الجمهورية العربية السورية
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

دراسة تحليلية لاستثمار حقل أبو رباح الغازي باستخدام طريقة الضغط الزائف

رسالة اعدت لنيل إجازة في هندسة البترول

بإشراف الدكتور المهندس:

أيمن أحمد شقوف

إعداد الطلاب :

علي غياث العلوني ندیم ابراهيم حميد

محمد محمد حسام النجار

المحتويات

الموضوع	الصفحة
• الواحدات و الرموز	٤
• مقدمة	١٠
• الفصـل الأوّل : طرق استثمار المكامن الغازية	١٢
١-١- أنظمة عمل المكامن الغازية	١٣
١-٢- تنظيم استثمار المكامن الغازية	
١-٣- أدائية المكمن الغازي	١٤
١-٣-١- تركيب الغاز الطبيعي	
١-٣-٢- الصفات الفيزيائية للغاز الطبيعي	
١-٣-٢-١- الوزن الجزيئي الظاهري	١٥
١-٣-٢-٢- كثافة الغاز	
١-٣-٢-٣- عامل انضغاط الغاز	١٦
١-٣-٢-٤- انضغاطية الغاز	١٩
١-٣-٢-٥- عامل حجم الغاز	٢٠
١-٣-٢-٦- لزوجة الغاز	
١-٣-٣- الخصائص الفيزيائية للصخور المكمنية	٢١
١-٣-٣-١- مسامية الصخور	
١-٣-٣-٢- انضغاطية الصخور	
١-٣-٣-٣- نفوذية الصخور	٢٢
١-٣-٣-٤- المياه المترابطة	
١-٣-٤- الانضغاطية الكلية	٢٣
١-٣-٥- جريان الغاز المكمني	٢٣
١-٣-٥-١- جريان الحالة المستقرة	٢٣
١-٣-٥-٢- جريان الحالة غير المستقرة	٢٥
١-٣-٥-٣- جريان الحالة المستقرة الزائفة	٢٨

- **الفصـل الثاني :**

طرق اختبار بئر الغاز الطبيعي وتحليلها

٢-١- اختبار بئر الغاز الطبيعي حسب نظرية الحالة المستقرة ٣١

٢-٢-١- اختبار معدلات الجريان المتعاقبة ٣٣

٢-١-٢- اختبار الفترات الزمنية المتساوية ٣٤

٢-١-٣- اختبار الفترات الزمنية المتساوية(الاختبار المعدل) ٣٦

٢-١-٤- زمن الاستقرار ٣٧

٢-٢- اختبار بئر الغاز الطبيعي حسب نظرية الحالة غير المستقرة ٣٩

٢-٢-١- اختبار انخفاض الضغط ٣٩

٢-٢-٢- اختبار استعادة الضغط ٤٠

٢-٣- التحليل باستخدام الضغط الزائف للغاز الحقيقي ٤١

٢-٤- مقارنة بين تحليل اختبار بئر الغاز الطبيعي باستخدام طريقة مربع الضغط واستخدام طريقة الضغط الزائف للغاز الحقيقي ٤٧

٢-٥- ضغوط قاع البئر ٤٨

٢-٥-١- حساب ضغوط قاع البئر باستخدام طريقة متوسط درجة الحرارة ومتوسط العامل (Z) ٤٩

