مشروع تخرج
مشاكل أنتاج العاز الطبيعي
للطلاب
عبد الرحمن دباش السوادي
فهد خلف الهزاع
مهيدي صالح الحمود
أشراف : د.أدمون سلوم
2014-2015

مقدمة :

من الواضح جدا أن القرن التاسع عشر كان قرن الفحم الحجري والذي ساهم بشكل كبير في نشوء الثورة الصناعية في أوربا ، أما القرن العشرون كان قرن النفط الذي كان المصدر الرئيسي للطاقة والذي أدى إلى نمو الاقتصاد العالمي ، ومن الملاحظ دائما أن حاجة الاقتصاد العالمي إلى الطاقة في تزايد مستمر ،فقد توقع بعض الخبراء حصول عجز كبير ومستمر في إمدادات الطاقة يبدأ في عام 2010 وحصول أزمة طاقة حقيقيَّة وجدية.

وللخروج من هذه الأزمة ، يجب الانتقال إلى استخدام الغاز الطبيعي ليس لأهميته الاقتصادية فحسب ، بل لأهميته في الحفاظ على البيئة ، ففي نهاية القرن العشرين أخذ الغاز الطبيعي مكان الفحم كمصدر ثان للطاقة بعد النفط ، ففي عام 2000 كان استهلاك الطاقة العالمي كالآتي:39% نفط - 23% غاز طبيعي - 22 % فحم حجري ، ويتوقع أن يكون التحول تدريجيا من النفط إلى الغاز الطبيعي بداية القرن الحادي والعشرين وذلك لن يتحقق بسبب الاعتبارات البيئية فحسب بل بسبب التطورات التكنولوجية.

سنقوم في عملنا هذا باستعراض مبسط لأهم أنواع المكامن الغازية وللخواص الفيزيو- كيميائية للغازات الطبيعية ، ومن ثم نقف للتفصيل في أهم المشاكل التي تواجه عمليات إنتاج الغاز الطبيعي بشكل عام .

الفصل الأول

الغازات الطبيعية و أشكال وجودها

- مقدمة:

يشكل تركيب الغاز الطبيعي العامل الرئيسي الأول المؤثر على سلوكيته عند تغيرات الضغط ودرجة الحرارة ، لذلك تمثل المعرفة الكاملة والصحيحة لهذا التركيب المرحلة الأولى والأهم في كل العمليات المرافقة للصناعة الغازية.

فالغاز الطبيعي بالتعريف هو مزيج من مركبات هيدروكربونية بارافينية خفيفة (ألكانات) ، يوجد في حالة غازية عند الشروط النظامية من الضغط ودرجة الحرارة، ويشمل على نسبة عالية من غاز الميتان ($CH_4 > 85\%$) بالإضافة إلى كميات متفاوتة من الإيتان (C_2H_6) والبروبان (C_3H_8) والبوتان (C_4H_{10}) ومركبات هيدروكربونية أثقل (C_{5+}) ويمكن أن يحتوي على كميات ضئيلة من غاز ثنائي أوكسيد الكربون (CO_2) وغاز الآزوت (N_2) وغاز كبريت الهيدروجين (H_2S)يبين الجدول (1.1) التركيب الكيميائي النموذجي للغاز الطبيعي .

يختلف تركيب الغازات الطبيعية عن بعضها البعض اختلافاً ملحوظاً من حقل إلى آخر سواء من جهة عدد العناصر الهيدروكربونية وغير الهيدروكربونية أو من جهة تركيز العناصر الداخلة في تركيبها (كماً و نوعاً) وذلك نتيجة لتفاوت أعماق توضع الطبقات المنتجة لها وبالتالي نتيجة لاختلاف ظروف وشروط إنتاجها.

وبالنتيجة يمكن أن تندرج جميع المركبات الهيدروكربونية التي تتمتع بالصفات التالية في عداد الغازات الطبيعية:

- الكثافة ($\rho = 0{,}710 \div 0{,}905\ Kg/m^3_N$).
- الكثافة النسبية ($\Delta = 0{,}55 \div 0.70$).
- حدود الانفجار ($\varepsilon = 5 \div 15\%\ \text{volume}$).
- حرارة الاشتعال ($\theta = 650 \div 750\ ^oC$).

الجدول (1-1)، التركيب الكيميائي النموذجي للغاز الطبيعي.

اسم العنصر	الصيغة الكيميائية	النسبة النموذجية $[mole\%]$	مجال التغير $[mole\%]$
الميتان	CH_4	94.9	87.0-96.0
الإيتان	C_2H_6	2.5	1.8-5.1
البروبان	C_3H_8	0.2	0.1-1.5
أيزوالبوتان	$i-C_4H_{10}$	0.03	0.01-0.3
نظامي البوتان	$n-C_4H_{10}$	0.03	0.01-0.3
أيزوالبنتان	$i-C_5H_{12}$	0.01	*traces*-0.14
نظامي البنتان	$n-C_5H_{12}$	0.01	*traces*-0.04
الهكسان+	$C_6H_{14}+$	0.01	*traces*-0.06
الآزوت	N_2	1.6	1.3-5.6
ثنائي أوكسيد الكربون	CO_2	0.7	0.1-1.0
الأوكسجين	O_2	0.01	0.01-0.1
الهيدروجين	H_2	*trace*	*traces*-0.02

1-1- تصنيف الغازات الطبيعية:

تصنف العناصر الداخلة في تركيب الغازات الطبيعية تبعاً لحالتها الفيزيائية إلى ما يلي :

1- الميتان (CH_4)،والإيتان (C_2H_6)، والإتيلين (C_2H_4)، عبارة عن غازات حقيقية في الشروط النظامية ($p=1atm, T=273.15K$).

2- البروبان (C_3H_8)، البروبيلين (C_3H_6)، والأيزوبوتان ($i-C_4H_{10}$)، والبوتان النظامي ($n-C_4H_{10}$)، والبوتلين (C_4H_8)، عبارة عن أبخرة في الشروط النظامية، كما وعند ارتفاع الضغط توجد بحالة سائلة، وهي تندرج عادة في عداد الغازات الهيدروكربونية المسيلة.

3- المركبات الهيدروكربونية الأثقل من البوتان، ابتداء من الأيزوبنتان ($i-C_5H_{12}$) حيث ($17 > n > 5$) توجد بحالة سائلة في الشروط النظامية وهي تدخل في تركيب قطفات النفط الثقيلةأما المركبات الهيدروكربونية التي تشمل جزئيتها على (18) ذرة كربون أو أكثر والواقعة في سلسلة واحدة فتوجد بحالة صلبة في الشروط النظامية.

وبالتالي يمكن تصنيف الغازات الهيدروكربونية على النحو التالي:

المركبات الهيدروكربونية	الحالة الفيزيائية
ميتان، إيتيلين، إيتان	غاز جاف
بروبان،بروبيلين ،أيزوبوتان، بوتان نظامي،بوتلين	غاز مسيل
أيزوبنتان، بنتان نظامي، هكسان	غازولين (بنزين)

1-2- أشكال تواجد الغاز الطبيعي:

يتواجد الغاز الطبيعي بعدة أشكال:

1- **غازات حرة:** وتعرف أحياناً بالغازات غير المرافقة ويطلق عليها غالباً في الصناعة الغازية اسم الغازات الطبيعية وهي عبارة عن مركبات هيدروكربونية، توجد على شكل غازات حرة في الشروط الابتدائية للمكمن الغازي (الضغط الابتدائي، درجة الحرارة الابتدائية) حيث يشكل غاز الميتان النسبة العظمى في تركيب هذا النوع من الغازات ($CH_4 = 98,6 \div 99,4\%$) في حين تساهم المركبات الهيدروكربونية ($C_2 \div C_6$) بنسبة ضئيلة جداً في تركيبها، ويمكن لهذا النوع من الغازات أن تحتوي على كميات ضئيلة من غاز ثنائي أوكسيد الكربون (CO_2) وغاز الآزوت (N_2) و غاز كبريت الهيدروجين (H_2S)، وتقسم الغازات الحرة بدورها إلى نوعين:

- جافة: وتتألف بشكل رئيسي من الميتان مع كميات قليلة من الإيتان.
- رطبة: حيث تحتوي على كميات كبيرة من الفحوم الهيدروجينية الأثقل من الميتان انظر الجدول (1.2).

الجدول (2-1)، تركيب الغازات الجافة والرطبة.

اسم العنصر	تركيب الغاز الجاف (*mole*%)	تركيب الغاز الرطب (*mole* %)
الميتان	70-98	50-92
الإيتان	1-10	5-15
البروبان	traces-5	2-14
البوتان	traces-2	1-10
البنتان	traces-1	traces-5
الهكسان	traces-0.5	traces-3
الهيبتان +	0-traces	traces-15
الآزوت	traces-15	traces-10
ثنائي أوكسيد الكربون	traces-1	traces-4
كبريت الهيدروجين	0-traces	0-6
الهليوم	0-5	0

2- **غازات مرافقة**: ويطلق عليها أحياناً غازات القبعة الغازية، وهي عبارة عن مركبات هيدروكربونية ($C_1 \div C_6$) توجد على شكل غازات حرة في الشروط الابتدائية للمكمن من ضغط وحرارة وتتواجد في المكامن النفطية على شكل قبعة فوق النفط.

3- **غازات منحلة**: هي عبارة عن مركبات هيدروكربونية غازية منحلة في النفط عند الشروط الابتدائية للمكمن النفطي، إذ تشكل المركبات الهيدروكربونية البارافينية (ميتان - إيتان - بروبان ومركبات أثقل) المكونات الرئيسية لهذا النوع من الغازات، وينفصل هذا الغاز عن النفط نتيجة لانخفاض الضغط عن ضغط الإشباع عند خروج المزيج (نفط - غاز) إلى سطح الأرض، ويعتمد تركيب هذا الغاز بشكل رئيسي على:

- شروط فصل الغاز من النفط .
- التركيب الكيميائي للنفط المنتج .

وبناء على ما ذكر سابقاً، تتطلب عملية معرفة تركيب الغاز الطبيعي إجراء تحاليل كروماتوغرافية دورية عند فوهة آبار إنتاجه وقبل دخوله إلى محطات المعالجة الرئيسية وفي أماكن محددة على طول خطوط أنابيب نقله.

1-3- كيفية التعبير عن تركيب الغازات الطبيعية :

من النادر أن نصادف عملياً غازات صرفة (وحيدة العنصر) ، وكما ذكرنا سابقاً فإن الغازات الطبيعية توجد في الواقع على شكل الأمزجة غازية ، والمزيج الغازي هو مجموعة من العناصر الغازية المختلفة ومن دون حدوث أي تفاعل كيميائي فيما بينها.

يمكن التعبير عن تركيب الغازات الطبيعية عملياً من خلال معرفة نسبة العناصر الغازية الداخلة في تركيبها ويمكن أن تكون هذه النسبة إما كتلية (g_i) أو حجمية (r_i) أو مولية (y_i) والتي يمكن تعريفها كما يلي:

- **الكسر الكتلي** للعنصر الغازي i ويرمز له عادة بـ (g_i): وهو النسبة بين كتلة العنصر الغازي i وكتلة المزيج الغازي:

$$g_i = \frac{m_i}{m} = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{N} m_i},\ \sum_{i=1}^{N} g_i = 1, \qquad (1\text{-}1)$$

- **الكسر الحجمي** للعنصر الغازي i ويرمز له عادة بـ (r_i): وهو النسبة بين الحجم الجزئي للعنصر الغازي i والحجم الكلي للمزيج:

$$r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^{N} V_i},\ \sum_{i=1}^{N} r_i = 1, \qquad (1\text{-}2)$$

- **الكسر المولي** للعنصر الغازي i ويرمز له عادة بـ (y_i): وهو النسبة بين عدد مولات العنصر الغازي i والعدد الكلي لمولات المزيج الغازي:

$$y_i = \frac{n_i}{n} = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^{N} n_i},\ \sum_{i=1}^{N} y_i = 1, \qquad (1\text{-}3)$$

حيث أن:

N : عدد العناصر الغازية الداخلة في تركيب مزيج الغاز الطبيعي.

m_i : كتلة العنصر الغازي i.

V_i : الحجم الذي يشغله العنصر الغازي i.

n_i : عدد كيلومولات العنصر الغازي i.

ويمكن التعبير عن العلاقات بين هذه النسب كما يلي:

$$y_i = r_i,\ g_i = \frac{y_i M_i}{\sum_{i=1}^{N} y_i M_i},\ y_i = \frac{\frac{g_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{g_i}{M_i}}, \qquad (1\text{-}4)$$

1-4- أنواع الغازات الصناعية والتجارية:

تطورت صناعة الغاز الطبيعي في منتصف القرن العشرين تطوراً ملحوظاً وسريعاً في معظم دول العالم الغنية بالمكامن الغازية، وذلك نتيجة للأسباب والمبررات التالية:

- تلبية حاجات الاستهلاك الأعظمي للنمو السكاني المتزايد.
- اعتماد الصناعات البتروكيميائية وصناعة الأسمدة ومحطات توليد الطاقة الكهربائية في السنوات العشرة الأخيرة على الغاز الطبيعي كمادة أولية.
- تطور تقنيات تخزين وتوزيع الغاز الطبيعي.
- تطور عمليات المعالجة للحصول على الغازات الطبيعية المسالة (*LNG*) ذات القيمة الهامة اقتصادياً.

وبناء على ماسبق يمكن تصنيف العناصر الداخلة في تركيب الغاز الطبيعي من وجهة النظر الصناعية و التجارية، إلى الأنواع التالية:

1- **الغازات الخاملة**: و هي بالتعريف الغازات التي لا يمكن أن تتفاعل كيميائياً مع الوسط المحيط، ويشكل عملياً غازي الآزوت والهليوم أحد أهم الغازات الخاملة الداخلة في تركيب الغازات الطبيعية.

2- **الغازات الحامضية**: وأهمها غازي كبريت الهيدروجين وثنائي أوكسيد الكربون.

3- **سوائل الغاز الطبيعي**: وهي تلك المركبات الهيدروكربونية المنزوعة على السطح إما في الوحدات الحقلية أو في وحدات المعالجة الرئيسية وتشمل: الإيتان، البروبان، البوتان، والغازولين الطبيعي، ويرمز لها عادة بـ (*NGL*).

4- الغازات الطبيعية المسالة: وهي بالتعريف المركبات الهيدركربونية الخفيفة التي يمكن أن تتميع، حيث يشكل غاز الميتان النسبة العظمى فيها، ويرمز له عادة بـ (*LNG*).

5- **الغازات النفطية المسالة**: ويشكل غازي البروبان والبوتان (الموجودان بشكل منفصل أو على شكل مزيج غازي) النسبة العظمى في تركيبها، حيث تحافظ هذه الغازات على طورها السائل تحت ضغط معين في أوعية مغلقة، ويرمز له عادة بـ (*LPG*) أو (*LP-Gas*).

6- **الغازولين الطبيعي**: وهو مزيج من البنتان ومركبات هيدروكربونية أثقل والتي يمكن انتزاعها من الغاز الطبيعي.

7- **المتكاثفات**: وهي عبارة عن المركبات الهيدروكربونية السائلة المفصولة عن الغازات الطبيعية عند انتقال التيار الغازي من المكمن إلى وحدات الفصل السطحية وذلك نتيجة لتغيرات شروط الضغط ودرجة الحرارة .

الجدول (3-1)، يبين تركيب الغازات الصناعية والتجارية.

الصنف	التركيب الأساسي											
	CO_2	H_2S	N_2	C_1	C_2	C_3	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	C_6	C_{7+}
الغازات الخاملة	×		×									
الغازات الحامضية	×	×										
NGL					×	×	×	×	×	×	×	×
LNG			×	×	×	×	×	×				
LPG					×	×	×	×				
الغازولين الطبيعي						×	×	×	×	×	×	×
المتكاثفات							×	×	×	×	×	×

1-5- استعمال الغاز الطبيعي:

يعتبر الغاز الطبيعي في الوقت الراهن الوقود المثالي للأسباب التالية:

- توفره بكميات كبيرة جداً.
- تمتعه بتركيب كيميائي بسيط نسبياً وبطاقة حرارية عالية.
- يتطلب عمليات معالجة بسيطة جداً قبل استعماله مقارنة مع الفحم الحجري والنفط الخام.
- ذات احتراق سهل وكامل نتيجة لسهولة اتحاده مع الأوكسجين.
- ذات احتراق نظيف (لا يعطي عند احتراقه أي رماد) وذلك لعدم احتواءه على شوارد معدنية.

يستعمل الغاز الطبيعي في البيوت والأماكن التجارية (الفنادق والمستشفيات) للأغراض التالية:

- كوقود للأفران من أجل الطبخ وتحضير الطعام.
- تسخين المياه وذلك بهدف تدفئة المباني الكبيرة.
- تشغيل وحدات التدفئة المركزية.
- التبريد.
- تجفيف الثياب.

أما في الصناعة فيستخدم:

- بهدف تزويد الحرارة اللازمة لذوبان المعادن والزجاج وإنتاج الكلس والإسمنت.
- من أجل إنتاج الخبز و أنواع الأطعمة الأخرى.
- من قبل شركات توليد الطاقة الكهربائية في العنفات الغازية التي تقوم بقيادة المولدات الكهربائية.
- كمادة خام هامة جداً في الصناعة البتروكيميائية (صناعة الأسمدة).
- كمصدر مهم في إنتاج الهيدروجين.
- كعنصر هام جداً في تصنيع العديد من المواد العضوية الكيميائية (مثل الكحول الميتيلي).

ومن الجدير بالذكر أنه في الوقت الراهن هناك حوالي أكثر من مليوني سيارة في كافة أنحاء العالم تستخدم الغاز الطبيعي كوقود بدلاً من البنزين أو المازوت.

