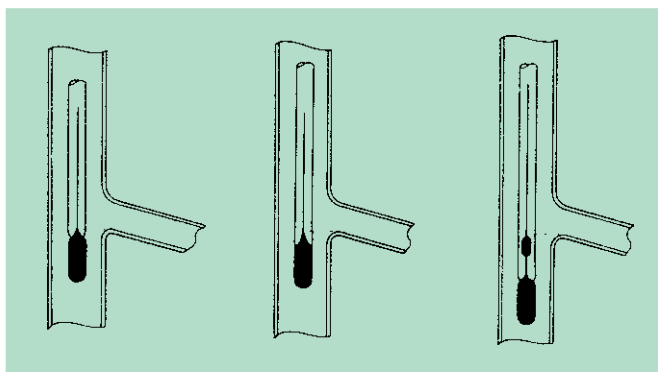
- نقطه‌ی جوش اولیه<sup>۱</sup> (IBP): دمایی است که در آن، اولین قطره از مایعات تقطیر شده وارد استوانه‌ی مدرج می‌شود.
- نقطه‌ی جوش نهایی<sup>۲</sup> (FBP): بالاترین دمایی است که به هنگام تقطیر نمونه مشاهده می‌شود. اگر همه‌ی نمونه تبخیر شود و هیچ ته‌مانده‌ای در داخل بالن باقی نماند، این دما هنگامی مشاهده می‌شود که آخرین قطره‌ی نمونه، تبخیر گردد.
- نقطه‌ی تجزیه: دمایی است که در آن، اولین آثار تجزیه‌ی نمونه در داخل بالن، مشاهده می‌شود. تشکیل ذرات سیاه و چسبنده در کف بالن نشانه‌ی تجزیه‌ی ماده‌ی نفتی است.

در ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه را داخل بالن ریخته و مطابق شکل ۱-۶ چگالنده را به بالن متصل کرده و استوانه‌ی مدرج را در زیر لوله‌ی خروجی چگالنده قرار دهید. وضعیت قرارگرفتن دماسنج در داخل بالن مطابق شکل ۲-۶ باشد تا دماهایی که یادداشت می‌کنید دقیقاً محدوده‌ی جوش نمونه را نشان دهند.

بعد از آماده شدن دستگاه، نمونه را حرارت دهید. معمولاً شدت حرارت را به گونه‌ای تنظیم می‌کنند که اولین قطره‌ی مایعات تقطیر شده بعد از ۵ تا ۱۰ دقیقه در استوانه‌ی مدرج ظاهر شود. هنگامی که اولین قطره‌ی مایع به داخل استوانه‌ی مدرج وارد شد، دما را یادداشت کنید. این دما همان IBP است. طبق جدول ۱-۶ وقتی که حجم مایعات تقطیر شده در استوانه‌ی مدرج به ۵، ۱۰، ۲۰، ...، ۹۰ و ۹۵ میلی‌لیتر رسید، دما را یادداشت کنید. معمولاً شدت حرارت را به گونه‌ای تنظیم می‌کنند که در هر دقیقه ۵ C به دمای نمونه افزوده شود. هنگامی که آخرین قطره‌ی مایع تبخیر شد، دماسنج بالاترین دما را نشان خواهد داد، آن را به‌عنوان

۱- Initial Boiling Point (IBP)

۲- Final Boiling Point (FBP)



شکل ۶-۲ - موقعیت صحیح انواع دماسنج در داخل بالن

جدول ۶-۱ - تغییرات دما برحسب حجم مایعات تقطیر شده (میلی لیتر)

حجم مایعات تقطیر شده (میلی لیتر)	دما (F یا C)
IBP	
۵	.....
۱۰	.....
۲۰	.....
۳۰	.....
۴۰	.....
۵۰	.....
۶۰	.....
۷۰	.....
۸۰	.....
۹۰	.....
۹۵	.....
FBP	.....

FBP یادداشت کنید. البته اگر نمونه تجزیه شد و قسمتی از آن در ته بالن باقی ماند، بالاترین دمایی را که دماسنج در طول آزمایش نشان داد به عنوان FBP گزارش کنید. در خاتمه حرارت دادن را قطع کنید و اجازه دهید دستگاه خنک شود. پس از خنک شدن دستگاه، بخش‌های مختلف آن را جدا کرده با حلال (مثلاً استن) شست و شو دهید.