٢-٥-٢- حساب ضغوط قاع البئر باستخدام طريقة *(Cullender And Smith)* ٥١

- **الفصـل الثالث: ٥٥**

الدراسة الجيولوجية لحقل أبو رباح الغازي و نمذجة خصائص الطبقة الخازنة

- **الفصل الرابع : ٦٢**

القسم العملي

المصطلحات العلمية: ٨٠

المراجع العلمية: ٨٦

الرموز والواحدات

الرمز	الواحدة المستخدمة	دلالة الرمز
A	ft^2	مساحة منطقة التصريف
AOF	$Mscfd$	أقصى معدل للجريان المفتوح
B	$\frac{Psia^2/cp}{Mscfd}$	معامل جريان دارسي في معادلات الجريان (تحذف cp من الواحدة عند استخدام $\Delta(p)^2$ بدلا من $m(p)$)
B_g	$\frac{res.cf}{s.cf}$	عامل حجم الغاز
B_{gi}	$\frac{res.cf}{s.cf}$	عامل حجم الغاز عند الضغط الأولي للمكمن
B_{ga}	$\frac{res.cf}{s.cf}$	عامل حجم الغاز عند الضغط النهائي للمكمن
B_w	$\frac{res.cf}{s.cf}$	عامل حجم الماء
C	$\frac{Mscfd}{Psia^{2n}/cp}$	معامل التصريف في منحني التصريف المستقر لبئر الغاز (تحذف cp من الواحدة عند استخدام $\Delta(p)^2$ بدلا من $m(p)$)
C_A	$Dimensionless$	عامل يتعلق بهندسية المكمن (شكل المكمن)
C_i	$\frac{Mscfd}{Psia^{2n}/cp}$	معامل تصريف البئر (i) (تحذف cp من الواحدة عند استخدام $\Delta(p)^2$ بدلا من $m(p)$)
C_g	$Psia^{-1}$	انضغاطية الغاز عند ثبات درجة الحرارة
C_o	$Psia^{-1}$	انضغاطية النفط
C_{pr}	$Dimensionless$	الانضغاطية شبه المصغرة (المصغرة الزائفة) لخليط الغاز
C_r	$Dimensionless$	الانضغاطية المصغرة للغاز
C_R	$Psia^{-1}$	انضغاطية الجزء الصخري من المكمن
C_{res}	$\frac{Mscfd}{Psia^{2n}/cp}$	معامل تصريف المكمن (تحذف cp من الواحدة عند استخدام $\Delta(p)^2$ بدلا من $m(p)$)
C_t	$Psia^{-1}$	الانضغاطية الكلية
C_{ti}	$Psia^{-1}$	الانضغاطية الكلية عند الضغط الأولي للمكمن
C_w	$Psia^{-1}$	انضغاطية الماء
D	Ft	القطر الداخلي لمواسير الإنتاج
D	$(Mscfd)^{-1}$	معامل الاضطراب

معامل تصحيح	^{o}F	E
الخشونة المطلقة	Ft	E
الخشونة النسبية	$Dimensionless$	e/d
عامل كفاءة خط نقل الغاز	$\%$	E
عامل مردود الغاز	$\%$	E_g
معامل الجريان اللادارسي في معادلات الجريان (تحذف cp من الواحدة عند استخدام $\Delta(p)^2$ بدلا من $m(p)$)	$\frac{Psia^2/cp}{(Mscfd)^2}$	F
عامل الاحتكاك	$Dimensionless$	f
كمية الغاز الابتدائي المتواجد في المكمن	$MMscf$	G
الكمية التراكمية للغاز المنتج	$MMscf$	G_p
كمية الغاز القابلة للاستثمار	$MMscf$	G_{pd}
السماكة الفعالة للطبقة المنتجة	Ft	H
عمق البئر	Ft	H
النفوذية المطلقة	Md	K
النفوذية الفعالة للغاز	Md	k_g
الطول	Ft	L
ميل الجزء المستقيم لمنحني استعادة الضغط (تحذف cp من الواحدة عند استخدام (ΔP^2)بدلا من $m(p)$)	$\frac{Psia^2/cp}{\log cycle}$	m
الوزن الجزيئي الظاهري لخليط الغاز	$\frac{lbm}{lb-mole}$	M_a
الوزن الجزيئي الظاهري للهواء	$\frac{lbm}{lb-mole}$	M_{air}
كتلة الغاز	Lbm	m_g
الوزن الجزيئي للغاز	$\frac{lbm}{lb-mole}$	M_g
الوزن الجزيئي للمركب (i) في خليط الغاز	$\frac{lbm}{lb-mole}$	M_{gi}
الضغط الزائف للغاز الحقيقي	$Psia^2/cp$	$m(p)$
الضغط الزائف للغاز الحقيقي المقابل للضغط $(\overline{P}_R)$	$Psia^2/cp$	$m(\overline{P}_R)$
الضغط الزائف للغاز الحقيقي المقابل للضغط (P_{wf})	$Psia^2/cp$	$m(P_{wf})$
الضغط الزائف للغاز الحقيقي المقابل للضغط (P_{ws})	$Psia^2/cp$	$m(P_{ws})$
الضغط الزائف اللابعدي	$Dimensionless$	$m(p)_D$