الفصل الثاني

الخصائص الفيزيو- كيميائية للغازات الطبيعية

- مقدمة:

تمثل معرفة سلوكية وتركيب الغازات الطبيعية وبالتالي معرفة خصائصها الفيزيو-كيميائية والترموديناميكية الخطوة الرئيسية الأولى في كل العمليات الضرورية والهامة في الصناعة الغازية ابتداءً من عمليات تصميم أجهزة قعر البئر الغازي مروراً بعمليات إنتاج الغاز ومعالجته وتصميم خطوط أنابيب نقله وانتهاءً بعمليات تصميم أنظمة توزيعه إلى المستهلكين.

تتمتع العناصر الغازية المؤلفة للغازات الطبيعية بخصائص فيزيائية مختلفة ومتغيرة فيما بينها ضمن مجالات واسعة جداً، وهذا ما يفسر السلوكية المختلفة لهذه العناصر في معظم عمليات الصناعة الغازية مقارنة مع سلوكية الغاز المثالي، لذلك من المهم جداً معرفة هذه الخصائص عند تصميم وتنفيذ عمليات الصناعة الغازية المختلفة ويمكن أن نذكر من أهم هذه الخصائص:

2-1- البارامترات الحرجة و الحرجة الزائفة:

تمثل معرفة البارامترات الحرجة (لاحظ الجدول (2.1)) والحرجة الزائفة أهمية صناعية كبرى وذلك عند تعيين الحالة الفيزيائية للمزيج الغازي، كما أنها تستخدم في تعيين قيمة عامل الإنضغاطية (Z).

- درجة الحرارة الحرجة ويرمز لها بـ (T_c): وهي بالتعريف درجة الحرارة التي فوقها لا يمكن للغاز أن يتميع، فمثلا درجة الحرارة الحرجة للإيتان ($T_c = 32{,}2\ ^oC$).
- الضغط الحرج ويرمز له بـ (p_c): وهو عبارة عن القيمة الدنيا للضغط الذي يمكن للغاز عنده أن يتميع فيما لو كانت درجة حرارته موافقة لدرجة الحرارة الحرجة T_c فالضغط الحرج للإيتان ($p_c = 48{,}16\ atm$) وهذا يعني أنه عند ضغط أعلى من ($48{,}16\ atm$) ودرجة حرارة أعلى من ($32{,}2\ ^oC$) لا يمكن للإيتان أن يتميع.

الجدول (1-2) البارامترات الحرجة لبعض عناصر المزيج الغازي.

اسم العنصر	الصيغة الكيميائية	p_{ci} (bar)	T_{ci} (K)	V_{ci} (m^3/Kg)
الآزوت	N_2	33,93	126,16	0,00318
ثنائي أوكسيد الكربون	CO_2	73,83	304,20	0,00214
ثنائي أوكسيد الكبريت	SO_2	78,85	430,66	0,00190

كبريت الهيدروجين	H_2S	,6389	373,56	0,00284
الميتان	CH_4	46,40	190,66	0,00617
الإيتان	C_2H_6	48,62	305,43	0,00488
البروبان	C_3H_8	42,65	370,00	0,00453
أيزو البوتان	$i\text{-}C_4H_{10}$	36,47	408,14	0,00445
نظامي البوتان	$n\text{-}C_4H_{10}$	37,96	425,17	0,00438
أيزو البنتان	$i\text{-}C_5H_{12}$	33,33	460,96	0,00423
نظامي البنتان	$n\text{-}C_5H_{12}$	33,74	469,78	0,00421
أيزو الهكسان	$i\text{-}C_6H_{14}$	30,34	498,06	
نظامي الهكسان	$n\text{-}C_6H_{14}$	30,31	507,86	
نظامي الهيبتان	$n\text{-}C_7H_{16}$	27,36	540,17	

ويجب الإشارة أنه عند التعامل مع المزائج الغازية يتم استخدام البارامترات الحرجة الزائفة (*Pseudo-critical*) بدلاً من البارامترات الحرجةإذ يمكن تعيين البارامترات الحرجة الزائفة للمزيج الغازي باستخدام العلاقات التالية:

$$p_{pc} = \sum_{i=1}^{N} y_i p_{ci}\,,\ T_{pc} = \sum_{i=1}^{N} y_i T_{ci} \qquad (2\text{-}1)$$

ولكن عندما يتعذر علينا معرفة تركيب المزيج الغازي يمكن تعيين البارامترات الحرجة للمزيج الغازي بالاستعانة بعلاقات (*A.ZIstomin*):

$$p_{pc} = (4{,}937 - 0{,}64 \cdot \Delta) \cdot 10^6,\ T_{pc} = 171{,}5 \cdot \Delta + 97 \qquad (2\text{-}2)$$

حيث أن Δ : الكثافة النسبية للغاز.

2-2- البارامترات المخفضة والمخفضة الزائفة:

يمكن التعويض عن البارامترات الأساسية (p,V,T) والتي تصف حالة غاز ما بالنسبة بين القيم المطلقة والقيم الحرجة لكل بارامتر من البارامترات المذكورة أعلاه، عندئذ يمكن أن نحصل من أجل هذا الغاز المدروس على بعض القيم المسماة بالبارامترات المخفضة:

$$p_r = \frac{p}{p_c},\ T_r = \frac{T}{T_c},\ V_r = \frac{V}{V_c} \tag{2-3}$$

وبناءً عليه يكون لجميع الغازات نفس معادلة الحالة عندما يتم التعبير عنها من خلال بارامتراتها المخفضة أي:

$$f(p_r, T_r, V_r) = 0 \tag{2-4}$$

وتعرف هذه المعادلة بمعادلة الحالات المتناظرة ولكن نظراً للأخطاء التي تعطيها هذه النظرية فقد تم اعتبارها نظرية تقريبية وذات دقة كافية نسبياً وذلك من أجل الغازات ذات التراكيب الكيميائية المتقاربة.

أما بالنسبة للمزائج الغازية يتم الاستعاضة عن البارامترات المخفضة بالبارامترات المخفضة الزائفة والمعرَّفة كما يلي:

$$p_{pr} = \frac{p}{p_{pc}}, T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} \tag{2-5}$$

2-3- الكثافة:

تتعلق كثافة غاز ما بشكل رئيسي بالضغط ودرجة الحرارة التي يتواجد عندها هذا الغازففي الشروط النظامية يمكن تعريف الكثافة في الشروط النظامية على الشكل التالي:

$$\rho_N = \frac{M}{V_{M,N}} \tag{2-6}$$

حيث أن $V_{M,N}$ الحجم المولي النظامي.

ولكن في شروط من الضغط (p) و درجة الحرارة (T) يمكن تعريف الكثافة على النحو التالي:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2-7}$$

ولكن الغازات الطبيعية بشكل عام، هي مزيج من المركبات الهيدروكرونية وبالتالي يتم حساب كثافة المزيج الغازي بعد معرفة النسب الحجمية أو المولية أو الكتلية للغازات المؤلفة له باستخدام إحدى العلاقات التالية:

$$\rho_{mix} = \frac{m}{V} = \frac{m}{\sum V_i} = \frac{m}{\sum \frac{m_i}{\rho_i}} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\rho_i}} \tag{2-8}$$

$$\rho_{mix} = \frac{m}{V} = \frac{\sum m_i}{V} = \frac{\sum V_i \rho_i}{V} = \sum r_i \rho_i = \sum y_i \rho_i \tag{2-9}$$

حيث أن:

ρ_i : كثافة العنصر الغازي i في المزيج وتقدر بـ (Kg/m^3) لاحظ الجدول (2.2)، ويمكن حسابها باستخدام العلاقة:

$$\rho_i = \frac{p_i M_i}{Z_i R_u T} \qquad (2\text{-}10)$$

p_i : الضغط الجزئي للعنصر الغازي i ويقدر بـ (pa) ويمكن حسابه كما يلي:

$$p_i = y_i \cdot p \qquad (2\text{-}11)$$

M_i : الكتلة المولية للعنصر الغازي i ، ($Kg/Kmol$).

Z_i : عامل الإنضغاطية للعنصر الغازي i.

T : درجة حرارة المزيج الغازي، (K).

كما يمكن حساب كثافة المزيج الغازي باستخدام العلاقة التالية:

$$\rho_{mix} = \frac{pM_{mix}}{Z_{mix} R_u T} \qquad (2\text{-}12)$$

حيث أن:

p : الضغط الكلي للمزيج الغازي.

M_{mix} : الكتلة المولية الظاهرية للمزيج الغازي وتحسب من العلاقة:

$$M_{mix} = \sum y_i \cdot M_i \qquad (2\text{-}13)$$

Z_{mix} : عامل الإنضغاطية.

2-4- الكثافة النسبية:

هي النسبة بين كثافة الغاز وكثافة الهواء عند نفس شروط الضغط ودرجة الحرارة:

$$\Delta = \frac{\rho_g}{\rho_a} = \frac{M_g}{M_a} = \frac{M_g}{28.97} \qquad (2\text{-}14)$$

في حين يتم حساب الكثافة النسبية للمزيج الغازي باستخدام العلاقة:

$$\Delta = \frac{\rho_m}{\rho_a} = \frac{M_{mix}}{M_a} = \frac{M_{mix}}{28.97} \qquad (2\text{-}15)$$

الجدول (2-2) الكتلة المولية والكثافة النظامية لبعض العناصر الغازية.

اسم العنصر	الصيغة الكيميائية	$M_i(Kg/Kmol)$	$(Kg/m_N^3)\ \rho_i$
الآزوت	N_2	28,016	1,250
ثنائي أوكسيد الكربون	CO_2	44,011	1,965
الهيدروجين	H_2	2,016	0,090
كبريت الهيدروجين	H_2S	34,076	1,521
الأوكسجين	O_2	32,000	1,429
الميتان	CH_4	16,042	0,716
الإيتان	C_2H_6	30,068	01,342
البروبان	C_3H_8	44.094	1,968
أيزو البوتان	$i\text{-}C_4H_{10}$	58,12	2,595
نظامي البوتان	$n\text{-}C_4H_{10}$	58.12	2,595
أيزو البنتان	$i\text{-}C_5H_{12}$	72,146	3,220
نظامي البنتان	$n\text{-}C_5H_{12}$	72,146	3,220
أيزو الهكسان	$i\text{-}C_6H_{14}$	86,172	3,847
نظامي الهكسان	$n\text{-}C_6H_{14}$	86,172	3,847
نظامي الهيبتان	$n\text{-}C_7H_{16}$	100,198	4,473

2-5- اللزوجة:

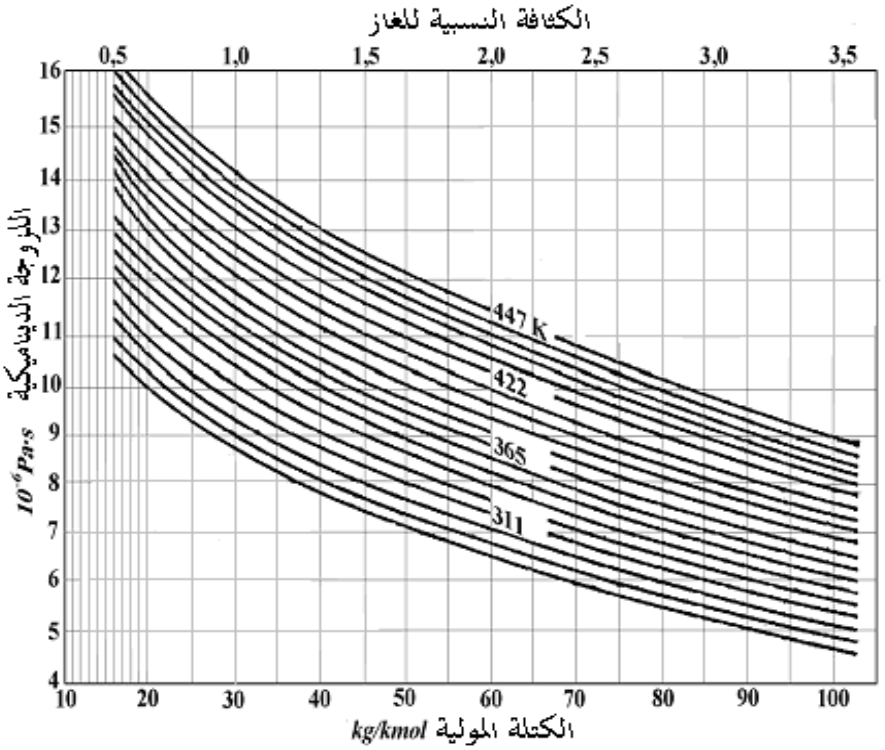
وهي الصفة أو الخاصية الفيزيائية المميزة للموائع الحقيقة بأنها تقاوم تغيير شكلها و يمكن تصنيفها إلى النوعين التاليين: اللزوجة التحريكية واللزوجة الحركية.

- اللزوجة التحريكية أو الديناميكية: وهي بالتعريف النسبة بين الإجهادات المماسية المؤثرة في نقطة ما من المائع (τ) وتدرج السرعة (dv/dx):

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dx}} \qquad (2\text{-}16)$$

- العوامل الرئيسية المؤثرة على اللزوجة الديناميكية:

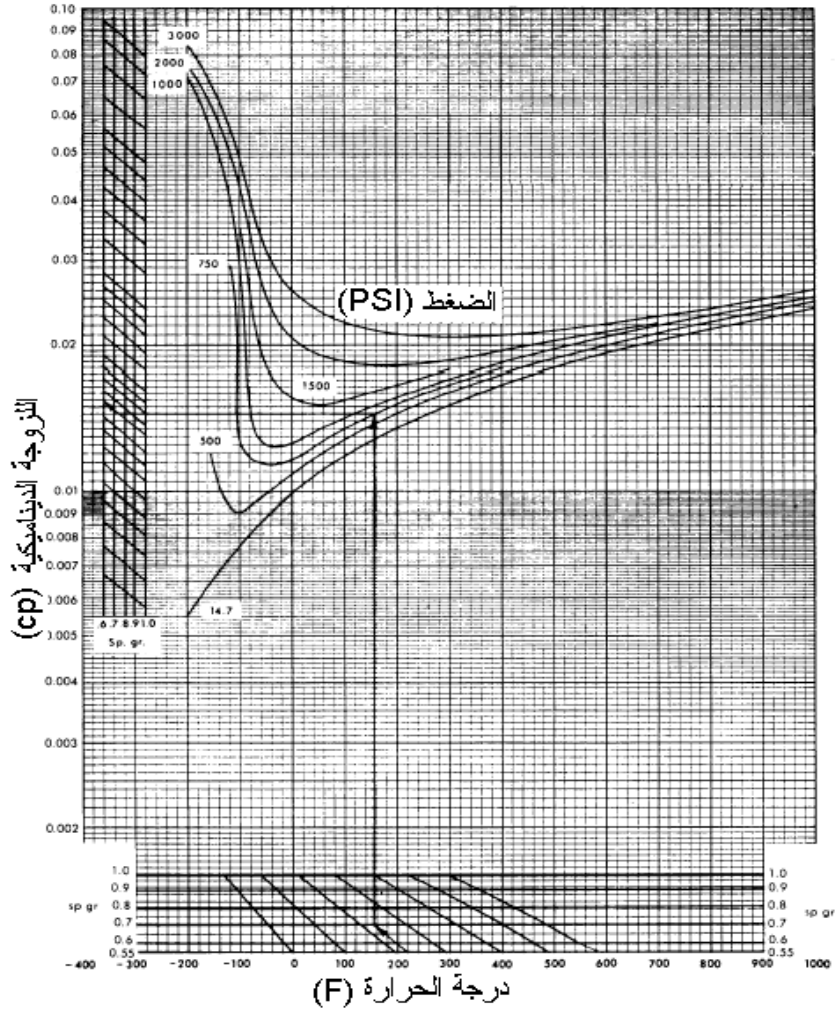
1) **الكتلة المولية:** تتناقص قيمة اللزوجة الديناميكية بازدياد الكتلة المولية للغاز، كما هو مبين في الشكل (2.1).



الشكل (2.1) علاقة اللزوجة الديناميكية بالكتلة المولية.

2) **الضغط:** تتزايد قيمة اللزوجة الديناميكية بازدياد قيمة الضغط مهما كانت قيمة درجة الحرارة.

3) **درجة الحرارة:** تتزايد قيمة اللزوجة الديناميكية بازدياد درجة الحرارة وذلك عندما لا تتجاوز قيمة الضغط ($70\,bar$)، ولكن عند الضغوط المرتفعة تتناقص قيمة هذه اللزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة، وذلك في مجال درجات الحرارة الصغيرة وبعد ذلك تبقى ثابتة عملياً، كما هو موضح في الشكل (2.2).



الشكل (2.2) تأثير درجة الحرارة والضغط على اللزوجة الديناميكية للغازات.

- طرق حساب اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي:

في الصناعة الغازية، يمكن حساب اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي باستخدام إحدى الطريقتين التاليتين:

1. **طريقة المنحنيات**:

يستلزم استخدام هذه الطريقة توفر المنحنيات التالية:

a) المنحني المعبر عن تغير اللزوجة عند الضغط النظامي (μ_1) مع كل من الكثافة النسبية للغاز (Δ) ودرجة الحرارة (T).