نتایج به دست آمده را به صورت تغییرات دما (محور عمودی) برحسب تغییرات حجم<sup>۱</sup> مایعات تقطیر شده (محور افقی) رسم کنید تا منحنی تقطیر ASTM نمونه‌ی مورد آزمایش به دست آید. شکل ۶-۳ نمونه‌ای از منحنی‌های تقطیر ASTM را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید حجم مایعات تقطیر شده که در استوانه‌ی مدرج جمع‌آوری شده‌اند ۱۰۰ میلی‌لیتر نیست، زیرا ممکن است بخشی از نمونه از درزها یا از داخل استوانه‌ی مدرج به شکل بخار خارج شود<sup>۲</sup>. همچنین ممکن است بخشی از

۱- چون حجم نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتر است، بنابراین محور افقی نمودار شکل ۶-۳ را می‌توان برحسب درصد یا برحسب میلی‌لیتر نام‌گذاری کرد که اولی متداول است.

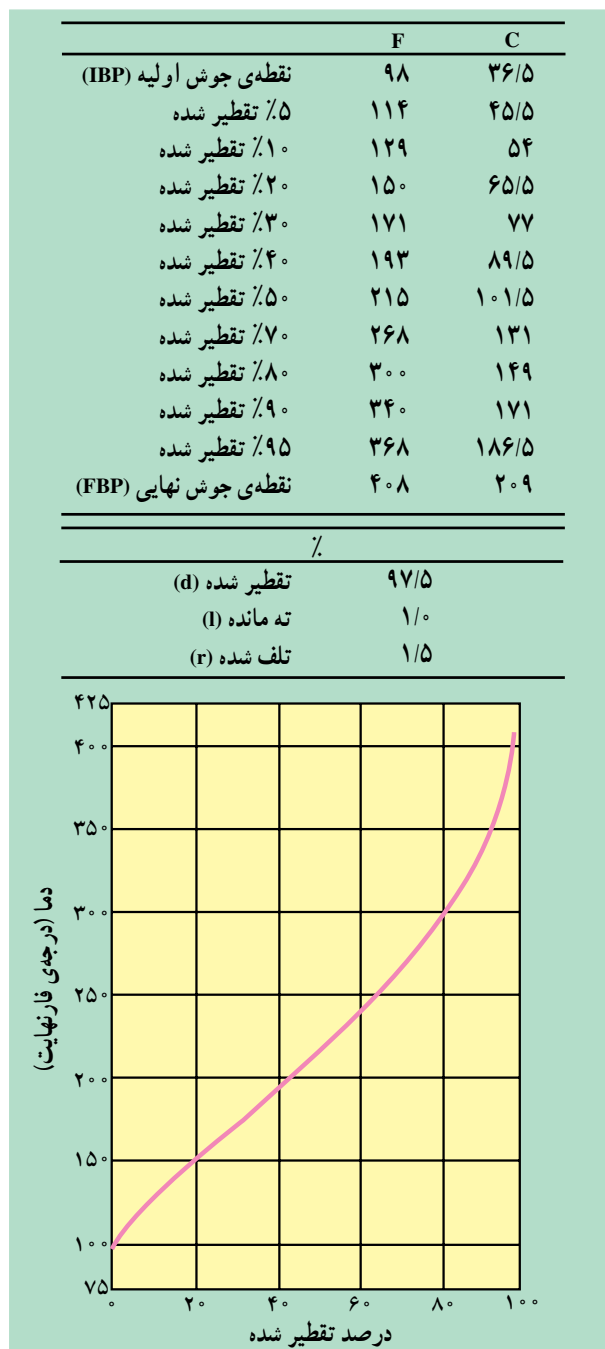
نمونه تجزیه شده و در کف بالن باقی بماند<sup>۱</sup> (حتی به صورت جامد به کف بالن بچسبد). به هر حال باید رابطه‌ی زیر برقرار باشد:

$$100 = d + l + r$$

$d = ml$  حجم مایعات تقطیر شده،

$l = ml$  حجم مایعاتی که به شکل بخار از درزها خارج شده‌اند (تلف شده‌اند)،

$r = ml$  حجم مایع باقی مانده در کف بالن،



شکل ۳-۶ - نمونه‌ای از اطلاعات گزارش شده در تقطیر ASTM

معمولاً d و r اندازه‌گیری شده سپس از رابطه‌ی ۶-۱ جهت محاسبه‌ی حجم مایعات تلف شده (l) استفاده می‌شود. در این آزمایش، علاوه بر جدول ۶-۱ و منحنی تقطیر ASTM، مقادیر زیر را نیز گزارش می‌کنند:

$$\text{درصد بازیابی شده} = \frac{\text{حجم نهایی مایعات تقطیر شده در استوانه‌ی مدرج (ml)}}{100(\text{ml})} \times 100$$

$$\text{درصد باقی مانده} = \frac{\text{حجم نهایی مایع باقی مانده در بالن (ml)}}{100(\text{ml})} \times 100$$

$$\text{درصد باقی مانده} - \text{درصد بازیابی شده} = 100 - \text{درصد تلف شده}$$

$$\text{فاصله‌ی جوش نمونه} = \text{FBP} - \text{IBP}$$

## اندازه‌گیری گرانروی مواد نفتی

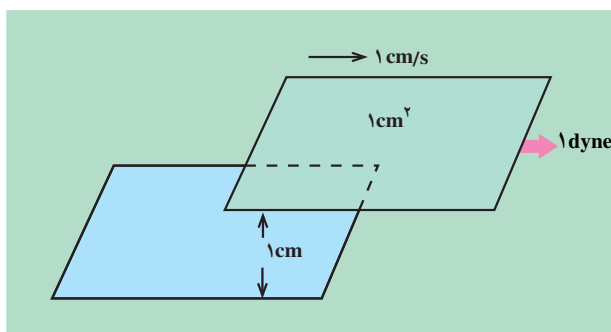
هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:

- ۱- گرانروی را تعریف کند و اهمیت آن را شرح دهد.
- ۲- گرانروی محصولات نفتی مختلف را توسط ویسکومتر اندازه‌گیری کند.

### ۱-۷- مقدمه

ویسکوزیته<sup>۱</sup> که آن را گرانروی یا لزجی ترجمه کرده‌اند کمیتی فیزیکی است که میزان مقاومت داخلی یک سیال را در مقابل جریان نشان می‌دهد. این مقاومت نتیجه‌ی اصطکاک مولکول‌هایی است که بر روی هم می‌لغزند. به عبارت بهتر گرانروی عکس سیالیّت<sup>۲</sup> است. این کمیت به اشکال مختلف بیان می‌شود:

گرانروی دینامیک یا مطلق<sup>۳</sup> که آن را با علامت  $\eta$  نشان می‌دهند و واحد اندازه‌گیری آن در دستگاه واحدهای cgs<sup>۴</sup>، پواز<sup>۵</sup> (P) می‌باشد. یک پواز عبارت است از گرانروی دینامیکی سیالی که اگر نیروی یک دین<sup>۶</sup> به یک سطح فرضی به مساحت ۱ سانتی‌متر مربع از آن اعمال شود، با سرعت یک سانتی‌متر بر ثانیه نسبت به سطح دیگری که به فاصله‌ی یک سانتی‌متری آن است حرکت کند (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۷- تعریف یک پواز

بنابراین از نظر ابعادی می‌توان نوشت:

$$\rightarrow \frac{\text{طول} \times \text{نیرو}}{\text{سرعت} \times \text{سطح}} = \frac{(MLT^{-2})(L)}{(L^2)(LT^{-1})} = \frac{M}{LT} \rightarrow \frac{gr}{cm \cdot s} = P$$

۱- Viscosity

۲- Fluidity

۳- Absolute or Dynamic Viscosity

۴- مخفف سانتی‌متر، گرم، ثانیه است.

۵ - Poise

۶- Dyne

به عبارت دیگر، یک پواز عبارت است از یک گرم بر سانتی متر ثانیه. واحد دیگر اندازه گیری گرانروی دینامیک سانتی پواز (cP)<sup>۱</sup> می باشد:

$$P = 100 \text{ cP}$$

در دستگاه FPS<sup>۲</sup> واحد اندازه گیری گرانروی دینامیکی بوند جرمی بر فوت ساعت است. رابطه ی سانتی پواز با این واحد چنین است:

$$1 \text{ cP} = 2 / 42 \frac{\text{lbm}}{\text{ft. hr}}$$

گرانروی نسبی<sup>۳</sup> عبارت است از نسبت گرانروی دینامیکی سیال به گرانروی آب در دمای C ۲۰، یا به عبارت ساده:

$$\text{گرانروی دینامیکی در دمای } (C)T = \frac{\text{گرانروی دینامیکی آب در دمای } 20 \text{ C}}{\text{گرانروی نسبی در دمای } (C)T} \quad (7-1)$$