المؤشر الأسي لمعادلة التصريف المستقر لبئر الغاز *(n=1/Slope)*	*Dimensionless*	N
إجمالي عدد المولات في المعادلة العامة للغازت	*Lb-mole*	N
عدد مولات المركب *(i)* في خليط الغاز	*Lb-mole*	n_i
عدد مرات القياس، عدد الآبار	*Dimensionless*	N
كمية ملح كلور الصوديوم المنحلة في المياه الطبقية	*PPM*	$NACL$
عدد رينولدز	*Dimensionless*	N_{Re}
الضغط المطلق	*Pisa*	P
الضغط عند النقطتين (١ و ٢) عل الترتيب	*Pisa*	P_2, P_1
الضغط النهائي (ضغط الهجر)	*Pisa*	P_a
الضغط الحرج للغاز	*Pisa*	P_C
الضغط الحرج للمركبة *(i)* في خليط الغاز	*Psia*	P_{Ci}
الضغط اللابعدي	*Dimensionless*	P_D
ضغط طرد الضاغط	*Psia*	P_{dis}
الضغط عند الحدود الخارجية للمكمن	*Pisa*	P_e
الضغط الابتدائي (الأولي) للمكمن	*Pisa*	P_i
الضغط شبه الحرج (الحرج الزائف) لخليط الغاز	*Pisa*	P_{pc}
الضغط شبه الحرج (الحرج الزائف) المصحح لخليط الغاز	*Pisa*	P_{pc}^*
الضغط شبه المصغر (المصغر الزائف) لخليط الغاز	*Dimensionles*	P_{pr}
الضغط الزائف المعدل لخليط الغاز	*Psia*	P_{pn}
فرق الضغط اللابعدي	*Dimensionless*	ΔP_D
ضغط إسناد اختياري، يختار عادة مساو للقيمة الأدنى لمجال الضغط موضوع الدراسة خلال فترة الاختبار، والضغط الأساسي الأكثر سهولة هو: $P^O = 0$	*Pisa*	P^O
الضغط بعد ساعة من الإغلاق $(\Delta t = 1hr)$ على منحني هورنر	*Pisa*	P_{1hr}
الضغط المصغر للغاز	*Dimensionless*	P_r
متوسط ضغط المكمن	*Pisa*	$\overline{P}_R$
الضغط عند الشروط القياسية	*Pisa*	P_{sc}
ضغط الفاصل	*Pisa*	P_{sep}
الضغط عند الزمن *(t)*	*Pisa*	P_t
قيمة الضغط اللابعدي عند الزمن اللابعدي (t_D)	*Dimensionless*	P_{tD}

الضغط الجرياني لمواسير الإنتاج	*Pisa*	P_{tf}
الضغط الساكن لمواسير الإنتاج	*Pisa*	P_{ts}
ضغط قاع البئر	*Pisa*	P_{w}
ضغط قاع البئر الجرياني	*Pisa*	P_{wf}
ضغط قاع البئر الساكن	*Pisa*	P_{ws}
فرق مربع الضغط	$psia^2$	$\Delta(p)^2$
معدل الجريان أو معدل الإنتاج	*Mscfd*	Q
معدل الإنتاج الوسطي للمكمن	*Mscfd*	q_{avg}
معدل الإنتاج اللابعدي	*Dimensionless*	q_{D}
معدل إنتاج المكمن	*Mscfd*	q_{res}
معدل الإنتاج أو الجريان عند الشروط القياسية	*Mscfd*	q_{sc}
معدل إنتاج الماء	*Mscfd*	q_{w}
الإنتاج التراكمي اللابعدي	*Dimensionless*	Q_{tD}
نصف القطر الشعاعي	*Ft*	R
نصف قطر تصريف البئر	*Ft*	r_{d}
نصف القطر الشعاعي اللابعدي	*Dimensionless*	r_{D}
نصف قطر الحدود الخارجية للمكمن	*Ft*	r_{e}
نصف قطر الحدود الخارجية للمكمن اللابعدي	*Dimensionless*	r_{De}
نصف قطر البئر اللابعدي	*Dimensionless*	r_{Dw}
نصف قطر البئر	*Ft*	r_{w}
الثابت العام للغازات	$\frac{Psia.scf}{lb-mole.^{\circ}R}$	R
معامل الظاهرة السطحية	*Dimensionless*	S
معامل الظاهرة السطحية الكلي	*Dimensionless*	S'
درجة التشبع بالغاز	*%*	s_{g}
درجة التشبع الأولية بالغاز	*%*	s_{gi}
درجة التشبع النهائية بالغاز	*%*	s_{ga}
درجة التشبع بالنفط	*%*	s_{o}
درجة التشبع بالماء	*%*	s_{w}
درجة التشبع بالمياه المتبقية	*%*	s_{wc}