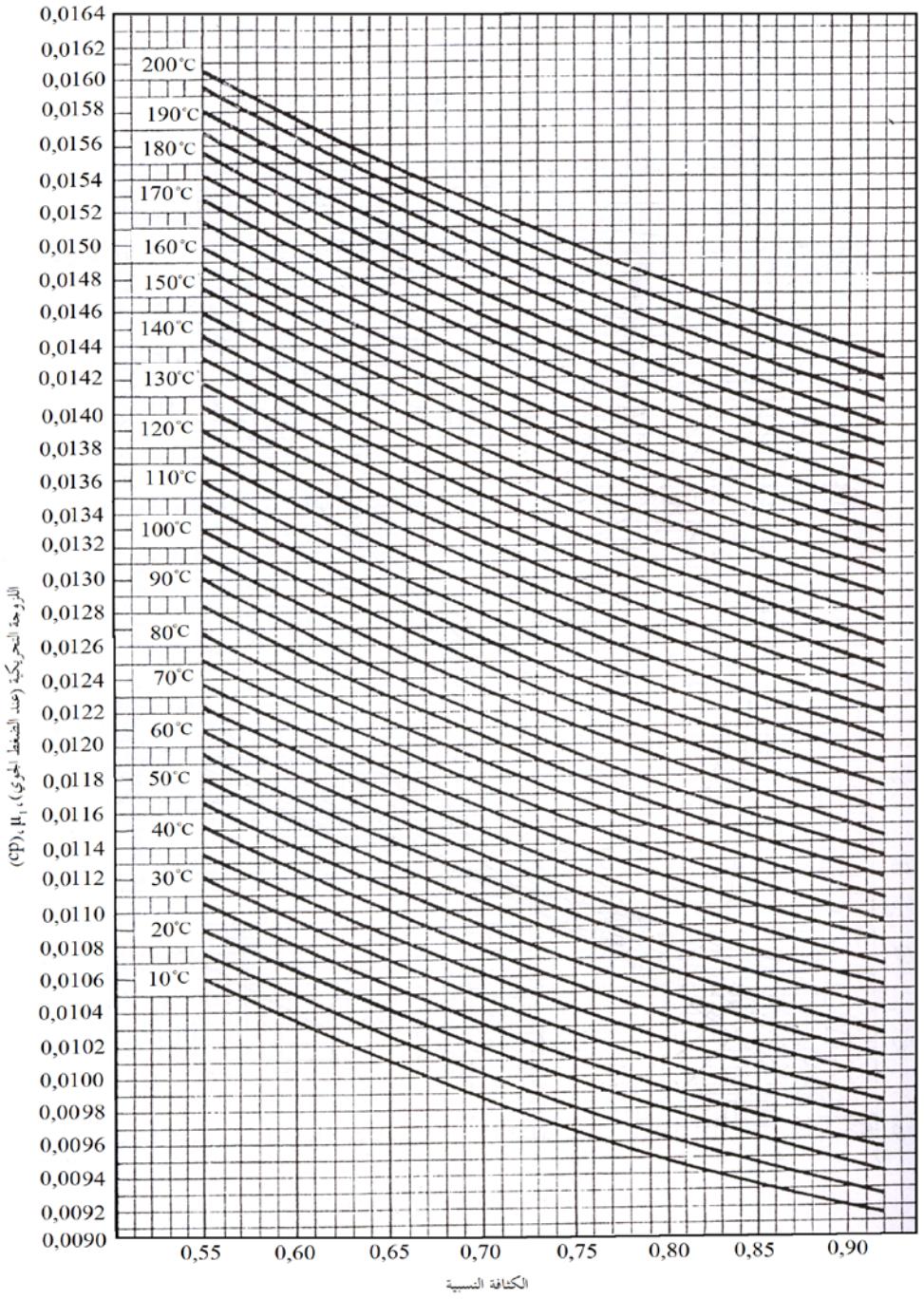
b) المنحني المعبر عن تغير النسبة (μ/μ_1) مع كل من الضغط المخفض الزائف للمزيج الغازي (p_{pr})،ودرجة الحرارة المخفضة الزائفة (T_{pr}).

فمن أجل استخدام هذه المنحنيات لابد من معرفة قيم البارامترات التالية: الكثافة النسبية للمزيج الغازي (Δ)، الضغط المخفض الزائف ودرجة الحرارة المخفضة الزائفة.

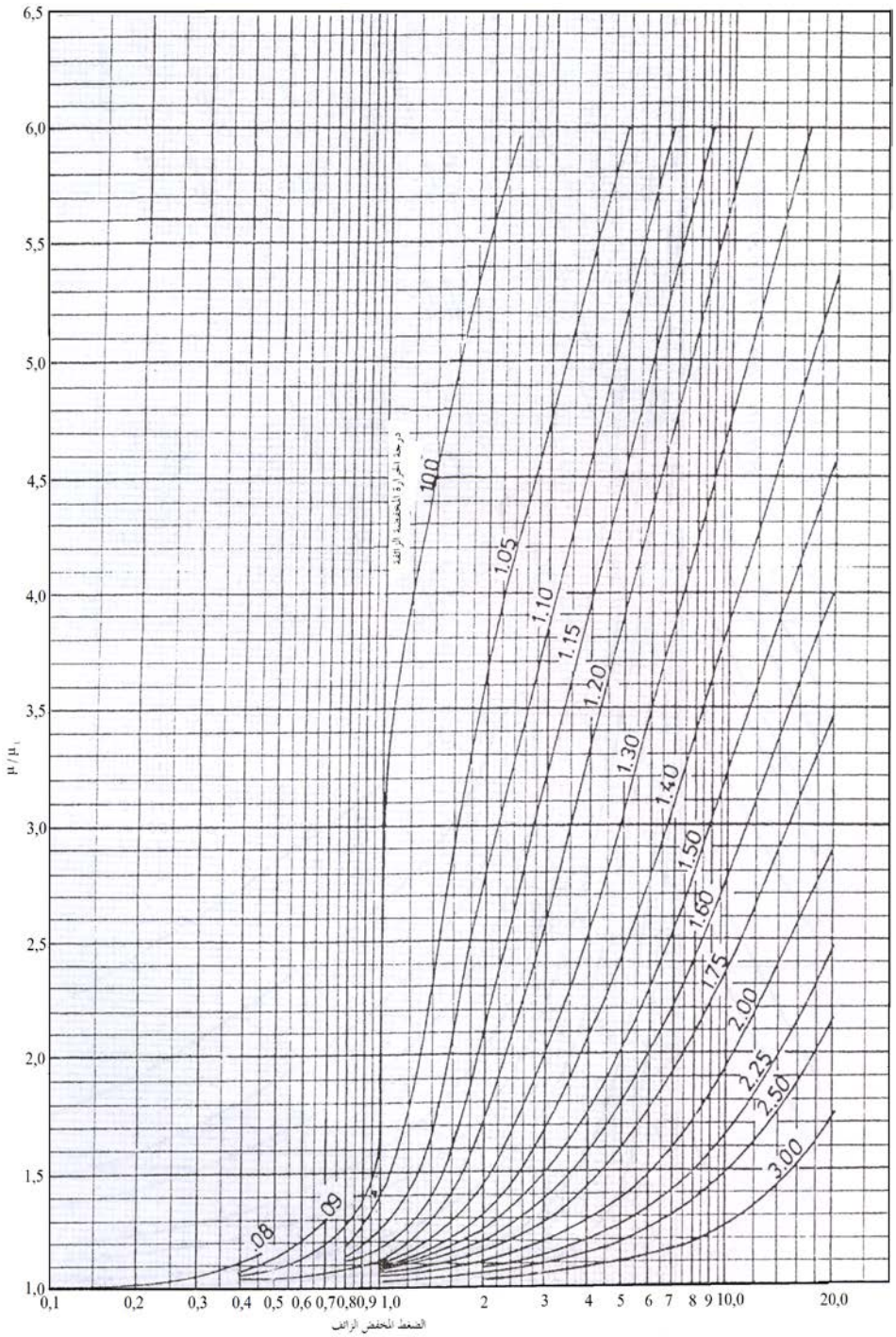
يجب أن نعلم المنحنين السابقين يمكن أن يستخدما في تعيين لزوجة الغازات وحيدة العنصر وذلك وبعد أن يستعاض عن (p_{pr}) بـ (p_r) وعن (T_{pr}) بـ (T_r).

عندئذ بعد أن يتم تعيين قيم البارامترات السابقة وإسقاطها على المحاور المناسبة، يمكن من الشكل (2.3) قراءة قيمة اللزوجة (μ_1) وعند درجة حرارة المزيج الغازي في حين يمكن أن نقرأ من المخطط (2.4) أو المخطط (2.5) قيمة النسبة (μ/μ_1) وبالنتيجة يمكن تعيين اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي عند الضغط (p) ودرجة الحرارة (T) كما يلي:

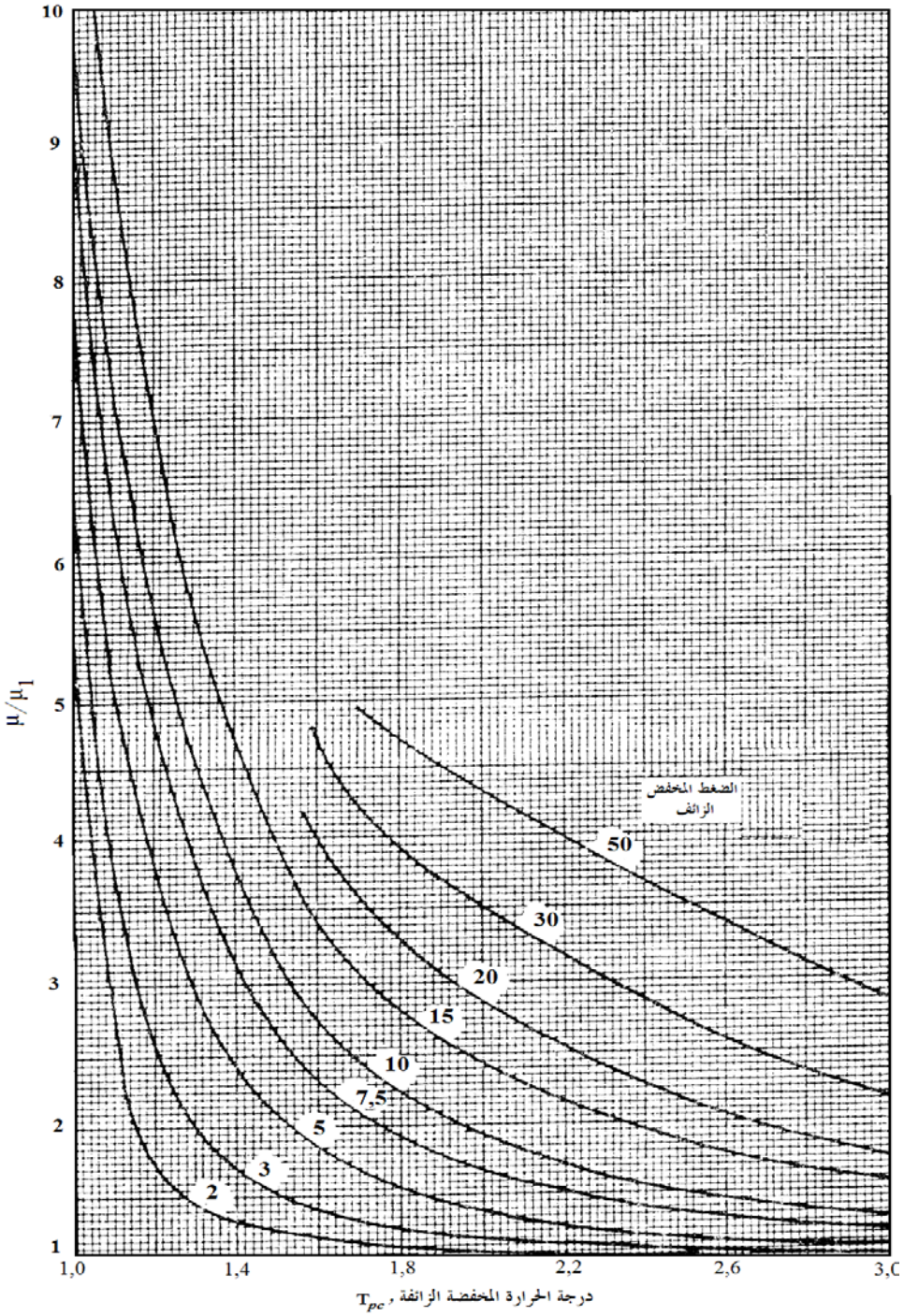
$$\mu = (\mu/\mu_1) \times (\mu_1) \qquad (2\text{-}17)$$



الشكل (2.3) العلاقة بين اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي وكثافته النسبية



الشكل (2.4) العلاقة بين μ / μ_1 والضغط المخفض الزائف.



الشكل (2.5) العلاقة بين μ/μ_1 ودرجة الحرارة المخفضة الزائفة.

2. طريقة استخدام العلاقات الرياضية:

تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق استخداماً في حساب لزوجة المزائج الغازية، حيث يستلزم استخدام هذه الطريقة معرفة اللزوجة الديناميكية لكل عنصر من عناصر المزيج في شروط العمل، عندئذ يتم تعين اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي باستخدام العلاقة:

$$\mu_{mix} = \frac{\sum \mu_i y_i \sqrt{\mathrm{M}_i \mathrm{T}_{ci}}}{\sum y_i \sqrt{\mathrm{M}_i \mathrm{T}_{ci}}} \qquad (2\text{-}18)$$

μ_i : اللزوجة الديناميكية للعنصر الغازي i ويمكن تعيينها باستخدام علاقة (*Sutherland*):

$$\mu_i = \mu_{\mathrm{N}} \frac{\mathrm{T}_{\mathrm{N}} + C}{\mathrm{T} + C} \left(\frac{\mathrm{T}}{\mathrm{T}_{\mathrm{N}}} \right)^{0.5} \qquad (2\text{-}19)$$

μ_{N} : اللزوجة الديناميكية للعنصر الغازي i في الشروط النظامية ويمكن معرفتها باستخدام بعض المنحنيات أو الجداول الخاصة، كما هو مبين في الجدول التالي :

الجدول (2.3) لزوجة بعض العناصر الغازية في الشروط النظامية.

اسم الغاز	$\mu_{\mathrm{N}}\ [pa.s]$	اسم الغاز	$\mu_{\mathrm{N}}\ [pa.s]$
الميتان	$10{,}2 \cdot 10^{-6}$	نظامي الهيبتان	$5{,}2 \cdot 10^{-6}$
الإيتان	$8{,}5 \cdot 10^{-6}$	نظامي الأوكتان	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$
البروبان	$7{,}5 \cdot 10^{-6}$	كبريت الهيدروجين	$11{,}7 \cdot 10^{-6}$
الإيزوبوتان	$7{,}1 \cdot 10^{-6}$	ثنائي أوكسيد الكربون	$13{,}7 \cdot 10^{-6}$
نظامي البوتان	$7{,}0 \cdot 10^{-6}$	الآزوت	$16{,}3 \cdot 10^{-6}$
نظامي البنتان	$6{,}4 \cdot 10^{-6}$	الهواء	$17{,}1 \cdot 10^{-6}$
نظامي الهكسان	$5{,}9 \cdot 10^{-6}$	الهليوم	$18{,}5 \cdot 10^{-6}$

C : معامل *Sutherland*:

$$C_{\mathrm{CH_4}} = 170,\ C_{\mathrm{C_2H_6}} = 280,\ C_{\mathrm{C_3H_8}} = 318, C_{\mathrm{CO_2}} = 240,\ C_{\mathrm{CO}} = 102, C_{\mathrm{N_2}} = 110$$

يمكن أن نذكر أيضاً من الطرق الرياضية المستخدمة في تعيين لزوجة الأمزجة الغازية طريقة ***Lee-Gonzales-Eakin*** والتي تعبر عن العلاقة بين لزوجة المزيج الغازي ودرجة الحرارة.

$$\mu_{mix} = 10^{-4} \mathrm{K} \cdot e^{\left[x \left(\frac{\rho_{mix}}{3{,}89} \right)^{y} \right]} \qquad (2\text{-}20)$$

حيث أن:

$$K = 0,715\frac{(9,4 + 0,02 \cdot M_{mix}) \cdot T^{1,5}}{209 + 19 \cdot M_{mix} + 0,8 \cdot T}$$

$$x = 3,5 + \frac{1232,5}{T} + 0,01 \cdot M_{mix}$$

$$y = 2,4 - 0,2x$$

$$\rho_{mix} = \frac{p \cdot M_{mix}}{Z \cdot R_u \cdot T}$$

يعطي تطبيق العلاقات الرياضية السابقة نتائج مرضية بالنسبة للمزائج الغازية التي لا تحتوي على غازات غير هيدروكربونية أو تلك التي تحتوي على كميات ضئيلة من المركبات غير الهيدروكربونية، ولكن عند تعيين لزوجة المزائج الغازية التي تحتوي على نسب كبيرة من غاز H_2S, CO_2 ، يفضل استخدام طريقة ***Dean-Stiel*** حيث قام هذان العالمان بإدخال المفهوم ξ:

$$\xi = 5.4402 \cdot \left[\frac{(T_{pc})^{1/6}}{((\sum y_i M_i) \cdot (p_{pc}))^{2/3}}\right] \qquad (2\text{-}21)$$

حيث أن:

$$Z_m = \sum y_i Z_{ci}$$

$$V_{pc} = \sum y_i V_{ci}$$

$$T_{pc} = \sum y_i T_{ci}$$

$$p_{pc} = \frac{Z_m R.T_{pc}}{V_{pc}} \qquad (2\text{-}22)$$

إن تطبيق هذه الطريقة يستوجب معرفة قيمة درجة الحرارة المخفضة الزائفة.