چون گرانروی آب در دمای C ۲۰ برابر ۱ cP است، بنابراین مقدار عددی گرانروی نسبی و دینامیکی برابر است. گرانروی سینماتیک<sup>۴</sup>، که آن را با علامت  $\nu$  نشان می دهند، عبارت است از نسبت گرانروی دینامیکی به جرم ویژه ی سیال در همان دما؛ به عبارت دیگر

$$\nu = \frac{\dot{\rho}}{\rho} \quad (7-2)$$

از نظر ابعادی می توان نوشت:

$$\nu = \frac{\dot{\rho}}{\rho} \rightarrow \frac{\frac{M}{LT}}{\frac{M}{L^3}} = \frac{L^2}{T} \rightarrow \text{cm}^2/\text{s}$$

بنابراین در دستگاه cgs واحد گرانروی سینماتیک سانتی متر مربع بر ثانیه است که به آن استوکس<sup>۵</sup> (St) گویند. واحد دیگر برای اندازه گیری گرانروی دینامیک، سانتی استوکس<sup>۶</sup> (cSt) می باشد.

$$1 \text{ St} = 100 \text{ cSt}$$

در دستگاه واحدهای SI، گرانروی سینماتیک بر حسب متر مربع بر ثانیه بیان می شود.

$$1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 10^4 \text{ St} \quad \text{تمرین: ثابت کنید:}$$

در دستگاه واحدهای FPS، گرانروی سینماتیک بر حسب فوت مربع بر ثانیه بیان می شود. رابطه ی این واحدها در دو دستگاه SI و FPS چنین است:

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10 / 76 \text{ ft}^2/\text{s}$$

در خصوص فرآورده های سنگین نظیر نفت کوره و روغن های روان کننده، گرانروی از عوامل تعیین کننده است. گرانروی نفت کوره باید در حدی باشد که این ماده به آسانی پمپ شود و در خطوط سوخت رسانی و سوراخ های مشعل کوره ها به نحو

۱- Centipoise

۲- مخفف فوت، بوند جرمی، ثانیه است.

۳- Relative Viscosity

۴- Kinematic Viscosity

۵- Stokes

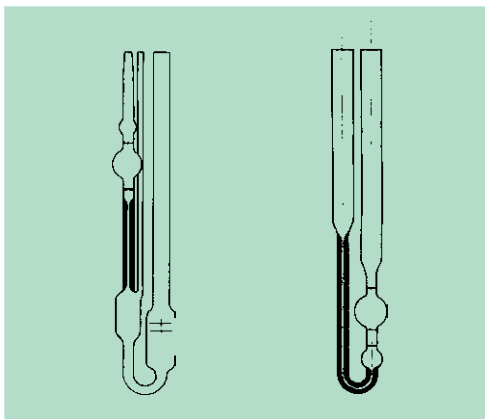
۶- Centistokes

مطلوب جریان یابد. کارایی روغن‌های روان‌کننده که در موتور اتومبیل‌ها، چرخ‌دنده‌ها و دستگاه‌های هیدرولیکی به کار می‌رود به گران‌روی روغن بستگی دارد.

وسایلی که برای تعیین گران‌روی سیالات به کار می‌روند، مستقیماً گران‌روی دینامیک یا سینماتیک را اندازه‌گیری نمی‌کنند. دسته‌ای از ویسکومترها زمان عبور مقدار معینی نمونه از یک مجرای استاندارد را اندازه‌گیری می‌کنند. سپس با استفاده از ضریب تبدیل که توسط سازنده تعیین می‌شود، زمان اندازه‌گیری شده را به گران‌روی سینماتیک تبدیل می‌کنند. برحسب نوع فرآورده‌ی نفتی و محدوده‌ی گران‌روی آن‌ها، ویسکومترهایی با اشکال مختلف طراحی شده است. برای مثال Saybot Furol ویسکومتری است که برای آزمایش موادی با گران‌روی زیاد به کار می‌رود.

