الكثافة النسبية ودرجة API:

يعرّف الوزن النوعي النسبي [أو مايعرف أحياناً بالكثافة النسبية] للسائل بأنه النسبة بين كثافة السائل إلى كثافة الماء عند نفس شروط الضغط ودرجة الحرارة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$SG = \frac{\rho_o}{\rho_w}$$

وتعبر هذه الخاصية عن مقياس لزيادة أو انخفاض كثافة السائل بالمقارنة من الماء. وهي عدد لابعدي وليس لها واحدة. وبما أن كثافة الماء وكثافة السائل المقارن تتغير بشكل ملحوظ وملموس مع الضغط ودرجة الحرارة، لذلك سوف تتغير الكثافة النسبية مع الضغط ودرجة الحرارة أيضاً.

لذلك فإنه من الضروري جداً تحديد الكثافة والكثافة النسبية أو درجة API للنفط ومشتقاته بشكل دقيق وذلك عند تحويل الحجوم المقاسة [$measured\ volumes$] إلى الحجوم القياسية [المحسوبة عند الشروط القياسية من الضغط ودرجة الحرارة] وذلك اثناء عمليات التبادل التجاري و/أو عند تصميم التجهيزات السطحية.

هناك العديد من الطرق للتعبير عن الكثافة النسبية [الوزن النوعي النسبي] أو اختصاراً [SG] للمركبات الهيدروكربونية السائلة. يتجلى جوهر إحدى الطرق بنسب الوزن النوعي للسائل عند درجة الحرارة [60 °F] غلى الوزن النوعي للماء عند درجة الحرارة [60 °F]. في حين تلجأ الطريقة الاخرى إلى اعتماد درجة API وهي الطريقة الأكثر استخداماً وشيوعاً في كثير من الأحيان في الصناعة النفطية.

يمكن تحديد درجة API للمركبات الهيدروكربونية السائلة باستخدام العلاقة التالية:

$$Degrees\ API\ Gravity = \frac{141.5}{SG\ @\ 60°F} - 131.5 \qquad (13.2)$$

وعلى العكس من ذلك، يمكن اشتقاق الكثافة النسبية للمركبات الهيدروكربونية السائلة من قيمة درجة API كما يلي:

$$Specific\ Gravity\ @\ 60\ °F = \frac{141.5}{(API\ Gravity\ @60\ °F + 131.5)} \qquad (14.2)$$

فعلى سبيل المثال، يمكن تحديد درجة API للنفط ذو الكثافة النسبية $[1.0]$ كمايلي:

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{1.0} - 131.5 = 10.$$

هناك العديد من الطرق التي تزود التعديلات الملائمة لدرجة الحرارة. فعلى سبيل المثال لا الحصر، تصف الجمعية الأمريكية لاختبار المواد $[ASTM]$ منهجية تصحيح درجات الحرارة. حيث يمكن استخدام معاملات التصحيح التالية والتي تأخذ بعين الاعتبار تأثيرات درجة الحرارة، والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاثة مجالات مع الانتباه إلى أنه يتم التعبير عن درجة الحرارة بـــ $[°C]$:

1. من أجل درجات الحرارة الأدنى من $[3.98°C]$:

$$Correction\ Factor = -0.000032692 * T\ to\ 0.000740644$$

2. من أجل درجات الحرارة الأدنى من $[50°C]$ والأكبر أو تساوي $[3.98°C]$:

$$Correction\ Factor = -0.0008031922\ to\ 0.0000473773 * T + 0.000007231263 * T * T - 0.00000003078278 * T * T * T$$

3. من أجل درجات الحرارة الأكبر من أو التي تساوي $[50°C]$:

$$Correction\ Factor = -0.005431719 + 0.0001963596 * T + 0.000002661056 * T * T$$

حيث أن:

$$SG\ corected = SG(at\ 15°C, 60°F) +/- correction\ factor$$

يتم استعمال إشارة $[-]$ من أجل درجات الحرارة الأدنى من $[3.98°C]$ والأعلى من $[50°C]$. بينما تستعمل إشارة $[+]$ من أجل درجات الحرارة الواقعة ضمن المجال $[3.98°C - 50°C]$.