ففي الحالة التي يكون فيها $(T_{pr} \geq 1,5)$ ، يتم استخدام العلاقة التالية:

$$\xi.\mu_A = [166.8 \cdot 10^{-5}][0.1338 \cdot T_{pr} - 0.0932]^{5/9} \qquad (2\text{-}23)$$

أما في حال كون $(T_{pc} \leq 1,5)$ فإن:

$$\xi.\mu_A = 34,6 \cdot 10^{-5} \cdot T_{pr}^{8/9} \qquad (2\text{-}24)$$

وفي كلا الحالتين يتم حساب μ_A بتقسيم قيمة الجداء $\xi.\mu_A$ على قيمة المعامل ξ، ومن المهم جداً أن نعرف بأن طريقة *Dean-Stiel* يمكن استخدامها من أجل تعيين لزوجة كل عنصر من عناصر المزيج أو تعيين لزوجة المزيج الغازي ككل

- اللزوجة الحركية أو الكينيماتيكية: وهي النسبة بين اللزوجة الديناميكية للغاز وكثافته، أي:

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \qquad (2\text{-}25)$$

ويمكن تعيين اللزوجة الحركية للمزيج الغازي باستخدام العلاقة التالية:

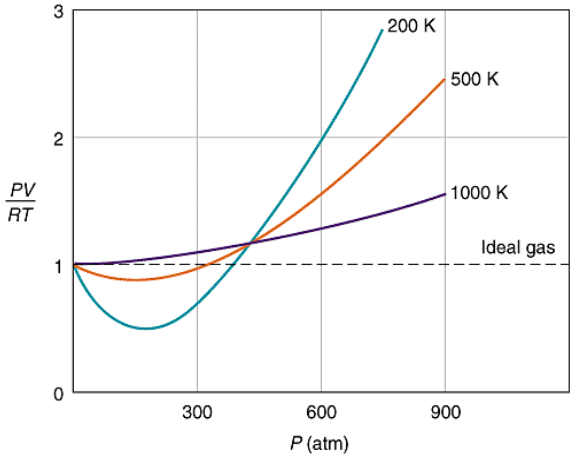
$$\upsilon_{mix} = \frac{1}{\sum y_i / \upsilon_i} \qquad (2\text{-}26)$$

وعندئذ يمكن حساب اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي كما يلي :

$$\mu_{mix} = \rho_{mix} \cdot \upsilon_{mix} \qquad (2\text{-}27)$$

2-6- عامل الإنضغاطية :

دلت التجارب المخبرية على أن سلوك الغازات الحقيقية ينحرف عن سلوك الغازات المثالية، ويزداد مقدار هذا الانحراف بازدياد الضغط وانخفاض درجة الحرارة التي يمكن أن يتواجد عندها الغاز المدروس – لاحظ الشكل (2.6) - ويمكن التعبير عن هذا الانحراف، عملياً، بالعامل (Z) المسمى بعامل انحراف الغازات الحقيقية عن القانون العام للغازات المثالية أو بعامل الإنضغاطية أو اللامثالية.



الشكل (2.6)، مدى انحراف سلوكية غاز الآزوت عن القانون العام للغازات المثالية عند درجات حرارة مختلفة.

تعتبر المعادلة العامة للغازات المثالية، عملياً، وسيلة مرضية في تعيين بعض الخصائص الفيزيائية للغازات ذات الضغوط المنخفضة، في حين يمكن أن يؤدي تطبيق هذه المعادلة على الغازات ذات الضغوط المرتفعة إلى ارتيابات وأخطاء كبيرة.

إن معادلات الحالة الكثيرة التي تم اقتراحها من أجل تمثيل العلاقة بين كل من الضغط والحجم ودرجة الحرارة هي بالحقيقة معادلات معقدة وتتطلب عملية حلها استخدام تقنيات البرمجة المتنوعة.

يمكن كتابة معادلة الحالة للغازات الحقيقية وذلك من أجل (m) كيلو غرام على النحو التالي:

$$pV_{real} = ZmRT \qquad (2\text{-}28)$$

ومن المعلوم، أنه يمكن كتابة معادلة الحالة للغاز المثالي كما يلي:

$$pV_{ideal} = mRT \qquad (2\text{-}29)$$

وبتقسيم العلاقة (2.25) على العلاقة (2.26) ينتج:

$$Z = \frac{V_{real}}{V_{ideal}} \qquad (2\text{-}30)$$

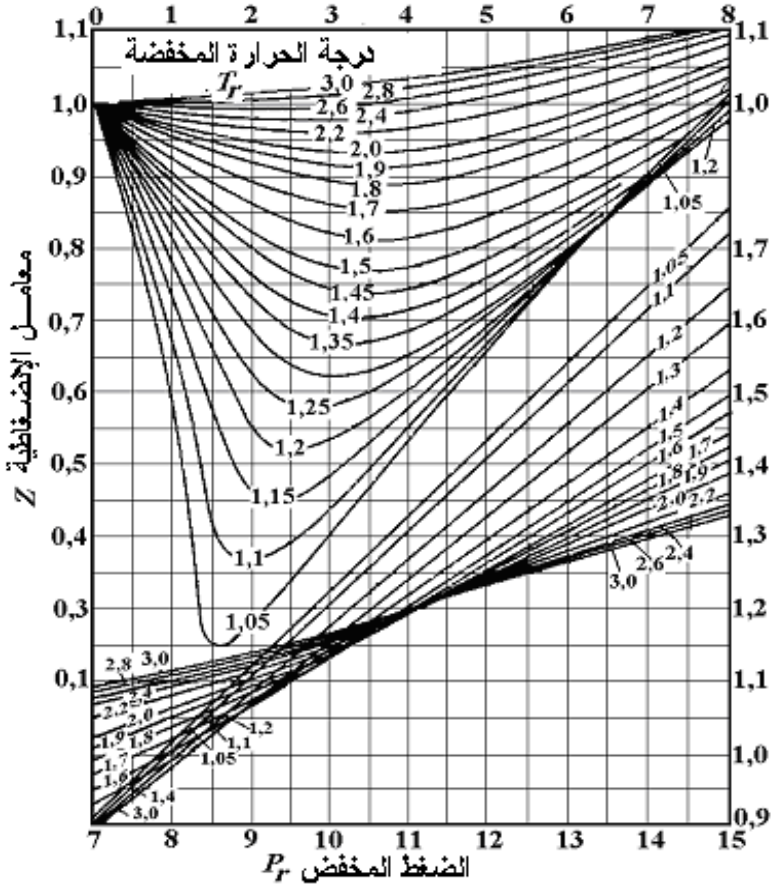
وبناء على ما سبق يمكن تعريف عامل الإنضغاطية بأنه النسبة بين الحجم الحقيقي الذي تشغله كتلة معينة من الغاز عند ضغط ودرجة حرارة محددين إلى الحجم الذي تشغله نفس الكتلة عند نفس الشروط إذا تصرف الغاز بشكل مثالي.

وبشكل رئيسي تعتمد قيمة عامل الإنضغاطية على تركيب وصفات النظام الغازي، والضغط، ودرجة الحرارة، ولا تتعلق بكمية الغاز المدروس.

يمكن تعيين قيمة معامل الإنضغاطية إما باستخدام المنحنيات البيانية ذات الشكل $Z = f(p_{pr}, T_{pr})$ أو باستخدام بعض العلاقات الرياضية.

- **طريقة تعيين Z باستخدام المنحنيات البيانية ذات الشكل $Z = f(p_{pr}, T_{pr})$:**

لقد تم بناء مجموعة من المنحنيات البيانية المعبرة عن تغيرات معامل الانضغاطية لعدد من المركبات الهيدروكربونية كتابع لكل من الضغط المخفض الزائف و درجة الحرارة المخفضة الزائفة، لكن يعتبر المنحني المبني من قبل (*Standing and Katz*) من أكثر المنحنيات استخداماً في تعيين قيمة Z للغازات الجافة .



الشكل (2.7) عامل الإنضغاطية Z بالعلاقة مع الضغط ودرجة الحرارة المخفضين.

من الواضح أن استخدام الشكل (2.7) يستلزم معرفة كل من درجة حرارة وضغط العمل وبناء عليه يتم إسقاط قيمة كل من (p_{pr}, T_{pr}) والمحسوبين بالعلاقة (2.5) على المحاور المناسبة لمنحنيات (*Standing and Katz*) للحصول على قيمة Z.

- **طريقة تعيين عامل الإنضغاطية Z باستخدام العلاقات الرياضية**:

في الحقيقة تفتقر قيمة عامل الإنضغاطية المقروءة من المنحنيات البيانية إلى الدقة الكافية، ولهذا السبب تم اعتماد مجموعة من العلاقات الرياضية التجريبية ذات الشكل $Z = f(p_{pr}, T_{pr})$، و يمكن أن نذكر منها:

I. علاقة *Berthelot*:

$$Z = 1 + \frac{9}{128} \cdot \frac{p}{p_{pc}} \cdot \frac{T_{pc}}{T} \left(1 - \frac{6T_{pc}^2}{T^2}\right) \qquad (2\text{-}31)$$

وبمراعاة قيم الضغط المخفض الزائف ودرجة الحرارة المخفضة الزائفة، يمكن كتابة العلاقة السابقة على النحو التالي:

$$Z = 1 + \frac{9}{128} \cdot \frac{p_{pr}}{T_{pr}} \cdot \left(1 - \frac{6}{T_{pr}^2}\right) \qquad (2\text{-}32)$$

II. علاقة *Adamov*:

$$Z = \frac{1}{1 + (24 - 0{,}27 \cdot T) \cdot 10^{-4}\, p} \qquad (2\text{-}33)$$

حيث أن:

T: درجة حرارة الغاز،($^{\circ}C$).

p : ضغط الغاز ،(bar).

- تأثير المركبات غير الهيدروكربونية على عامل الإنضغاطية:

من المعلوم أن الغازات الطبيعية تحتوي بالإضافة للمركبات الهيدروكربونية، مركبات غير هيدروكربونية كالآزوت، وثنائي أوكسيد الكربون، وغاز كبريت الهيدروجين، لكن عندما تتجاوز قيمة الكسر المولي لأحد هذه الغازات أو مجموعهما (10%) فمن المستحسن عدم اللجوء إلى استخدام العلاقات الرياضية السابقة في تعيين قيمة عامل الإنضغاطية لأنها يمكن أن تؤدي إلى أخطاء كبيرة لا يسمح بها في الصناعة الغازية.

لقد قام العالمان (*Wichert and Aziz*) بتعريف كل من الضغط الحرج الزائف المصحح و درجة الحرارة الحرجة الزائفة المصححة كما يلي:

$$T'_{pc} = T_{pc} - \varepsilon \qquad (2\text{-}34)$$

$$p'_{pc} = \frac{p_{pc} \cdot T'_{pc}}{T_{pc} + B(1-B) \cdot \varepsilon} \qquad (2\text{-}35)$$

حيث أن:

T_{pc}: درجة الحرارة الحرجة الزائفة للمزيج الغازي.

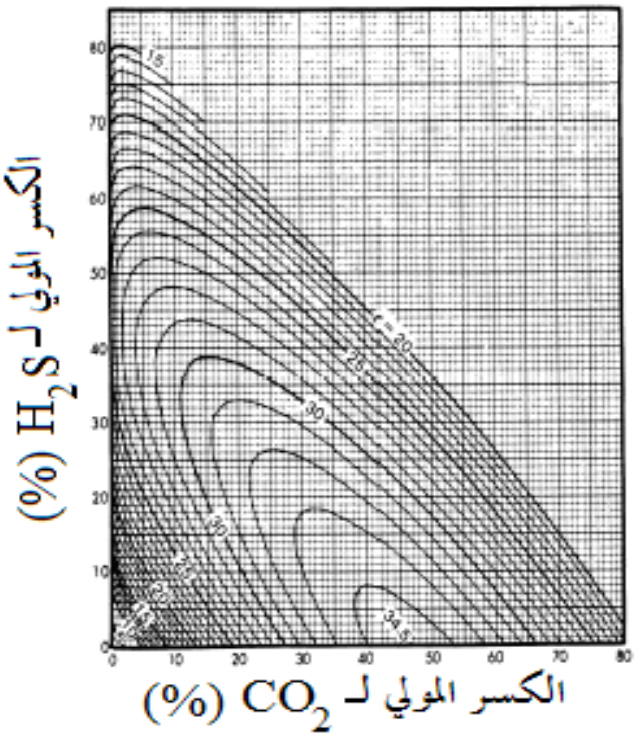
p_{pc} : الضغط الحرج الزائف للمزيج الغازي.

T'_{pc}: درجة الحرارة الحرجة الزائفة المصححة.

p'_{pc} : الضغط الحرج الزائف المصحح.

ε: معامل التصحيح، والذي يمكن تعيينه بطريقتين:

1) باستخدام المنحني المبين أدناه:



الشكل (2-8)

2) **باستخدام العلاقة الرياضية التالية:**

$$\varepsilon = 120 \cdot (A^{0,9} - A^{1,6}) + 15 \cdot (B^{0,5} - B^4) \qquad (2\text{-}36)$$

حيث أن:

A : مجموع الكسر المولي لكل من غاز كبريت الهيدروجين وثنائي أوكسيد الكربون في المزيج الغازي.

B : الكسر المولي لغاز كبريت الهيدروجين في المزيج الغازي.

ولكن عندما يكون تركيز غاز الآزوت كبيراً في المزيج الغازي من المفضل تعيين عامل الإنضغاطية Z باستخدام طريقة *Carr-Kobayashi-Burrows*:

$$T'_{pc} = T_{pc} - 80 \cdot y_{co_2} + 130 \cdot y_{H_2S} - 250 \cdot y_{N_2} \qquad (2\text{-}37)$$

$$p'_{pc} = p_{pc} + 440 \cdot y_{co_2} + 600 \cdot y_{H_2S} - 170 \cdot y_{N_2} \qquad (2\text{-}38)$$

حيث أن:

T_{pc}: درجة الحرارة الحرجة الزائفة للمزيج الغازي.

p_{pc} : الضغط الحرج الزائف للمزيج الغازي.

T'_{pc}: درجة الحرارة الحرجة الزائفة المصححة.

p'_{pc} : الضغط الحرج الزائف المصحح.

2-7- عامل حجم الغاز Gas F.V.F:

ان عامل حجم الغاز بالتعريف هو النسبة بين حجم الغاز بالشروط الطبقية إليه في الشروط الصحيحة .

يتحدد عامل حجم الغاز (B_g) من العلاقة :

$$B_g = \frac{V_R}{V_{SC}} \qquad (2\text{-}39)$$

حيث ان :

V_R- الحجم الذي يشغله الغاز عند درجة حرارة المكمن وضغطه .

$$V_R = \frac{Z.n.R.T}{P} \qquad (2\text{-}40)$$

V_{sc} – الحجم الذي تشغله كتلة الغاز نفسها عند الشروط القياسية .

$$V_{SC} = \frac{Z_{SC}.n.R.T}{P_{SC}} \qquad (2\text{-}41)$$

ومنه فإن (B_g)

$$B_g = \frac{Z.T.P_{SC}}{Z_{SC}.T_{SC}.V} \qquad (2\text{-}42)$$

اذا افترضنا الشروط القياسية مأخوذة بالشروط الانجليزية أي :

$Z_{SC}=1$, $P_{SC}=14.65P_{si}$, $T_{SC}=60\ F^\circ=520\ R^\circ$

فأن (B_g) :

$$B_g = 0.0282\frac{Z.T}{P} \qquad \frac{ft^3}{Scf} \qquad (2\text{-}43)$$

إذا حولنا هذه الواحدات إلى (RB/Mscf) , أي : برميل باطني لكل ألف قدم مكعب قياسي يصبح (B_g)

$$B_g = \left(0.0282 \frac{ZT}{P} \frac{ft^3}{Scf}\right) x \left(\frac{bbL}{5.615 ft^3}\right) x \left(\frac{1000 Scf}{M_{SC}\, f}\right) \qquad (2\text{-}44)$$

$$B_g = 5.02 \frac{ZT}{P} \frac{RB}{M_{SC}\, f} \qquad (2\text{-}45)$$

2-8- انفلات الغاز (معامل جول تومسون) :

خلال عمليات إنتاج الغاز الطبيعي يجري الغاز عبر تضيقات (اختناقات) في مقطع التجهيزات (فالات – صمامات ..الخ) مما يؤدي إلى تغيرات في الضغط , يرافق ذلك تغيرات في درجة الحرارة , يسبب ضياع قسم من الطاقة للتغلب على قوى التجاذب بين جزئيات الغاز دون ان يحدث تبادل حرارة أو عمل مع الوسط الخارجي .

ان تغير درجة حرارة الغاز عند انخفاض قيمة الضغط بمقدار واحد ضغط جوي يسمى جول تومسون , ويتعلق هذا المعامل بقيم الضغط والحرارة وتركيب الغاز , حيث تتغير قيمته في مجال واسع .