## ۷-۲- وسایل مورد نیاز

وسایل مورد نیاز جهت اندازه‌گیری گران‌روی مواد نفتی به شرح زیر است. قبلاً باید توجه داشت که در این روش، زمان، اندازه‌گیری شده و سپس به کمک آن گران‌روی سینماتیک محاسبه می‌گردد. ویسکومتر که یک لوله‌ی شیشه‌ای استاندارد با مجرای موئین می‌باشد. شکل‌های ۷-۲ دو نوع ویسکومتر U شکل را نشان می‌دهند. همان‌طور که قبلاً بیان شد، ویسکومترها دارای اشکال متفاوتی می‌باشند و هر یک از آن‌ها مناسب اندازه‌گیری محدوده‌ی مشخصی از گران‌روی است. ویسکومتر باید به گونه‌ای انتخاب شود که مدت زمان جریان سیال در آن کم‌تر از ۲۰۰ ثانیه نباشد.



شکل ۷-۲- دو نوع ویسکومتر U شکل

– حمام مجهز به کنترل‌کننده‌ی دما و دماسنج مناسب جهت انجام آزمایش در دماهای مورد نظر. شکل ۷-۳ شمای ساده‌ی ویسکومتر در داخل حمام را نشان می‌دهد. در صورتی که حمام مناسب در کارگاه موجود نباشد، اندازه‌گیری گران‌روی فقط در دمای محیط امکان‌پذیر خواهد بود.

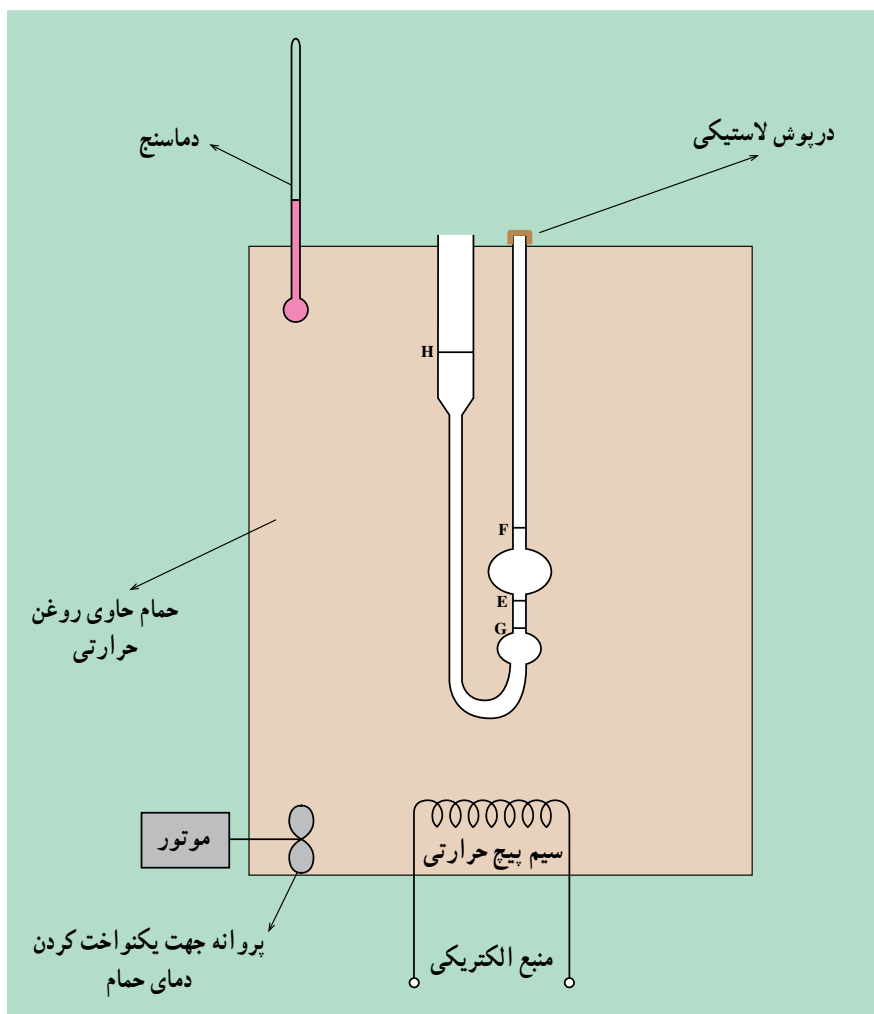
– زمان سنج با دقت دهم ثانیه جهت اندازه‌گیری مدت زمان جریان سیال در داخل ویسکومتر.