T	Hr	الزمن
t_D	$Dimensionless$	الزمن اللابعدي
t_s	Hr	الزمن اللازم لاستقرار البئر
t_{in}	$Dimensionless$	مقلوب درجة الحرارة شبه المصغرة $(t_{in} = 1/T_{pr})$
t_{DA}	$Dimensionless$	الزمن اللابعدي المستند إلى مساحة التصريف (A)
t_{De}	$Dimensionless$	الزمن اللابعدي المستند إلى نصف القطر (r_e)
t_{Dw}	$Dimensionless$	الزمن اللابعدي المستند إلى نصف قطر البئر (r_w)
t_p	Hr	زمن التدفق قبل الإغلاق
t_{pn}	Hr	الزمن الزائف المعدل
t_{pseudo}	Hr	الزمن الزائف
Δt	Hr	زمن الإغلاق
T	^oR	درجة الحرارة المطلقة
T_1	^oR	درجة حرارة الغاز عند خط سحب الضاغط
T_C	^oR	درجة الحرارة الحرجة
T_{Ci}	^oR	درجة الحرارة الحرجة للمركبة (i) في خليط الغاز
T_f	^oR	درجة حرارة الطبقة
T_{pc}	^oR	درجة الحرارة شبه الحرجة (الحرجة الزائفة) لخليط الغاز
T_{pc}^*	^oR	درجة الحرارة شبه الحرجة (الحرجة الزائفة) المصححة لخليط الغاز
T_{pr}	$Dimensionless$	درجة الحرارة شبه المصغرة (المصغرة الزائفة) لخليط الغاز
T_r	$Dimensionless$	درجة الحرارة المصغرة للغاز
T_{sc}	^oR	درجة الحرارة عند الشروط القياسية
T_{tf}	^oR	درجة حرارة مواسير الإنتاج الجريانية
T_{ts}	^oR	درجة حرارة مواسير الإنتاج الساكنة
V	scf	الحجم
V_i	scf	حجم المكمن الغازي
V_{sc}	scf	الحجم بالشروط القياسية
v	ft/hr	سرعة جريان المائع
W	$HP/MMscfd$	استطاعة الضاغط
W_e	scf	كمية المياه الداخلة إلى المكمن
y_i	$Fraction$	الكسر المولي للمركبة (i) في خليط الغاز

y_{co2}	*Fraction*	الكسر المولي لغاز ثاني أكسيد الكربون
y_{N2}	*Fraction*	الكسر المولي لغاز الازوت
y_{H2S}	*Fraction*	الكسر المولي لغاز كبريت الهيدروجين
Z_a	*Dimensionless*	عامل انضغاط الغاز عند الضغط النهائي (P_a)
Z_i	*Dimensionless*	عامل انضغاط الغاز عند الضغط الأولي (P_i)
Z	*Dimensionless*	عامل انضغاط الغاز
Z_{SC}	*Dimensionless*	عامل انضغاط الغاز بالشروط القياسية
α	*Deg*	زاوية
β	ft^{-1}	معامل السرعة
γ_g	*Dimensionless*	الكثافة النسبية للغاز بالنسبة للهواء
μ	*Cp*	لزوجة المائع
μ_g	*Cp*	لزوجة الغاز
μ_{gi}	*Cp*	لزوجة الغاز عند الضغط الأولي للمكمن (P_i)
ρ_{air}	lbm/cf	كثافة الهواء الجاف المحسوبة بالشروط القياسية
ρ_g	lbm/cf	كثافة الغاز
ρ_r	*Dimensionless*	الكثافة المصغرة للغاز
ρ_{sc}	lbm/cf	كثافة الغاز عند الشروط القياسية
ϕ	*%*	المسـامية

مقدمة:

استعمل الغاز الطبيعي (*Natural Gas*) كوقود منذّ أكثر من (150) عاماً بشكل مبدئي في مناطق إنتاجه فقط والإنتاج الفائض منه كان يتم تصريفه إلى الهواء أو إشعاله، غير أن ازدياد الطلب عليه قد تطوّر بشكل ملحوظ حديثاً مما أدى إلى ارتفاع كبير في أسعاره، الأمر الذي شجع على تطوير تقنيات إنتاجه ونقله .[4].

يختلف إنتاج الغاز الطبيعي عن النفط ليس فقط بسبب اختلاف الخصائص الفيزيائية لكل منهما وإنما أيضاً لأسباب اقتصادية، حيث أن الإنتاج من حقل نفطي يمكن أن يخضع لتطوير مثالي ولنمط تطوير يعتمد على ميزاته الخاصة به، بينما مكمن الغاز يرتبط بشكل مباشر بالاستهلاك أو التسويق وبالتالي فان الخصائص الفيزيائية للمكمن لا يمكن أن تحدد بمفردها نمط تطويره، فلحقل غازي معين هناك علاقة مباشرة بين الكمية المنتجة من الغاز ومراحل التسويق أو الاستهلاك.