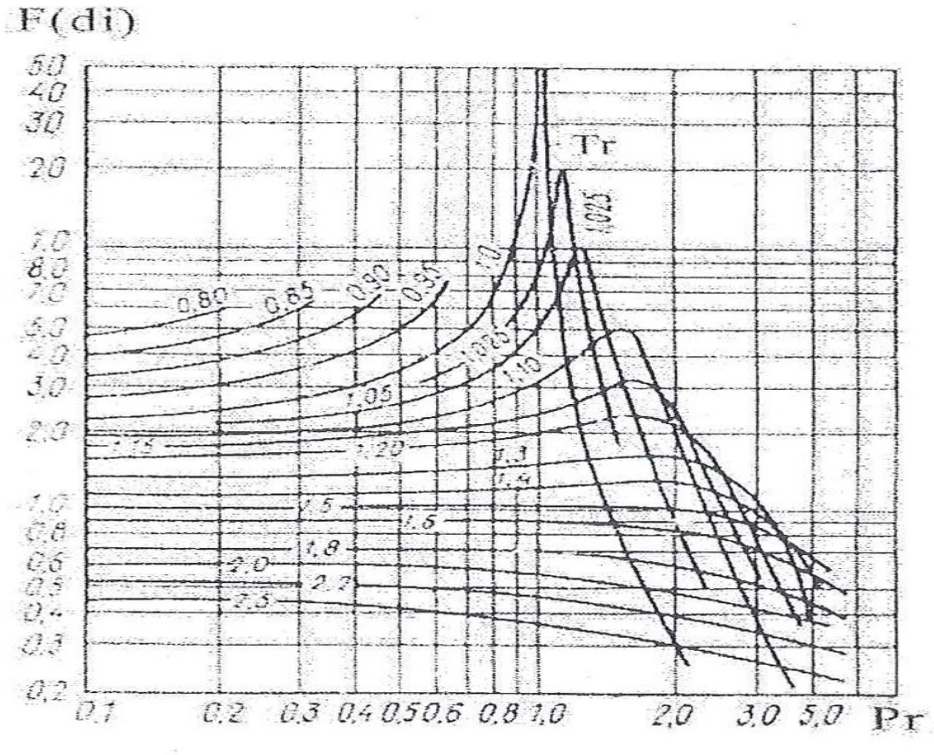
تحسب قيمة معامل جول تومسون للغاز الطبيعي بالعلاقة التالية :

$$di = \frac{T_{cr}.F(di)}{P_{cr}.C_P} \qquad (2\text{-}46)$$

حيث أن :

C_P- السعة الحرارية Kcal/Kmol.$^{\circ}C$

F(di)- معامل تحدد قيمته من الشكل



الشكل (9-2) قيمة المعامل F(di) بالعلاقة مع القيم المصغرة بالضغط والحرارة

يمكن حساب قيمة F(di) رياضياً من العلاقة :

$$F(di) = 1.44\left[V_r - T_r\left(\frac{\partial V_r}{\partial T_r}\right)_{Pr}\right] \qquad (2\text{-}47)$$

ومن اجل قيم الضغط والحرارة المصغرة الواقعة ضمن المجالات :

$$1.6 \leq T_r \leq 2.1 \qquad 0.8 \leq P_r \leq 3.5$$

فانه من الممكن وبدقة كافية تحديد *F(di)*

$$F(di) = 2.343 x T_r^{-2.04} - 0.071(P_r - 0.8) \qquad (2\text{-}48)$$

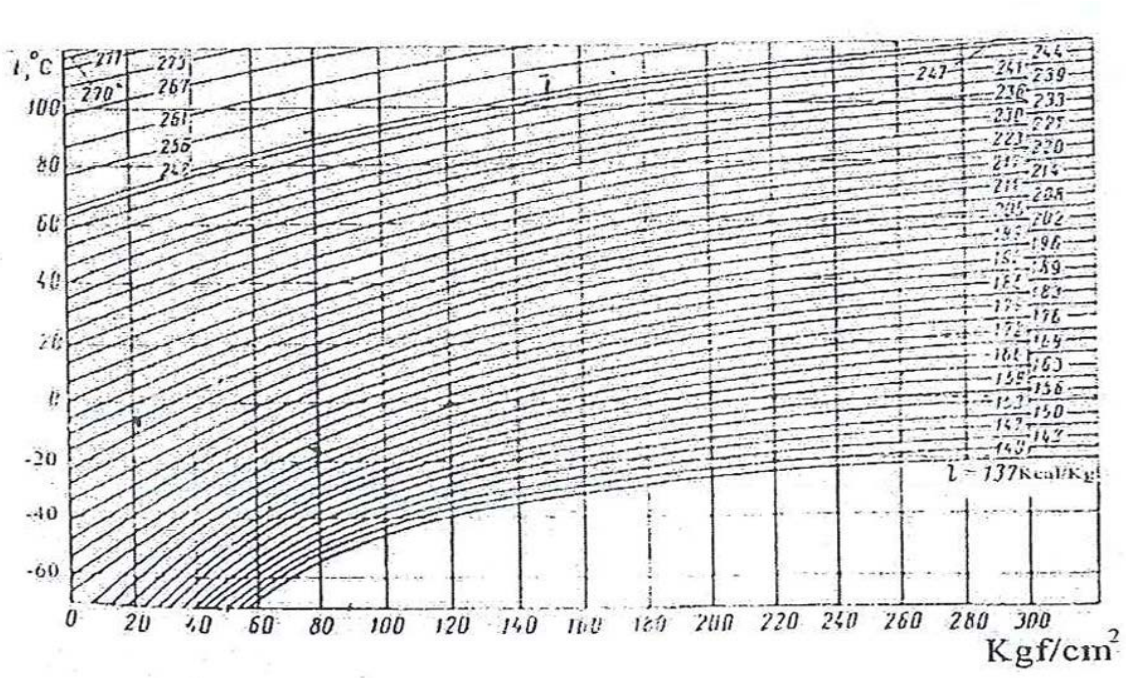
$\frac{V}{V_{Cr}}$ -V_r الحجم المصغر للغاز ويساوي

عملياً, من المهم تحديد درجة حرارة الغاز بعد التضيق , ويتم تحديد ذلك باستخدام المنحنيات الخاصة والموضحة بالشكل (2-10) حسب الخطوات التالية :

1- تحديد النقطة التي تمثل الشروط الأولية (P_1,T_1) قبل الانفلات .

2- رسم خط منحني مساير للمنحنيات الموجودة حتى يتقاطع مع قيمة الضغط بعد الانفلات P_2.

3- نسقط نقطة التقاطع على محور درجة الحرارة فنحصل على درجة حرارة الغاز بعد الانفلات .



الشكل (2-10) تغير حرارة الغاز بتأثير فعل جول تومسون

إن استخدام الشكل (2-10) من اجل تحديد درجة الحرارة بعد انفلات الغاز يتطلب معرفة قيمة الانتالبية , لذلك ومن اجل السهولة وضع الباحثون علاقة تجريبية تعطي نتائج مرضية من الناحية العملية , وأكثرها استخداماً علاقة شيركو فسكي :

$$-\frac{1}{T_2} = \frac{3.57 x P_r^{0.25}}{C_p . T_{r1}} x \begin{bmatrix} 0.005x10^{-3} x Ln\frac{P_1}{P_2} + 0.29x10^{-7}(P_1 - P_2) \\ -2.09x10^{-7}(P_1 - P_2) \end{bmatrix} \quad (2-49)$$

حيث أن :

$$P_r = \frac{(P_1 - P_2)}{2P_{cr}}, T_{r1} = \frac{T_1}{T_{cr}}, \overline{C_P} = C_P(\overline{P_r}, \overline{T_{r1}}) \quad (2\text{-}50)$$

أظهرت القياسات العملية ان القيمة الوسطية لمعامل جول تومسون للغازات الطبيعية هي بحدود (2-4)ḰMPa وذلك بالعلاقة مع تركيب الغاز ومقدار انخفاض الضغط ودرجة الحرارة الابتدائية .

الفصل الثالث

مشاكل إنتاج الغاز الطبيعي

لدينا بعض المشاكل الحقلية أثناء إنتاج الغاز، هذه المشاكل تتعلق بالخواص الجيولوجية للطبقة المنتجة وبالنظام التكنولوجي لعمل الآبار وبخواص الموائع الطبقية وتركيبها .سنستعرض أهم المشاكل و كيفية معالجتها وطرق تلافيها.

3-1- إنتاج الغاز الحامضي sour gas production

تحتوي العدد من مكامن الغاز الطبيعي على كبريتي).هيدروجين (H2S) وثاني أوكسيد الكربون (CO2) يسمى هذان الغازان بالغازين الحامضيين acid gasesلأنهما يشكلان محلولين حامضين بوجود الماء ،ويدعى الغاز امضيا إذا كان يحتوي على كميات من H_2S أعلى من الحدود المسموح بها صناعيا .وتقدر عادة بأربعة أجزاء لكل مليون جزء (4ppm).ويتضمن إنتاج هذه الغازات عدة مشاكل منها:التآكل

التآكل يعرف تآكل المعادن بأنه تلف المعادن أو فقدانها لخواصها الفيزيائية و الكيميائية نتيجة لتفاعلها مع وسط معادي .

3-1-1- أسباب التآكل :

تتلخص أسباب التآكل واهتراء المواد الإنشائية في التجهيزات المختلفة في ما يلي:

1- المواد الآكالة الموجودة في الأجواء المعمول بها مثل الحموض و الأسس و الأملاح و المركبات الكبريتية و الكلورية و الفلورية ...الخ .
2- تأثير الشروط السائدة من ضغط و درجة حرارة و تركيز .
3- طبيعة و تركيب المواد المكونة للتجهيزات و مقاومتها للأجواء المعمول بها .
4- التأثير الميكانيكي الناتج عن الاحتكاك و التبريد و التسخين وتدفق الموائع ..الخ .

3-1-2- أنواع التآكل :

1- التآكل الكيميائي :

عبارة عن تخريب سطح المعدن عند تلامسه مع عنصر كيميائي دون أن يرافق ذلك ظهور تيار كهربائي في المعدن .

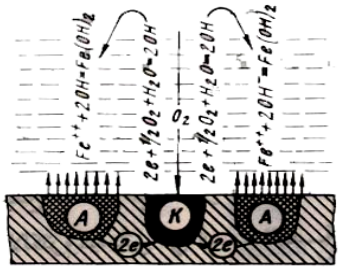
2- التآكل الكهروكيميائي :

عبارة عن تخريب سطح المعدن عند تلامسه مع عنصر كيميائي مع ظهور تيار كهربائي في المعدن .

ويتلخص جوهر التآكل الكهروكيميائي في أنه نتيجة للتأثير المتبادل بين المعدن والوسط المحيط به (طين ، ماء) حيث يحدث تخريب للمعدن مع ظهور تيار كهربائي فعند التلامس للمعدن مع الماء المستقطب فإن الذرات السطحية للمعدن تتزحزح من مكانها بتأثير قوة حقل جزيئات الماء و التي بمساعدة حجمها الصغير تتغلغل في جسم المعدن .

هذا التأثير الذي يسمى عادةً المعالجة بالماء قد يكون كبيراً بحيث أنه يحدث ضعفاً بين ذرات المعدن مع إلكتروناتها الخارجية ، و أيون المعدن Fe^{+2} يحصل على إمكانية الهروب إلى الوسط السائل و فور هروبه تحيط به ذرات المعدن و تتعامل معه و بالتالي يتحرر إلكترونان على سطح المعدن و ينتقلان إلى السائل فيتعادل الأوكسجين و

الماء و ينتج بالتالي OH^- و الذي يعود ليتفاعل مع الحديد من جديد



$$2e^- + 1/2\ O2 + H2O \rightarrow 2OH^-$$

$$Fe^{+2} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)2$$

و عند تواجد كمية كافية من الأوكسجين في السائل فإن ماءات الحديد تتفاعل معه وتتحول إلى مركبات راسبة كما في المعادلة :

$$4Fe(OH)2 + O2 + 2H2O \rightarrow 4Fe(OH)3$$

و هكذا يحدث التآكل الكهروكيميائي للمعدن .

3-1-3- أشكال التآكل :

تصنف أشكال التآكل في الحياة التطبيقية حسب خواص و مواصفات التآكل و هذا ما يسهل عملية البحث عن أسباب حدوث التآكل و معرفتها و اختيار الطريقة الملائمة للمعالجة .

استناداً إلى أشكال التشققات أو التخريب كنتيجة لعملية التآكل يمكن تمييز الأشكال التالية :

1- التآكل المستمر :

يتحقق على كامل السطح المعدني و يمكن أن يكون منتظماً أو غير منتظم .

* التآكل المنتظم :

يتم بسرعة تآكل واحدة و منتظمة على كامل سطح المعدن مثال على ذلك صدأ صفيحة حديدية متروكة لفترة زمنية طويلة في وسط رطب حيث يلاحظ ظهور طبقة رقيقة و منتظمة تغطي سطح الصفيحة (ذات لون أحمر داكن) .

* التآكل الغير منتظم :

يحدث على أجزاء مختلفة من سطح المعدن و بسرعة تآكل غير متساوية .

2- التآكل التماسي :

يحدث هذا التآكل نتيجة التماس بين معدنين أو أكثر موجودين في وسط متآين (متشرد كهربائياً) .

3- التآكل النقطي :

يحصل في الأخاديد و في الشقوق الموجودة على سطح المعدن حيث تكون الشقوق و الأخاديد في حالة تماس مع سائل متآين وهناك حالة خاصة لهذا النوع من التآكل يطلق عليها اسم التآكل الخيطي أو الشعري و الذي يظهر على سطوح بعض المعادن المطلية بمادة واقية من التآكل و المعرضة لتأثيرات العوامل الجوية و في هذه الحالة تلعب المسامات أو الثقوب السطحية الرقيقة دور الأخاديد .

4- التآكل القرحي :

يتولد في مواضع محددة من سطح المعدن حيث يتسع إلى أحجام على الرغم من أنها ليست كبيرة إلا أنها تسبب إنشراخاً عميقاً للمعدن حيث يحدث نتيجة لذلك ما يطلق عليه اسم القرحة المعدنية (التآكل القرحي) و التي تلاحظ بشكل واضح على السطوح المعدنية و حتى المقاومة منها للتآكل في حالة غمرها في محاليل حاوية على شوارد الكلور العدائية (النشطة) تجاه المعدن كمياه البحار .

5- التآكل البنيوي (تآكل بين البلورات) :

يظهر هذا التآكل على طول الحدود الفاصلة بين بلورات المعدن أو الخليطة المعدنية و يعود سببه إلى السرعة الكلية لانحلال الحدود بين البلورات مما يؤدي إلى تهديم المعدن و في هذه الحالة فإن الخواص الميكانيكية للمعدن تسوء بشكل ملحوظ رغم أن الشكل الخارجي له لا يطرأ عليه أي تبديل .

1-4-3- العوامل المؤثرة في تآكل المعادن :

أولاً : العوامل الداخلية :

1- البنية الكيميائية و الفيزيائية للمعادن :

تتصف المعادن ذات النقاوة العالية بمقاومة عالية للتآكل إن وجود شوائب في المعادن يؤدي إلى تسريع عملية التآكل سواء أكانت هذه الشوائب معدنية أم لا معدنية و لكن هذا ليس دائما فالتطعيم بالكروم و السيليسيوم و عناصر أخرى يرفع من مقاومة المعدن للتآكل .

إلا أن الحصول على معدن نقي مكلف بالإضافة إلى انه غير مناسب من ناحية الاستخدام فالحديد النقي مثلاً طري جداً لذلك لا يستخدم لتصنيع الهياكل و المعدات .

الخلائط المعدنية نوعان : وحيدة الطور و ثنائية الطور .وتعتبر الخلائط وحيدة الطور هي الأفضل لأن الثنائية تكون غير متجانسة في البنية الكيميائية و الفيزيائية و هذا يؤدي إلى تسريع التآكل .

2- المعالجة الميكانيكية و الحرارية :

تتبع هذه المعالجة لإكساب المعدن خواص و صفات محددة فمثلا تقسية الفولاذ (تسخين + تبريد سريع)لزيادة متانته و قساوته .

تحصل عند المعالجة الحرارية تغيرات غير مرغوب فيها في بنية المعدن الأمر الذي يؤدي إلى تطوير أو تسريع التآكل البنيوي (بين بلورات المعدن) .

المعالجة بالقطع لا تسبب إجهادات داخلية كبيرة , لكنها تحدد نقاوة و درجة صقل المعدن المعالج و كلما كان سطح المعدن مصقولاً بشكل جيد كلما زادت مقاومة المعدن للتآكل يعود السبب في حصول

التآكل الناتج عن الإجهادات الداخلية إلى تشكل مناطق بلورية غير منتظمة نتيجة للإجهادات تفصل بين مناطق بلورية منتظمة حيث تشكل المناطق البلورية غير المنتظمة المصعد الذي يتآكل .

ثانيا - العوامل الخارجية :

1- تأثير الأوساط الحمضية :

إن الشوارد الهيدروجينية في الوسط الأكال ذات تأثير كبير على تآكل المعادن وهذا الأمر وثيق الصلة بتغير آلية العملية, إن تغير ال PH للوسط يؤدي إلى سرعة تآكل المعادن المختلفة .

2- تأثير سرعة جريان الإلكتروليت :

إن تأثير سرعة جريان الإلكتروليت على سرعة تآكل المعادن ذو طبيعة معقدة و يختلف باختلاف طبيعة المعدن و لكن عموماً يزداد التآكل بازدياد السرعة .

3- تأثير الأملاح المنحلة :

يؤثر تركيز الأملاح المنحلة في الماء و بشكل مختلف على سرعة تآكل المعادن حسب طبيعة هذه الأملاح الكيميائية و لكن بشكل عام زيادة تركيز الأملاح تؤدي إلى زيادة الناقلية الكهربائية و بالتالي زيادة التآكل .

4- تأثير درجة الحرارة :

تزداد سرعة تآكل المعادن بزيادة درجة الحرارة بشكل مبدئي مثلا سرعة تآكل الفولاذ في حمض كلور الماء تتضاعف عند زيادة درجة الحرارة بمقدار ($10C^{\circ}$)

5-1-3- الطرق المتبعة في ضبط التآكل :

هناك خمس طرق أساسية لضبط التآكل و هي :

1- التغيير في بنية المادة :

يمكن أن يكون هذا التغيير كلياً أو جزئياً .

- التغيير الكلي : وهو خطوة هامة في هذا المجال فمثلا عند استخدام الفولاذ في الوسط الحمضي يمكن الحصول على نتيجة أفضل عند استبداله بالنحاس أو النيكل أو خلائط الستانلس ستيل .
- التغيير الجزئي : وذلك عند تغيير نوع السطح الملامس للوسط المحيط .