## ۷-۳- روش کار

ابتدا یک ویسکومتر مناسب که تمیز و خشک نیز باشد انتخاب کنید. با تخمینی که از حدود گران‌روی نمونه دارید، ویسکومتری انتخاب کنید که زمان اندازه‌گیری شده از ۲۰۰ ثانیه کم‌تر نباشد.

ابتدا نمونه را از دهانه‌ی شماره‌ی ۱ (شکل ۷-۲) به داخل ویسکومتر بریزید به گونه‌ای که نمونه دقیقاً بین دو نشان H و G





شکل ۳-۷

قرار بگیرد. برای آن که بتوانید نمونه را در این محدوده نگهدارید، اضافه کردن نمونه به داخل ویسکومتر را به تدریج انجام دهید. ضمناً برای آن که بر اثر اختلاف ارتفاع و در نتیجه اختلاف فشار در دو شاخه‌ی ویسکومتر، نمونه از نشان G بالاتر نرود، یک درپوش لاستیکی بر روی دهانه‌ی شماره‌ی ۲ قرار دهید، هرگاه این درپوش را بردارید سیال جریان می‌یابد و هرگاه آن را بر روی دهانه‌ی شماره‌ی ۲ قرار دهید، حرکت سیال متوقف می‌شود. بدین ترتیب می‌توانید دقیقاً نمونه را بین دو نشان G و H قرار دهید. ضمناً نمونه‌ی داخل ویسکومتر به هیچ‌عنوان نباید حباب هوا داشته باشد. ویسکومتر حاوی نمونه را به صورت عمودی حدود نیم‌ساعت در داخل حمام قرار دهید تا به دمای مورد نظر برسد.

با برداشتن درپوش، به علت اختلاف فشار میان دو شاخه‌ی ویسکومتر، نمونه از نشان G به سمت بالا حرکت می‌کند. هنگامی که سطح سیال به نشان E رسید، زمان سنج را به کار اندازید. خاتمه‌ی کار هنگامی است که نمونه به نشان F برسد که در این لحظه باید زمان سنج را متوقف کنید.

جهت محاسبه‌ی گرانروی سینماتیک بر حسب cSt، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$= . Ct$$

(۷-۳)

که در آن

$$= . (cSt) \text{ گرانروی سینماتیک}$$

ثابت ویسکومتر که توسط سازنده تعیین شده است  $C = \left(\frac{cSt}{s}\right)$

زمان اندازه‌گیری شده  $t = (s)$

براساس رابطه‌ی ۷-۲ به آسانی می‌توان گرانروی دینامیک را با استفاده از گرانروی سینماتیک محاسبه کرد. البته باید جرم ویژه‌ی سیال در همان دما مشخص باشد. یعنی:

$$= \rho \cdot (7-2)$$

که در آن:

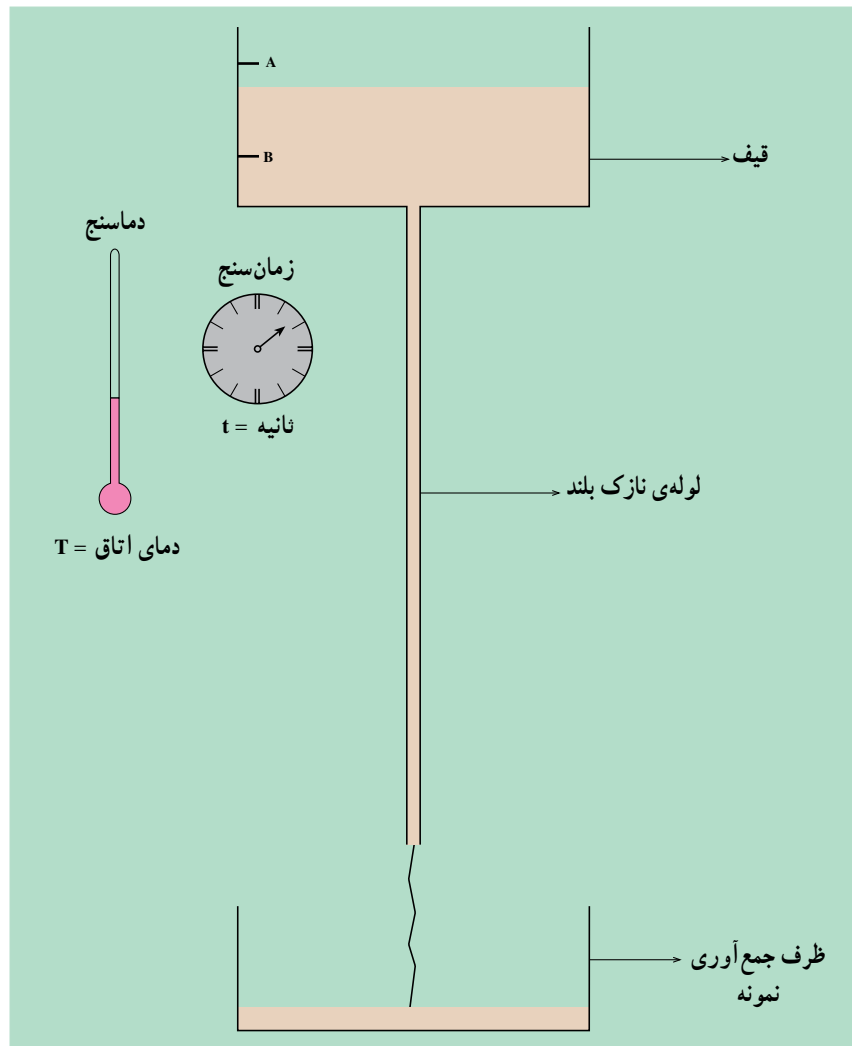
گرانروی دینامیکی  $(cP)$

جرم ویژه در همان دمای آزمایش  $\rho = (gr/cm^3)$

گرانروی سینماتیک  $(cSt)$

**فعالیت:** با استفاده از امکانات موجود در کارگاه وسیله‌ای طراحی کرده و بسازید که بتوان به کمک آن گرانروی سیالات و مواد نفتی مختلف نظیر نفت سفید و روغن را با یکدیگر مقایسه کرد.

به‌عنوان ساده‌ترین مثال اگر یک قیف شیشه‌ای که یک لوله‌ی بسیار نازک بلند به آن متصل است داشته باشید، به آسانی می‌توان وسیله‌ای شبیه شکل ۷-۴ برپا نمود.



شکل ۷-۴- وسیله‌ای ساده برای مقایسه‌ی گرانروی سیالات

کار با این وسیله برای شما بسیار ساده است. بدین ترتیب که ابتدا قیف را تا نشان A پر کنید. برای این کار لازم است که به کمک یک درپوش لاستیکی دهانه‌ی پایینی لوله کاملاً بسته شده باشد تا نمونه نریزد. همزمان با به کار انداختن زمان‌سنج<sup>۱</sup>، درپوش لاستیکی را بردارید تا نمونه جریان یابد. هنگامی که سطح مایع به نشان B رسید، زمان‌سنج را متوقف کنید. زمان عبور سیال را به همراه دمای اتاق به عنوان نتیجه‌ی آزمایش یادداشت کنید.

بدیهی است این آزمایش جنبه‌ی استاندارد نداشته و زمان‌های به دست آمده قابل تبدیل به cSt یا cP نیست. اما در کارگاه‌هایی که ویسکومترهای شیشه‌ای استاندارد موجود نیست، این وسیله می‌تواند به عنوان ابزاری جهت مقایسه‌ی مواد نفتی که گران‌روی آن‌ها خیلی نزدیک به هم نیست به کار رود.

با کمی فکر، حوصله و دقت، هنرجو به کمک مری خود می‌تواند ویسکومتر ساده‌ای که عملکرد آن بهتر از دستگاه شکل ۷-۴ بوده و شبیه ویسکومتر U شکل باشد، بسازد.

مثال‌های عددی: جدول ۷-۱ ویسکوزیته‌ی سینماتیک گازوییل، نفت کوره و یک نوع روغن موتور را نشان می‌دهد.

جدول ۷-۱- ویسکوزیته‌ی سینماتیک چند نمونه از محصولات نفتی

نام ماده	دمای آزمایش ( F )	ویسکوزیته‌ی سینماتیک (cSt)
گازوییل	۱۰۰	۲ - ۵/۵
نفت کوره	۱۲۲	(حداکثر) ۸۰
روغن موتور SAE -۳۰	۲۱۰	۹/۷-۱۲

۱- می‌تواند یک ساعت معمولی مجهز به ثانیه‌شمار باشد.