هناك طريقة ثالثة للتعبير عن الكثافة النسبية للمركبات الهيدروكربونية السائلة وتتلخص باستخدام الدرجة المبتكرة من قبل العالم الكيميائي الفرنسي $[Antoine\ Baumé]$ والمعرّفة بالعلاقة التالية:

4. من أجل السوائل الأخف من الماء:

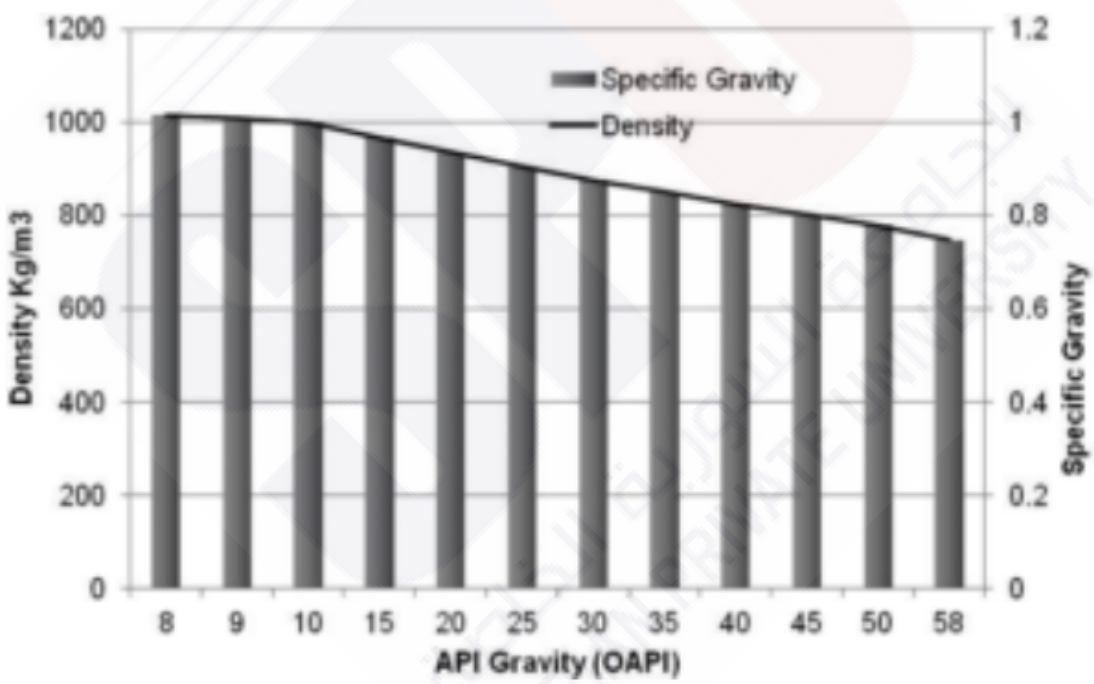
$$Degree\ Baume = \frac{140}{SG} - 130 \qquad (15.2)$$

5. من أجل السوائل الأثقل من الماء [على سبيل المثال البيتومين الثقيل]:

$$Degree\ Baume = [145(1 - 1/SG)] \qquad (16.2)$$

وتجدر الإشارة إلى أنه في النسخ القديمة، كان يستخدم في المعادلة [16.2] العدد [144.32] بدلاً من [145].

يلخص الشكل [2.2] العلاقة بين درجة API والكثافة النسبية والكثافة عند درجة الحرارة [60°F].



الشكل (2.2)، العلاقة بين درجة API والكثافة النسبية والكثافة عند درجة الحرارة [60°F].

كما يوضح الجدول (1.2) كثافات ودرجات API لبعض المركبات الهيدروكربونية المنقولة عبر خطوط الأنابيب.

Hydrocarbon Liquids	Typical Density (kg/m^3)	°API
Condensate	669.0	80.0
Diesel	832.0–850.0	35.0–38.6
Jet fuel	775.0–840.0	51.0–37.0
Gasoline	713.0–767.0	52.0–67.0
Light crude	<870	>31.1
Intermediate crude	870.8–920.0	22.3–31.0
Synthetic crude	865.4–870.8	31.1–32.0
Heavy crude	920.6–1000	10.0–22.2
Bitumen	1000.7–1029.1	6.0–9.9

مثال:

نفط خام كثافته المقاسة عند الشروط القياسية من الضغط والحرارة تبلغ $[848.98\ Kg/m^3]$، والمطلوب حساب الكثافة النسبية ودرجة API لهذا النفط الخام.