2- تغيير الوسط المحيط :

يتم ذلك من خلال بعض الإجراءات مثل : استخدام موانع التآكل – كسح المواد الآكالة – تغيرات بسيطة في الحرارة أو الضغط

3- حواجز مضادة للتآكل :

حيث يعتبر الطلاء من أهم الحواجز المتبعة في هذا المجال .

4- الحمايات الكهروكيميائية :

وهي كل ما يدرج تحت ما يسمى بالحمايات الكاتودية أو الأنودية .

5- الطريقة الخامسة و هي تتنوع من إنقاص بسيط للتآكل إلى تغيرات نوعية لأنواع خاصة من المعدات و تتضمن هذه الاعتبارات ما يلي :

أ- إنقاص التآكل .

ب- ضبط سرعة التآكل .

ت- استخدام فتحات التصريف .

ث- تخفيف الإجهاد و يتضمن الإجهاد الحراري و الإجهاد الميكانيكي .

3-1-6- موانع التآكل (مثبطات التآكل) :

يطلق هذا المفهوم على المواد التي إذا أدخلت إلى الوسط الآكال فإنها تخفض سرعة التآكل للمعدن عند تماسه مع وسط آكال

تستخدم موانع التآكل على نطاق واسع في مجال حماية المعادن من التآكل في الجمل المفتوحة و المغلقة ، وتستخدم أيضاً من أجل الوقاية المسبقة من ظاهرة التآكل وذلك للكثير من المعدات و الأجهزة في مختلف فروع الصناعة و يمكن التعرف على آلية عملها ببساطة حيث تتم دراسة خصائص المادة الآكالة و من ثم استخدام المثبطات المناسبة لها و التي تقوم بتشكيل طبقة ترتبط بشكل الكتروستاتيكي مع المعدن تمنع وصول المادة الآكلة إليه و تكون لهذه الطبقة سماكة معينة و ذلك حسب فعالية مثبط التآكل .

- **تصنيف مثبطات التآكل :**

1- حسب التركيبة الكيميائية : مثبطات عضوية و مثبطات لا عضوية .

2- حسب قيمة PH الوسط التي تستعمل فيه : مثبطات حمضية – مثبطات قلوية – مثبطات معتدلة .

3- حسب شروط استخدام المثبطات : مثبطات طيارة و مثبطات المحاليل .

4- -حسب آلية التأثير : مثبطات أنودية – مثبطات كاتودية – مثبطات مختلطة.

- **المثبطات الأنودية :**

تسبب عرقلة في التفاعلات الأنودية و تنتمي لهذه المجموعة المؤكسدات اللاعضوية (الكرومات و النتريتات) و كذلك المركبات التي تشكل على سطح المعدن راسب صعب الانحلال أمثال (NaOH , NaCO3 , Na3PO4) .

- **المثبطات الكاتودية :**

تؤثر على سرعة التفاعلات الكاتودية و تنتمي لهذه المجموعة المواد المرجعة التي تتحد مع الأوكسجين و تخفض محتواه في المحلول مثل سولفيت الصوديوم و الهيدرازين و المواد الواقية لسطح الكاتود نتيجة لتشكيلها طبقة رقيقة من مركبات صعبة الانحلال مثل (Ca(HCO3)2 , ZnSO4) .

- **المثبطات المختلطة :**

تبطئ التفاعلات الأنودية و الكاتودية المتسببة في عملية التآكل و على قدم المساواة و إلى هذا النوع من المثبطات تنتمي البولي فوسفات و السيليكات .

3-1-7- الحماية المهبطية :

تعتمد على شحن المنشآت المعدنية أو الملامسة للأوساط التشردية بشحنة كهربائية سالبة بحيث يحصل عليها استقطاب مهبطي إلى درجة كمون معينة و لهذه الغاية يستعمل تيار كهربائي مستمر بحيث يوصل المأخذ السالب بالجسم المراد حمايته و الموجب بمصاعد من الحديد أو الفحم تركب في نفس الوسط التشردي المحيط بالجسم المعدني .

أما المبادئ الأساسية للحماية المهبطية :

1- في أي نوع من خلايا التحليل الكهربائي و مهما كان سبب جريان التيار الكهربائي يحدث دوماً تآكل في المصعد أما المهبط فلا يحدث له أي تآكل .

2- يتصرف السطح الداخلي و كأنه مهبط أما النقاط التي تغادر منها التيارات فتقوم بدور المصعد و يحدث عندها التآكل .
3- عملية تآكل المعدن هي تلك المرحلة التي تتحول فيها ذرات هذا المعدن إلى شوارد موجبة و في حال وصل سطح معدن إلى قطبية سالبة مناسبة (تؤمن عدد كاف من الشحنات السالبة) عندها تخضع كل شاردة حديد موجبة إلى عملية تعادل كهربائي و بالتالي لا يصبح هناك أي شحنات موجبة تساعد على تأين المعدن.

3-2- إجهاد مواسير التغليف الإنتاجية بتأثير الضغط والحرارة:

حيث نتيجة الضغط والحرارة العالية تظهر في المعادن إجهادات شد أو انضغاط ، ويمكن حساب هذه الإجهادات من خلال نظريات مقاومة المواد بالعلاقة :

$$\sigma_t = aE(t_2 - t_1) \qquad (3\text{-}1)$$

حيث أن :

a:معامل التمدد الحراري للمعدن .

E: معامل مرونة المعدن .

t1:درجة الحرارة الأولية t2: درجة الحرارة النهائية

فإذا كانت نتيجة الحساب المعادلة (3.1) موجبة فهذا يعني أن الجملة تخضع لإجهاد الشد ، وإذا كانت سالبة تخضع لإجهاد الانضغاط، حيث تتناسب قيمة الإجهادات طردا مع الفرق في درجة الحرارة نظرا لكون قيم a وE ثابتة لمعدن مواسيرالتغليف من النوع الواحد.

ومن النتائج التي تم التوصل إليها لدراسة تأثير الضغط الداخلي على مواسير التغليف من خلال مجموعة من الأبحاث التجريبية والنظرية :

1- تتعرض مواسير التغليف لإجهادات محورية ومماسية تحت تأثير الضغط الداخلي.وعند تثبيت المواسير على السطح بهدف الحد من الإجهادات المحورية تظهر إجهادات إضافية.
2- بسبب ازدياد الضغط الداخلي ضمن المواسير التغليف يظهر جهد ناتج عن التمدد وذلك عند التثبيت المحكم لنهايات المواسير.

نتيجة لذلك تتعرض مواسير التغليف للتمدد بالاتجاه المحوري بتأثير الحرارة والضغط وللحد من هذا التمدد عن طريق تثبيت النهايات يؤدي إلى ظهور إجهادات انضغاط وبالتالي تشوه نقاط الوصل بين المواسير(شرارات أم لحام).

ومن أجل تلافي هذه المشكلة ،يتم احتساب حمولة إضافية زائدة عن وزن الجزء غير المسمنت من المواسير ،حيث يحسب وزن هذا الجزء بغض النظر عن انه مغمور في السائل.

حيث يتم احتساب الإجهادات الإضافية في مواسير التغليف الإنتاجية كما يلي :

$$\sigma = \sigma p + \sigma t \qquad (3\text{-}2)$$

حيث أن :

σ_p- الإجهاد الإضافي الناتج عن تأثير الضغط kg/cm^2 .

σt - الإجهاد الإضافي الناجم عن تأثير درجة الحرارة .

2 - تحسب قيمة σ_p بالعلاقة :

$$\sigma_P = \frac{u}{2\delta}\left[P_{C1}.d + \frac{(\rho d - \rho_1 D)L_1}{20}\right] \qquad (3\text{-}3)$$

حيث أن :

u- معامل بواسون. δ- السماكة الوسطية لجدار المواسير غير المسمنتة cm

P_{cl}- قيمة الضغط الأعظمي في مواسير التغليف (عند الفوهة) خلال فترة استثمار البئر kgf/cm^2 .

d- القطر الداخلي الوسطي لمواسير التغليف cm .

D- القطر الخارجي لمواسير التغليف .

ρ- كثافة الغاز عند الضغط P_{CL} gr/cm^3 .

ρ1 – كثافة السائل الموجود خلف الموسير gr/cm^3 .

L_1 – طول الجزء غير المسمنت من مواسير التغلف cm.

3- تحسب قيمة σ_1 بالعلاقة :

$$\sigma_1 = -\alpha E \Delta t \qquad (3\text{-}4)$$

حيث أن :

$$\alpha=13x10^{-6}, C^{-1}, E= 2.1x10^{-6}\ kg/cm^2$$

Δt- القيمة الوسطية لتغير درجة حرارة المواسير .

4 - من اجل الحسابات العملية يمكن وبدقة كافية حساب قيمة Δt بالعلاقة :

$$\Delta t = \frac{(t_2 - t_1) + (t_3 + t_3)}{2} \qquad (3\text{-}5)$$

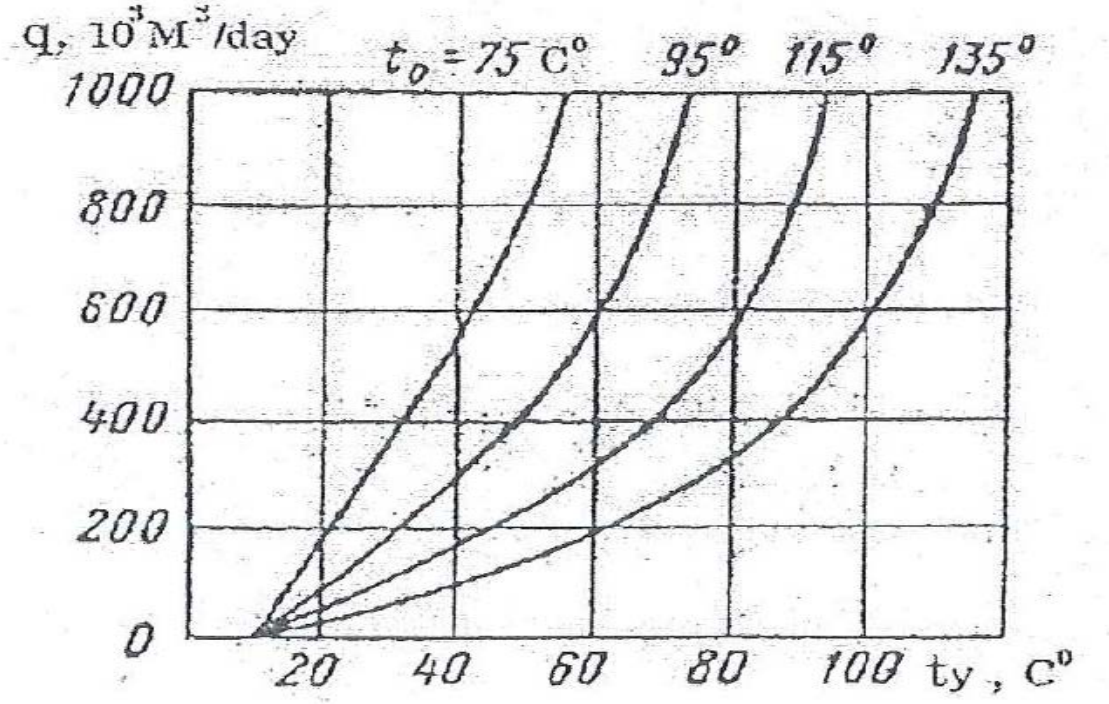
حيث أن :

t_1 - القيمة الوسطية لدرجة حرارة التربة المحيطة بفوهة البئر . c̊

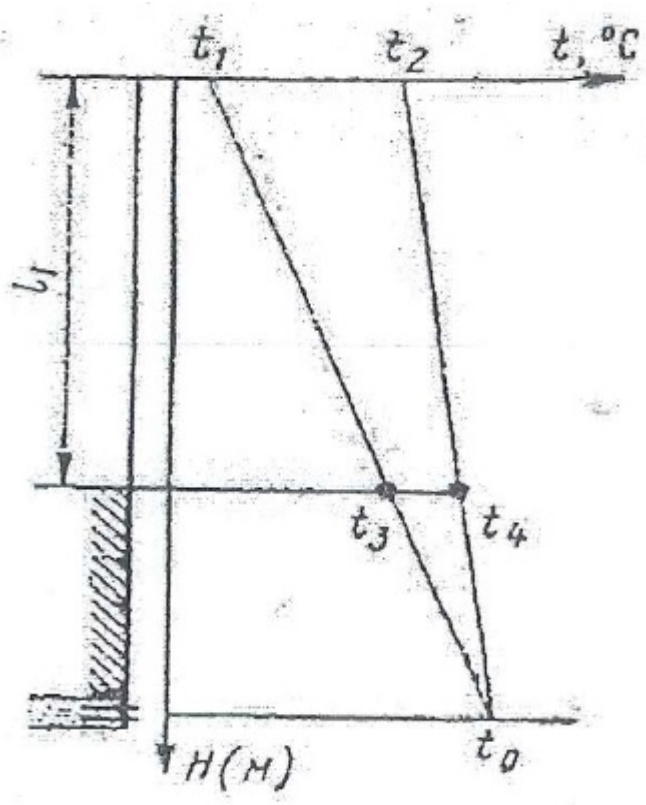
t_2 - حرارة الغاز عند فوهة البئر خلال عملية الاستثمار c˚ . وتعين بالقياس المباشر أو من خلال (4-1)

t_3, t_4 - درجة حرارة الصخور والغاز في المجال أسفل الخاتم الأسمنتي c˚

ويمكن تحديد قيم كل من t_3 t_4 عن طريق رسم منحنى التدرج الحراري في البئر t_3 t_4 تعتبر درجة حرارة الغاز وصخور الطبقة المنتجة ومساوية للتدرج الحراري الجيولوجي t_0.



الشكل (3-1) مخطط لتحديد درجة حرارة الغاز عند فوهة البئر



الشكل (3-2) يوضح التوزع الحراري في البئر

L_1 – الجزء غير المسمنت من مواسير التغليف

5- بعد حساب المجموع (бp + бt) يمكن إيجاد الشد الإضافي في المواسير :

$$P_d = F\,(\sigma_P + \sigma_t) \qquad (3\text{-}6)$$

حيث ان :

F- مساحة المقطع المعدني للمواسير عند مستوي الخاتم الاسمنتي cm^2 .

وبذلك يكون الشد الكلي المؤثر في المواسير المثبتة عند فوهة البئر :

$$P=P_{k0}+P_d \qquad (3\text{-}7)$$

p_{k0} – وزن المواسير غير المسمنتة في الهواء kg .

3-3- السدادات الرملية :

تحمل الموائع التي تجري في الطبقة باتجاه البئر كمية من الحبيبات الرملية وخاصة اذا كانت الطبقة مؤلفة من رمال غير متماسكة و يزداد حمل هذه الحبيبات عندما تعطي البئر مياه إضافة إلى النفط .

وعندما ترتفع سرعة جريان الموائع وتصبح أكبر من السرعة الحرجة اللازمة لتحريك الرمال فانه يتشكل ما يعرف بالسدادة الرملية ،والتي تحدث في حالتين:

1- عند دخول المائع في البئر ومقطع الجريان يصبح أكبر من مقطع الجريان في الطبقة وبالتالي فان سرعة تيار المائع تصبح أقل من السرعة اللازمة لحمل الحبيبات الرملية ،فينفصل الرمل ويتوضع في قاع البئر والتي تغلق بعض أو كامل المجال المثقب أو يمكن أن ترتفع خلال الفراغ الحلقي مؤدية إلى استعصاء المواسير .
2- تتشكل السدادة الرملية حتى في الحالات التي يتمكن فيها السائل الصاعد من حمل الحبيبات الرملية معه ولكن عند إيقاف البئر لإجراء بعض العمليات فان الرمال تتساقط وتشكل سدادة إما على قعر البئر أو داخل مواسير الإنتاج .

3-3-1- طرق تلافي تشكل السدادة الرملية :

إن المسائل المتخذة لتلافي هذه المشكلة تتمثل بتحديد نظام عمل الآبار بحيث لا تحمل الموائع الطبقية الرمال و كذلك وضع حواجز أمام الرمال واستعمال الأجهزة القادرة على تأمين رفعه إلى السطح عند دخوله إلى البئر، ولدينا ثلاث طرق لتنظيم معدل الإنتاج :

1- إنقاص سرعة الإنتاج وتعتبر هذه العملية غير اقتصادية اذا كانت البئر قادرة على إعطاء معدل أكبر .
2- الطرق الكيميائية و الميكانيكية :الطرق الكيميائية تعتمد على تثبيت الحبيبات الرملية مع بعضها أما الطرق الميكانيكية فتعتمد على وضع مصافي الرمل مقابل الطبقة المنتجة (مصافي اسطوانية الشكل مجهزة بثقوب أو شقوق).

أ-الطرق المستخدمة في الآبار غير المغلقة :

- مصافي الرمل :للتحكم في الرمال الطبقية للحد من انسداد ثقوب المصفاة التي تنزل مع مواسير الإنتاج ،وتعطي هذه الطريقة نتيجة جيدة في الحالة التي تكون فيها حجم الحبيبات الرملية كبير نسبيا ومتجانسة ولكن قد تؤدي إلى تقليل الإنتاجية من خلال انسداد ثقوب المصفاة .
- المصائد الحصوية :يتم في هذه الحالة حقن رمال أو حصى في الطبقة بحيث توضع على اتصال مباشر مع الرمال الطبقية ويتم المحافظة عليها من خلال المصافي ،ويتم اختيار هذه الحصيات بحيث تكون نظيفة كروية ومتجانسة مع حبيبات التشكيلة الرملية وتلعب هذه الحصى دور المصفاة الطبقية وتسمح

هذه الطريقة باستخدام مصافي ذات شقوق كبيرة نسبيا مما يسمح للموائع بالعبور أكثر .

ب- الطرق المستخدمة في الآبار المغلقة :

- مصافي الرمل :تغلق الرمال المحجوزة من قبل المصفاة شيئا فشيئا المسافة بين المصفاة ومواسير التغليف ،ثم تملىء وتغلق الثقوب الموجودة في مواسير التغليف وبالتالي عند إنتاج السوائل (ماء – نفط) فإن انخفاض الإنتاجية يكون كبيرا وبالتالي تكون هذه الطريقة غير ملائمة ،وهذه الطريقة تناسب الآبار الغازية وكذلك الطبقات النفطية المثقبة على مسافات كبيرة (طويلة).
- المصائد الحصوية :عند استخدام المصائد الحصوية فإن هناك احتمالا لسد الثقوب الموجودة في مواسير التغليف ، لذلك ينصح باستخدام نظام التثقيب المكثف وكذلك تنظيف الثقوب قبل إجراء هذه العملية .

وفي حال استخدام مصافي فقط (بدون مصائد حصوية) يتم اختيار مصفاة بقطر قريب جدا من قطر البئر وطول المصفاة أكبر من طول المجال المثقب من مواسير التغليف بـ (1-2م) ومن الجهتين من الأعلى والأسفل.

2-3-3- طرق تنظيف الآبار من السدادة الرملية :

يتم تنظيف السدادة الرملية من الرمل إما بالشفط أو الغسل لأسباب عديدة أهمها السرعة في الإنجاز ،وحماية معدات البئر من التآكل ،ويستعمل الشفط في الحالات التالية :

أ- وجود تهريب في مواسير التغليف .
ب- دخول كبير للسائل في الطبقة أثناء الدوران .
ت- إذا ثبت أن الغسيل يستغرق وقتا أكثر .

أما عند استعمال طريقة الغسل فيمكن أن تتم بإحدى الطرق التالية :

1- **الغسل المباشر** :يحقن السائل تحت ضغط خلال مواسير الإنتاج ويصعد الرمل خلال الفراغ الحلقي وأثناء الغسل تضاف ماسورة إنتاج كلما رفع الرمل من البئر بطول يساوي طول ماسورة إنتاج وفي هذه الحالة يجب أن يوقف الضخ ولكن السائل الموجود في الفراغ الحلقي يحوي على رمل والذي يتوضع بدوره مرة ثانية أثناء التوقف ولتلافي ذلك وقبل إضافة ماسورة جديدة نستمر بالضخ حتى يخرج السائل نظيفا من الفراغ الحلقي .

من محاسن هذه الطريقة :يمكن وضع فالات عند الطرف السفلي لمواسير الإنتاج والتي تؤدي لزيادة سرعة تيار السائل وبالتالي زيادة قدرته على التنظيف .

ومن مساوئ هذه الطريقة :

- إمكانية ترسب الرمال في الفراغ الحلقي نتيجة المقطع الكبير وللحصول على السرعة المناسبة لصعود هذا الخليط يجب استعمال مضخات باستطاعة كبيرة .
- تعرض مواسير التغليف للتآكل نتيجة الاحتكاك مع الرمل خاصة اذا كانت عملية الغسل متكررة .
- ضرورة الاستمرار بالحقن دون تقدم قبل إضافة ماسورة جديدة وهذا يزيد من زمن العملية وكلفتها.

2- **الغسل غير المباشر** :ويتم بضخ سائل الغسل في الفراغ الحلقي ويصعد السائل مع الرمل من خلال مواسير الإنتاج وتكون سرعة السائل كبيرة بحيث لا يوجد خطر لترسب الرمال ثانية .

3- **الغسل المختلط**:وهو عبارة عن غسل مباشر حتى التقدم بطول يساوي طول ماسورة إنتاج ويعكس الدوران لرفع الرمل بسرعة أكبر إلى السطح .

4- **تنظيف السدادة المتماسكة** :اذا تعذر تنظيف السدادة الرملية من خلال الغسل عند ذلك تنزل مواسير الإنتاج مع طاحن ،ويوجد دوران للسائل مع تدوير المواسير وفي حالة عدم التمكن من رفع السدادة بهذه الطريقة تنزل مجموعة مواسير حفر مع رأس حفر عادي ويتم تنظيف السدادة ورفعها إلى السطح .

3-3-3- أنواع موائع غسل السدادة الرملية :

يعتبر الاختيار الصحيح لمائع التنظيف من أهم الأمور عند تصميم برنامج غسل البئر حيث يقوم مائع الغسل بإزاحة مكبسية للرمال المتواجدة في البئر وإخراجها منه ،وتصنف هذه الموائع إلى موائع غير قابلة للانضغاط وموائع قابلة للانضغاط :

1- **الموائع غير القابلة للانضغاط** :تعتبر الموائع النيوترونية (ماء – نفط خفيف)موائع أقل لزوجة من باقي الموائع المستخدمة في عمليات الإصلاح ويمكن بسهولة أن يصبح جريانها مضطربا وأن تولد قدرة مزج عالية بينه وبين الرمال ،أما الموائع غير النيوتونية (سوائل الحفر ،الموائع الهلامية)فهي تلك قوة تجاذب كبيرة بين جزيئاتها ويتم اختيارها بسبب قدرتها العالية على حمل الرمال والسيطرة على الضغط الطبقي ،اذا كانت ضغوط الدوران للمائع تحقق سرعة في الفراغ الحلقي تتجاوز سرعة الترسيب الحدية لجزيئات الرمل عند ذلك يمكن استخدام الموائع النيوتونية والتي تعتبر ملائمة عند استخراج الرمل من مواسير الإنتاج ولكن عند استخراج الرمل من مواسير التغليف أو الفراغ الحلقي فعند ذلك تكون السرعة قليلة وبالتالي لابد من استخدام الموائع النيوتونية (ذات الزوجة العالية)مثل النفط الهلامي (نفط مضاف إليه جيل).

2- **الموائع القابلة للانضغاط** :تستخدم في الطبقات ذات الضغوط القليلة أو في حال كون السرعة في الفراغ الحلقي غير كافية ،وبسبب تغير حجوم هذه الموائع تبعا للضغط والحرارة فإن تصميمها يكون معقدا ومعدل خروجها من الفراغ الحلقي يكون مختلفا

عن معدل حقنها في داخل المواسير ، ويتم حقن هذه الموائع في المواسير تحت ضغط عال للتغلب الاحتكاك الناتج عن تمدد الغاز المتواجد في المائع ومن أهم الموائع القابلة للانضغاط والمستخدمة في عمليات الغسل (النتروجين الجاف و المواد الرغوية).

3-4- هيدرات الغاز:

وهي أشبه بالثلج حيث تتكون عندما يشكل الماء اتحادات صلبة مع الغازات الطبيعية عند ضغط ودرجة حرارة محددين ، وكثافتها تتعلق بتركيبها ، هذه الهيدرات هي اتحادات فيزيائية – كيمائية تتصف بإحلال جزيئات مادة في أخرى ، وبشكل خاص إحلال الهيدروكربونات في الماء عند أو تحت درجة الحرارة المسماة (درجة حرارة الهيدرات)

- الشروط الأولية المحفزة لتشكل الهيدرات هي:

- الغاز عند أو تحت نقطة الندى للماء عندما يوجد بشكل حر.
- درجة حرارة منخفضة .
- ضغوط مرتفعة .

- الشروط المساعدة لتشكل الهيدرات هي:

- السرعات العالية والارتجاج(الاضطراب).
- تأرجح الضغط.
- بداية هيدرات كريستالية صغيرة (نواة).
- موضع فيزيائي لتشكل الهيدرات (فتحات،منعطفات أنابيب،منظم ضغط).
- تواجد الغازات (H_2S) و(CO_2).

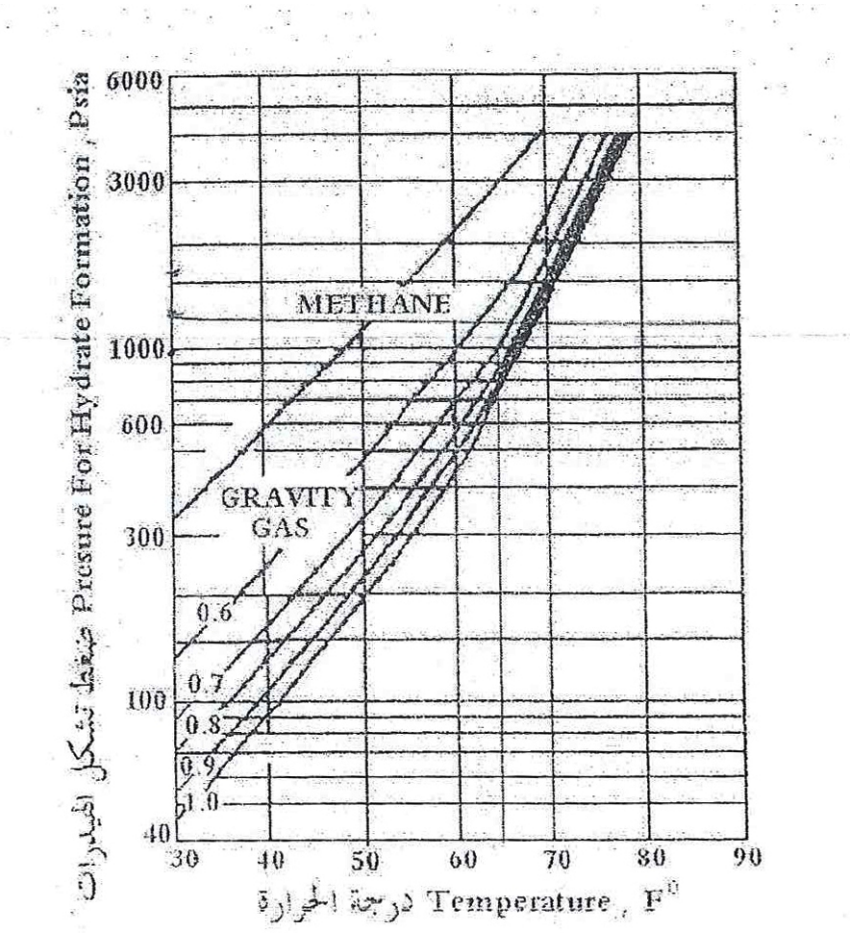
3-4-1- تشكل الهيدرات في الآبار الغازية :

تشكل الهيدرات مرتبط بشكل رئيسي بدرجة حرارة الطبقة و درجة حرارة الجو المحيط وكذلك نظام استثمار الآبار، حيث سوف تتغير درجة حرارة الغاز على طول البئر أثناء جريان الغاز من قاع البئر حتى السطح،وبالتالي إذا انخفضت درجة الحرارة إلى مادون درجة حرارة تشكل الهيدرات ،مؤدية بالنتيجة إلى تشكلها وبالتالي تكون سبب في تضيق مقطع الجريان داخل البئر.

يمكن أن تتشكل الهيدرات الهيدروكربونية في الوسط المسامي للطبقة إما في حرارة الغاز حتى درجة تشكل الهيدرات ،أو مباشرة في الطبقة قبل إدخال المكمن في الاستثمار عندما تكون درجة حرارة المكمن أقل من درجة حرارة التوازن لتشكلها.

يمكن أن تتشكل الهيدرات عند درجات حرارة مرتفعة ، ولكن توجد درجة حرارة حرجة لا تتشكل الهيدرات في أعلى منها، على سبيل المثال درجة الحرارة الحرجة للميتان (22 ċ) أو (71 F̊) .

ومن خلال العلاقة بين الضغط والكثافة النسبية للغاز يمكن تحديد درجة حرارة تشكل الهيدرات من الشكل (3-3) .



الشكل (3-3) يبين درجة الحرارة الحرجة لتشكل الهيدرات

في حال الانخفاض المفاجئ لدرجة الحرارة تتشكل الهيدرات عند شروط الضغط والحرارة إلى يسار خط الهيدرات كما هو موضح على الشكل (3-3).

تطبق هذه المنحنيات فقط للغازات الطبيعية الحلوة أي أنها لا تعطي قيم دقيقة لتشكل الهيدرات عند وجود الغازات الحامضية .

كما يمكن تصنيف الغاز الطبيعي إلى حلو أو مر وذلك تبعا لنسبة غاز (H_2S) أو (CO_2) فيه .لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار نسبة وجود كل من (H_2S) و الآزوت وغاز(CO_2) في الغازات ، لأن وجودها يغير من شروط تشكل الهيدرات.إذ يرفع وجود كل من غاز (H_2S) و (CO_2) درجة حرارة التشكل بشكل كبير مما يزيد من إمكانية تشكل الهيدرات ، أما الآزوت فتأثيره معاكس ، إذ يخفض وجوده من درجة حرارة التشكل . كما يجب الإشارة إلى أن تشكل الهيدرات تفاعل ناشر للحرارة .

تتشكل الهيدرات أيضا من مركبات الغازات الطبيعية و صيغتها كالآتي :

$CH_4.6H_2O$ $C_2H_6.8H_2O$ $C_3H_8.17H_2O$

$I\text{-}C_4H_{10}.17H_2O$ $H_2S.6H_2O$ $N_2.6H_2O$

$CO_2.6H_2O$

يوجد في الطبيعة ما يسمى بمكامن الهيدرات الغازية ،حقل (ميسلياخسكي) في روسيا ، وهناك اعتقاد بأن الاحتياطات الكبيرة للغاز الطبيعي يرافقها مكامن للهيدرات تتوضع في الصخور المتجمدة الأزلية ، وفي قيعان المحيطات حيث تتراوح درجة الحرارة فيها من (2-3 ℃) .

3-4-2- مكافحة تشكل الهيدرات :

هناك مجموعة من الطرق المختلفة التي تستخدم لمكافحة وتلافي تشكل الهيدرات منها:

1- يمكن استخدام بعض المواد السائلة لمعالجة الهيدرات أو تقليل تأثيرها وهي عبارة عن مثبطات خاصة يتم إدخالها في تيار الغاز كالميتانول.
2- إبعاد بخار الماء من الغازات (تجفيف الغازات).
3- الدعم الحراري لنظام الاستثمار .

مع إمكانية استخدام الطرق المذكورة أعلاه مجتمعة مع بعضها البعض. أيضا هناك بعض الطرق التي يمكن أن تساهم وتحول دون تشكل الهيدرات :

- المحافظة على حرارة الأنبوب من خلال استعمال السلك الكهربائي الذي بدوره يمنع تشكل الهيدرات من خلال الحفاظ على درجة الحرارة فوق درجة تشكل الهيدرات.
- يمكن استخدام تغليف الأنابيب كطريقة أخرى للحيلولة دون انخفاض درجة الحرارة .

3-5- ترسب الأملاح:

تمثل المياه الطبقية محاليل ملحية عالية التركيز ،وتعتبر المصدر الأساسي للأملاح التي يمكن أن تترسب في منظومة الإنتاج ، ومن أهم العناصر الرئيسية التي تدخل في تركيب الأملاح (Mg ,Ca ,Ba, Cl , Na).

حيث تلعب الأملاح المترسبة دورا في خروج معدات وتجهيزات البئر الغازية من العمل ،حيث تؤدي إلى انخفاض الحرارة والضغط وتضييق مقطع مواسير الإنتاج مؤدية بذلك إلى الإخلال بنظام عمل الجملة (طبقة- بئر – محطات المعالجة)ومن أهم الأملاح التي ممكن أن تترسب (CaCO3,NaCl,BaSO4,CaSO4).

أثبتت الدراسات أنه عندما تنتج المياه الطبقية مع الغاز وتكون حاوية على مختلف الأملاح سوف تترسب كربونات الصوديوم والكالسيوم بالقرب من فوهة البئر وخطوط التصريف من شجرة الميلاد بينما تترسب كبريتات الكالسيوم والباريوم في الجزء السفلي للمواسير. حيث تترسب هذه الأملاح عندما يصبح تركيزها في المياه فوق حد الإشباع ،ويحصل ذلك نتيجة التبخر أو اختلاط غير متوافق للمياه مع السوائل مثل الميتانول وانحلال الصخور وتغيرات الضغط الحرارة.كل هذه الأمور ترتبط بالعوامل الجيولوجية للمكمن ونظام الاستثمار وتقنية وتكنولوجيا عمليات الإنتاج والتجميع والتجفيف. حيث يحدث نتيجة عمليات تبخر المياه وانخفاض درجة الحرارة ترسب لملح كلور الصوديوم أما عندما تتغير شروط الضغط والحرارة وانفصال الغازات من المياه سببا لترسب أملاح الكربونات .

1-5-3- مكافحة الترسبات الملحية :

تتم مكافحة الترسبات الملحية ، إما بالوقاية من ترسبها أو بحلها بعد ترسبها وبشكل عام تقسم أساليب الوقاية من الترسبات الملحية إلى :

1- الطرق الفيزيائية :الهدف منها تقليل كمية المياه المنتجة من خلال تنفيذ بعض الإجراءات كعزل المجالات المُماهة أو بالتأثير على المياه بالعوامل الفيزيائية مثل الحقل المغناطيسي ،الحقل الكهربائي ، والأمواج الصوتية بترددات معينة .

2- الطرق الكيميائية :الهدف من هذه الطريقة منع ترسب الأملاح معتمدة على استخدام مواد كيميائية على سبيل المثال تعتبر مركبات الفوسفات العضوية مواد فعالة لمنع ترسب أملاح الكربونات والكبريتات حيث يمكن مزج أغلب هذه المواد مع موانع التآكل ولا يؤثر على خواصها علاوة على ذلك أنها لا تساعد على تشكيل مستحلبات بين المتكثفات الغازية ومحاليل (ميتانول – ماء)ولا تسبب تشكل رغوة .