الحل:

يمكن حساب الكثافة النسبية من العلاقة التالية:

$$SG = \frac{\rho_o}{\rho_w}$$

وبما أن كثافة النفط الخام المقاس معطاة عند الشروط القياسية فإن كثافة الماء يجب أن تكون عند نفس الشروط، من المراجع المتعلقة بأدبيات الاختصاص نجد أن كثافة الماء عند الشروط الفياسية تبلغ حوالي $[999.552\ Kg/m^3]$، بتطبيق العلاقة السابقة، نجد:

$$SG = \frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{848.98}{999.552} = 0.849$$

يمكن حساب درجة API من العلاقة التالية:

$$Degrees\ API\ Gravity = \frac{141.5}{SG\ @\ 60°\text{F}} - 131.5 = \frac{141.5}{0.849} - 131.5 = 35.2°\ API$$

الكثافة النسبية للسوائل الممزوجة [*Specific Gravities of Blended Products*]:

عندما يتم مزج اثنين أو أكثر من المنتجات البترولية السائلة، فإنه يتم حساب الكثافة النسبية للمزيج السائل الناتج [شريطة قياس الكثافات عند نفس شروط الضغط ودرجة الحرارة] باستخدام طريقة المتوسط الحسابي المثقل:

$$SG_b = \frac{\sum V_i SG_i}{\sum V_i} = \frac{\sum Q_i SG_i}{\sum Q_i} \qquad (17.2)$$

حيث إنّ:

SG_b: الكثافة النسبية لمزيج المنتجات البترولية.

V_i: حجم كل منتج.

Q_i: معدل تدفق كل منتج

SG_i: الكثافة النسبية لكل منتج.

من الجدير بالذكر، انّه لايمكن تطبيق الطريقة المذكورة أعلاه مباشرة وذلك عندما يتم التعبير عن الكثافة بمصطلح [$°API$]. حيث يجب أولاً تحويل قيم [$°API$] إلى الكثافات النسبية قبل تطبيق العلاقة [17.2].

مثال:

يتم خلط ثلاث منتجات بترولية [A] و[B] و[C] وفق النسب التالية على الترتيب [15%] و[20%] و[65%]، فإذا علمت أن الكثافة النسبية لهذه المنتجات عند درجة الحرارة [70°F] هي على الترتيب [0.815] و[0.850] و[0.895]. والمطلوب حساب الكثافة النسبية لمزيج المنتجات البترولية الناتج.

الحل:

باستخدام العلاقة [17.2]، نجد:

$$SG_b = \frac{\sum V_i SG_i}{\sum V_i} = \frac{15\times0.815+20\times0.850+65\times0.895}{100} = 0.874$$

لزوجة، الخامات النيوتونية وغير النيوتونية [*Viscosity, Newtonian Versus Non-Newtonian*]:

اللزوجة هي الخاصية الفيزيائية المميزة للموائع الحقيقية بأنها تقاوم تغيير شكلها، أو يمكن تعريفها بأنها مؤشر للاحتكاك بين الطبقات المتجاورة للموائع المتحركة. فلو اعتبرنا أنه أثناء التدفق في الأنابيب يوجد بالقرب من جدار الأنبوب طبقة رقيقة من المائع [تدعى الغشاء الطبقي] تكون فيها السرعة تساوي تقريباً الصفر فإن لكل طبقة لاحقة فوق هذه الطبقة سوف يكون لها سرعة مختلفة مقارنة مع الطبقة التي تعلوها. وعليه يمكن أن نستنتج بأن هذا الاختلاف في سرعة طبقات السائل ينجم عنه تدرج في السرعة [*Velocity Gradient*] ناتج عن اللزوجة.

عند جريان المائع، سوف تتولد بداخله قوة احتكاك معاكسة للجريان بالاتجاه. تعمل قوة الاحتكاك هذه والناجمة عن إجهاد القص [*Shear Stress*] بين طبقتين متجاورتين من المائع. وبالمثل تدعى السرعة التي تتحرك بها الطبقة المعتبرة بالنسبة للطبقات المجاورة بمعدل القص [*Shear Rate*]. تعتمد قيمة إجهاد القص على كل من الضغط في حين أن قيمة معدل القص هي تابع لكل من للأبعاد والسرعة المتوسطة للمائع. وتعرف العلاقة بين إجهاد القص ومعدل القص بسلوك جريان المائع [*flow Behavior of the fluid*].

تعتمد ريولوجية المائع على العلاقة بين إجهاد القص ومعدل القص. حيث تتناسب قيمة إجهاد القص [τ] بين الطبقات المتجاورة للمائع المتحرك مع تدرج السرعة [$\Delta u/\Delta y$]. حيث يطلق على ثابت التناسب باللزوجة المطلقة أو الديناميكية أو التحريكية [μ].

يمكن التعبير عن إجهاد القص في حالة الجريان ثنائي البعد [*Two-Dimensional flow*] كمايلي:

$$\tau = \mu \left(\frac{\Delta u}{\Delta y}\right) \qquad (18.2)$$

يقال عن المائع أن نيوتوني [*Newtonian*] إذا أظهر قيمة ثابتة، وخلاف ذلك فهو غير نيوتوني [*Non-Newtonian*].