كما بيّنت الدراسات أن مانع ترسب الأملاح ،يكون فعالا فيما إذا استخدم بمعدل 20g لكل $1m^3$مياه ، حيث يتم حقنه بشكل مشترك مع مانع التآكل والميتانول من خلال أنابيب حقن الميتانول لكي يتم إيصاله إلى قعر البئر .إلا أن طريقة الحقن المشترك قد لا تكون في جميع الآبار لأن الكمية قد تكون غير كافية التي تصل إلى قعر الآبار بحيث تتناسب مع حجم المياه في مثل هذه الحالة أو عند عدم توفر أنابيب حقن الميتانول ومن أجل تلافي ترسب الأملاح على كامل طول البئر فإنه يعمد إلى حقن مانع ترسب الأملاح في المنطقة المجاورة لقعر البئر ،من خلال مزجه مع مجموعة من المواد الكيميائية التي يكون لها الدور في الوصول إلى الهدف،وبيّنت التجارب العملية أن التركيب للمزيج يكون وفق النسب المئوية الكتلية التالية :

مانع ترسب الأملاح inhibitor	2
حمض كلور الماء تركيز % 20	12.5
مقللات التوتر السطحي	0.35
بقايا إماهة أوكسيد الإيتلين(بولي غليكول)	13.0
مياه	72.5

كما يلعب حمض كلور الماء دورا في إبطاء سرعة غسل مانع الترسب من الصخور أما الهدف من إضافة مقلل التوتر السطحي هو الحصول على بنية رغوية مما يعطي المزيد من قوة التصاق الطبقة الرقيقة من المياه على سطح الصخر ومن جهة أخرى يعمل على زيادة التغلغل في الطبقة ومن اجل زيادة لزوجة البنية الرغوية يتم إضافة البولي غليكول وكذلك يقلل من سرعة تفاعل حمض كلور الماء مع الصخور الكربوناتية .

تنظيف قاع البئر من الترسبات الملحية الموجودة ومن الشوائب والسوائل المجتمعة خلال عملية الاستثمار ،وبعد ذلك لابد من القيام بعملية اختبار للبئر الهدف منها تحديد كمية المياه المنتجة مع الغاز بدقة ومن ثم يتم تحضير الكمية المطلوبة من مانع الترسب بالعلاقة مع كمية المياه .

ويمكن تحديد كمية مانع الترسب G(kgr) اللازمة للحقن في المنطقة القاعية بالعلاقة :

$$G=10^{-3}G0.Qw.A.t \qquad (3-8)$$

حيث أن :

G0 - كمية مانع الترسب المقترحة لمعالجة $1m^3$من المياه المنتجة 10^{-3} kgr

Qw.- حجم المياه المنتجة m^3/day.

t- زمن استمرار فعالية مانع الترسب باليوم .

A- معامل عدم انتظام جرف مانع الترسب (A=1.5-2)

تستخدم الكمية الحسابية Gلتحضير محلول مانع الترسب في المياه العذبة أو مع المواد الأخرى المذكورة أعلاه بتركيز (1-5%).

تحسب كمية المحلول اللازمة للحقن في المنطقة القاعية بالعلاقة :

$$Vp=100G/Cu.\rho p \qquad (3-9)$$

حيث أن :

Cu- تركيز مانع ترسب الأملاح في المحلول % .

ρp- كثافة المحلول kgr/m^3.

أما حجم السائل (الماء)أو (ماء +ميتانول)الناقل للمحلول إلى الطبقة فيحدد بالعلاقة :

$$V1=\pi m.HR^2+Vt \qquad (3-10)$$

حيث أن :

m- مسامية المنطقة القاعية %.

H- سماكة الطبقة m.

R- المسافة التي يخترقها مانع الترسب في المنطقة القاعية m.

Vt- حجم المواسير في البئر .

وينصح عمليا من أجل دفع محلول مانع الترسب إلى الطبقة باستخدام الغاز .

حيث يتم بعدها إغلاق للبئر أي بعد عملية الحقن فترة زمنية بحدود (20-24h) ومن ثم توضع في الإنتاج وتكرر عملية حقن مانع الترسب عندما ينخفض محتوى مانع الترسب في المياه المنتجة .

6-3- ترسب الكبريت:

قد يلاحظ ترسب الكبريت أثناء عمليات الإنتاج للغاز الحامضي إذا ما توفر مصدر الكبريت وكانت تغيرات الضغط والحرارة وكذلك لتركيب المائع خصائصاً ملائمة لترسب الكبريت الحر .

الأمور التي تزيد من احتمال أكبر لترسب الكبريت فيما إذا :

- كانت محتويات H2S عالية.
- كانت محتويات المركبات الثقيلة (+C5) قليلة .
- لم تتوفر المركبات العطرية في المائع .
- كانت درجة حرارة وضغط قعر البئر عاليين .
- كانت تغيرات الضغط ودرجة الحرارة من التكوين إلى رأس البئر عالية .

حيث كان يعتقد حتى الفترة الأخيرة بأن الكبريت المترسب على جدران مواسير الإنتاج آت من غاز H2S أي يحدث انفصال الكبريت عن H2S كما في التفاعل:

$$H2S \rightarrow H2+S\downarrow$$

ولكن تبين حديثا أن مصدر الكبريت المترسب آت من المركب اللاعضوي H2Sn ذوالبنية البلورية المختلفة حسب قيمة n وهو يتشكل وفقا للتفاعل التالي:

$$H2Sn \rightarrow H2S\uparrow+(n-1)S\downarrow$$

حيث تتراوح قيمة n بين (2-8) حيث يكون الكبريت الحر مرتبطا مع الغاز H2S في الشروط الطبقية من الضغط والحرارة العاليتين ،ولكن عند صعود الغاز المحمل بـ (H2Sn)إلى الأعلى يبدأ انفصال ذرات الكبريت من الغاز ويترسب على الجدران الداخلية لمواسير الإنتاج .وتبعا للعدد n سيختلف المجال الحراري الذي يترسب عنده الكبريت وذلك حسب بنية الكبريت البلورية ،ولكن لا يحصل أي ترسب للكبريت عند حرارة أعلى من $118^{\circ}C$.

حيث يمكن التحكم بترسب الكبريت إلى حد ما ،وذلك من خلال تحديد تغيرات الضغط والحرارة بواسطة معدل الإنتاج وبالاستعانة بمجموعة منوعة من المذيبات الفيزيائية المتوفرة للحقن في البئر لإزالة الكبريت في حال ترسبه بكميات قليلة أو متوسطة .إن مذيبات التي تعمل بالاندماج الكيميائي للكبريت إلى داخل التركيب الجزيئي للمذيب تتميز بقدرة عالية جدا لنقل الكبريت وتستخدم في الحالات التي يكون فيها ترسيب الكبريت كبيرا .ولابد من التمييز فيما إذا ترسب الكبريت في الطبقة، مواسير الإنتاج ، خطوط التجميع أو مدخل الفواصل ،وبالتسخين يمكن التقليل من كميته و المحافظة على ضغوط عالية أو من خلال حقن المذيبات المناسبة بشكل دوري أو مستمر.قد يكون من الضروري حقن مذيب في الطبقة أو إجراء غسل دوري

للبئر باستخدام (NaOH) ، وذلك في حالة التعامل مع غاز خفيف يحتوي على نسبة عالية من (H2S).

3-7- تجمع السوائل في الآبار الغازية :

استناداً إلى أسس حركة المزيج ثنائي الطور(غاز-سائل) على أساسها يتم دراسة انفصال السوائل وتجمعها في قاع البئر الغازية ،حيث تعتبر سرعة تيار المزيج هي العامل الأساسي الذي يجعل الطورين يتحركان باتجاه واحد في الأنابيب العمودية فإذا كانت السرعة غير كافية لحمل السوائل مع تيار الغاز إلى السطح سوف تتجمع السوائل في البئر وتشكل ما يسمى بسدادة السائل.

تسبب السوائل المجتمعة في قاع البئر الغازية ضغطا معاكسا على الطبقة المنتجة من جهة وزيادة في الضياعات الهيدروليكية الناتجة عن حركة الغاز ضمن عمود السائل المتشكل.

وتتم إزاحة السوائل من الآبار الغازية حيث تقسم إلى طرق ميكانيكية وطرق فيزيوكيميائية ،ويمكن تطبيق الطرق بنوعيها بشكل مستمر أو بشكل دوري أثناء عمل البئر الغازية وتشمل الأساليب التكنولوجية التقنية التالية :

- فتح البئر إلى الجو مباشرة .
- تشكيل رغوة في البئر من خلال حقن مولد رغوة .
- استخدام الرفع الغازي المكبسي الحر (Plunger Gas –Lift).
- استخدام مضخات بئرية .

بالاعتماد على تجهيزات البئر الجوفية وعلى كمية السوائل المجتمعة والإمكانيات الفنية المتوفرة يتم اختيار الطريقة المناسبة .

3-7-1- إزاحة السوائل المجتمعة من قاع البئر باستخدام الرغوة:

مبدأ هذه الطريقة يعتمد على حقن المواد النشطة سطحيا في البئر ،بحيث تكون انحلالية هذه المواد عالية في السوائل الطبقية .وفي أثناء مرور تيار الغاز ضمن عمود السائل الناتج سوف تتبعثر فقاعات الغاز مشكلة الرغوة .وبما أن كثافة الرغوة المتشكلة أقل من كثافة السوائل الطبقية فإنها ستجرف بتيار الغاز خلال مواسير الإنتاج إلى السطح وحتى عند معدلات الإنتاج القليلة .

يلعب مولد الرغوة دورا في تخفيض التوترالسطحي للمياه في محلولها مع مقلل التوتر السطحي وفي حال احتواء السائل الموجود في قعر البئر على متكثفات غازية ، فإن مستحلبات صعبة التفكك ، ومما يستدعي ذلك إضافة مواد مانعة للاستحلاب.

يمكن حساب كمية مقلل االتوتر السطحي المطلوبة لإزاحة السوائل من قعر البئر بالعلاقة :

$$\chi = \frac{100CV}{a} \qquad (3\text{-}11)$$

حيث أن :

C- تركيز مقلل التوترالسطحي اللازم لتشكيل الرغوة مع السائل المزاح kgr/m^3

v - حجم السائل الداخل في تشكيل الرغوة m^3.

a- كمية المادة الفعالة في مقلل التوتر السطحي %.

أما كمية المُحل اللازمة لتشكيل المحلول بالتركيز المطلوب ، فتُعطى بالعلاقة :

$$Vp= \frac{x}{\rho p}\left(\frac{a}{n}-1\right).10^{-3} \qquad (3\text{-}12\ )$$

حيث أن :

VP- حجم المُحل Lوكثافته kg/m³.

n- تركيز المحلول الناتج .

فـي الظـروف المناخيـة البـاردة مـن الضـروري اسـتعمال مـانع التجمـد بوجـود المـواد المنشـطة ،ويُحسب حجمه بالعلاقة :

$$Va = VP\frac{\text{Ca. pa}}{100\rho p} \qquad (3\text{-}13)$$

حيث أن :

Va- حجم مانع التجمد L.

Ca- النسبة الوزنية لمانع التجمد %.

ρa- كثافة مانع التجمد kgr/m³.

الخلاصة

بعد التعرف إلى خصائص الغازات الطبيعية وأشكال تواجدها في الطبيعية، والتعرض لأهم المشاكل التي قد تواجهنا خلال عملية إنتاج الغاز الطبيعي وطرق تجنب وتلافي هذه المشاكل نستنتج من خلال هذه الدراسة ما يلي :

- استخدام موانع تآكل للمواسير عند إنتاج الغازات الحامضية التي تحوي H2Sو CO2 بحيث يلامس مانع التآكل كامل السطح الداخلي للمواسير والغاية من ذلك منع تآكل معدن المواسير وخروجها من العمل .
- احتساب حمولة إضافية (تعبر عن استطالة المواسير بتأثير الضغط والحرارة) زائدة عن وزن الجزء غير المسمنت من المواسير حيث يحسب وزن هذا الجزء بغض النظر عن أنه مغمور في السائل وذلك من أجل تجنب ظهور إجهادات انضغاط المواسير والتي تسبب تشوه نقاط الوصل بين المواسير سواء أكان الوصل لحام أو شرار وكذلك لتجنب الإجهادات المحورية المماسية تحت تأثير الضغط الداخلي أيضا .
- القيام بعمليات الغسل المباشر أو الغسل غير المباشر للبئر في حال تشكل السدادات الرملية في قاع البئر والتي تؤثر سلبا على إنتاجية الآبار الغازية، ومن ثم يرفع الفتات إلى السطح عبر الفراغ الحلقي أو مواسير الإنتاج.
- إجراء دراسة دقيقة لاحتمال تشكل الهيدرات في منظومة إنتاج الغاز (طبقة –تجهيزات جوفية وسطحية) واستخدام الوسيلة المناسبة والاقتصادية لمنع تشكلها .
- من أجل تجنب المشاكل التي تسببها ترسب الأملاح المختلفة الموجودة في المياه الطبقية والملح الذي ينتج من انحلال الجبس من الصخور الطبقية والتي تسبب خروج تجهيزات البئر الغازية من العمل ، مؤدية بذلك إلى تضيق مقطع المواسير الإنتاج وانخفاض الضغط والحرارة ، نقوم بمكافحة هذه الترسبات بطرق فيزيائية وذلك من خلال القيام بعدة إجراءات بهدف التقليل من كمية المياه المنتجة كعزل المجالات المماهة ، أو باستخدام طرق كيميائية من خلال حقن مواد كيميائية مثل الفوسفات العضوية التي تعتبر فعالة بمنع ترسب أملاح الكربونات والكبريتات داخل الطبقة .
- يتم إزالة ترسبات الكبريت من منظومة إنتاج الغاز الحامضي بحقن مذيبات مناسبة بشكل دوري أو مستمر ، والمحافظة على ضغوط عالية والتسخين من أجل تقليل ترسبه في مواسير الإنتاج وخطوط التجميع .
- إزاحة السوائل المجتمعة في قعر البئر والتي تسبب ضغطا معاكسا على الطبقة من جهة وزيادة في الضياعات الهيدروليكية الناتجة عن حركة الغاز ضمن عمود السائل المتشكل ن من خلال حقن مولد رغوة يؤدي لتشكيل رغوة في قعر البئر ، أو من خلال استخدام مضخات بئرية أو بفتح البئر إلى الجو مباشرة .

قائمة بالمصطلحات العلمية باللغة الإنكليزية

A	
Acid Gas	الغاز الحامضي
Associated gases	غازات مرافقة
Atmospheric pressure	الضغط الجوي
C	
Coal	الفحم الحجري
Compressibility factor	عامل الإنضغاطية
Compressible fluid	سائل قابل للانضغاط
Condensate	المتكاثفات
Corrosion	تآكل
Critical temperature	درجة الحرارة الحرجة
Critical pressure	الضغط الحرج
Critical velocity	السرعة الحرجة
Crude oil	النفط الخام
D	
Dissolved Gases	غازات منحلة
Density	كثافة
Dry	جاف
F	
Fluid	سائل
Friction factor	معامل الاحتكاك
Friction loss	الضياع بالاحتكاك
G	
Gas free liquid	سائل خالي من الغاز
Gas gravity	الوزن النوعي للغاز
H	
Homogenous	متجانس
I	
Ideal fuel	وقود مثالي
Ideal equilibrium	التوازن المثالي
Ideal gas	غاز مثالي

Inert gas	غاز خامل
Initial pressure	الضغط البدائي
Injection	حقن
Incompressible flow	جريان غير قابل للانضغاط
L	
Liquefied Natural gases (LNG)	الغازات الطبيعية المسال
Liquefied Petroleum gases (LPG)	الغازات النفطية المسالة
Liquid	مائع
Liquid free gas	غاز خالٍ من السائل
M	
Mass	الكتلة
Molecular weight	الوزن الجزيئي
Mixture	مزيج
N	
Natural gas	غاز طبيعي
Natural gas liquids	سوائل الغازات الطبيعية
Natural gasoline	الغازولين الطبيعي
Newtonian fluid	سائل نيوتوني
Non-Newtonian fluid	سائل غير نيوتوني
Non- associated gases	غازات غير مرافقة
Number Reynolds	عدد رينولدز
R	
Relative density	الكثافة النسبية
Reservoir	مكمن
S	
Saturation state	حالة الإشباع
Solubility	الانحلالية
State equation	معادلة الحالة
Steady flow	جريان مستقر
Stress	إجهاد
Surface	سطح

T	
Temperature	درجة الحرارة
Type	نوع
Turbulence	الاضطراب
V	
Viscosity	اللزوجة
W	
Water	الماء
Welding	اللحام
Wet	رطب

المراجع العلمية

المراجع العربية :

- هندسة إنتاج الغاز :أدمون سلوم ،حمود كابر،مديرية الكتب والمطبوعات ، (2008-2009).

- هندسة المخزون:غسان محمد حسن ،مديرية الكتب والمطبوعات، (2008-2009).

- هندسة التآكل:أحمد كاسر إبراهيم ، منشورات جامعة البعث ، (1982- 1983).

المراجع الأجنبية :

- A.Rojey.Natural Gas conditioning and processing ,the Basic principles , Norman ,Okla,1, July Chs
- Schhoeter J.PKobayashi R .1983 Hydrate decomposition condition in the system H2S-methan- propan .
- C.William Natural Gas engineering .Vol .1,2,Huston Texas 2002.
- *Gas Processors Suppliers Association (GPSA).*
- *Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering* Vol2 (William C.Lyons), Houston, Texas 1996.
- *Natural Gas Production Processing Transport* (Alexandru Rojey, Claude Jaffret), Edition Technique-Paris 1997.
- *Gas Purification*(Arther Kohl, Richard Nielsen) *5thed. Houston-Texas 1997.*