وبالنتيجة فان نمط التطوير المثالي لحقل الغاز الطبيعي يرتبط دائماً بالصفات النموذجية لهذا الحقل من جهة، وبكمية الاستهلاك أو الكمية المتعاقد عليها والمطلوب إنتاجها من هذا الحقل من جهة أخرى.[8]

إن تطوير الدراسات في مجال تحليل استثمار المكامن الغازية يمكن أن يكون حسب الاتجاهات التالية:

١ – تحديد احتياطي الغاز.

٢– تأثير العوامل الجيولوجية الحقلية والتكنولوجية على سرعة تغلغل المياه في المكمن وعلى عامل المردود النهائي للغاز.

٣– معدل الإنتاج.

٤– شروط استغلال الآبار الغازية.

ومن خلال الدراسات العالمية فقد وجد أن العوامل الجيولوجية الأساسية التي تؤثر على استثمار المكامن الغازية هي: الضغط الطبقي الأولي والخواص الخز نية للطبقة وخصائص الغاز نفسه.

أما العوامل التكنولوجية فهي:

١– توزع الآبار على مساحة الحقل.

٢– درجة اختراق الآبار للطبقة المنتجة.

٣– سرعة استخراج الغاز والتي تؤثر على كامل مراحل الاستثمار.

ومن هنا يجب على المهندس المعني بهذا الأمر أن تكون له القدرة على تحديد الغاز القابل للاستثمار في المكمن والزمن اللازم لإنتاجه وهذا يتطلب:

١– تحاليل خاصة لأداء الآبار.

٢– كيف يتغير أداء البئر عندما يستثمر الغاز من المكمن ويهبط الضغط .

٣- تحديد العلاقة بين معدل جريان الغاز وانخفاض الضغط في كافة أجزاء المنظومة (المكمن وكافة التجهيزات على حد سواء)، الأمر الذي يتطلب معرفة الكثير عن الصفات الفيزيائية الكيميائية للغاز الطبيعي عند ضغوط ودرجات حرارة مختلفة.

وبالنتيجة فان التشغيل الجيد لحقل غازي يتطلب مراقبة مستمرة لأداء الحقل ككل ولكل بئر على حداً من اجل تحديد المشاكل التي يمكن أن تؤدي إلى انخفاض إنتاجية الغاز، وإنّ المتغيرات التي يجب مراقبتها هي: الضغط – معدل الجريان – الإنتاج التراكمي– إنتاج المكثفات الغازية.

يتألف هذا البحث من اربعة فصول وهي الآتي:

- **الفصل الأول:** يتضمن لمحة نظرية عن طرق استثمار المكامن الغازية مع حساب أهم الخصائص الفيزيائية للغاز الطبيعي والصخور الطبقية اللازمة لتحليل اختبارات بئر الغاز الطبيعي وشرح لأنظمة جريان الغاز الطبيعي.
- **الفصل الثاني:** يتضمن لمحة نظرية عن طرق اختبار بئر الغاز الطبيعي وتحليلها وبعض طرق حساب ضغوط قاع البئر.
- **الفصل الثالث:** الدراسة الجيولوجية لحقل أبو رباح الغازي و نمذجة خصائص الطبقة الخازنة
- **الفصل الرابع:** القسم العملي
- وفي نهاية البحث تم إجراء عرض للنتائج ومناقشتها بالإضافة إلى المقترحات.

الفصل الأول

طرق استثمار المكامن الغازية

(Exploitation Ways of Gas Reservoirs)

١-١- أنظمة عمل المكامن الغازية: *(Work Systems of Gas Reservoirs)*

يفهم من نظام عمل المكمن بأنه القوة المحركة داخل الطبقة التي تؤدي إلى جريان الغاز باتجاه الآبار، وتقسم أنظمة عمل مكامن الغاز وفقاً للمصادر الرئيسية للطاقة الطبقية بالنسبة للمكامن الحاملة للغاز إلى ثلاث مجموعات هي:

١- نظام العمل ذو الدفع المائي.

٢- نظام العمل ذو الدفع الغازي – المائي المرن.

٣- نظام العمل ذو الدفع الغازي .

١-٢- تنظيم استثمار المكامن الغازية: *(Organizing Exploitation of Gas Reservoirs)*

يقصد بتنظيم استثمار حقل النفط أو الغاز، التحكم بحركة الموائع في الطبقة إلى آبار الإنتاج بواسطة نظام معين لتحديد توزع عدد معين من الآبار على المساحة المفروضة، ونظام وضع هذه الآبار في الإنتاج والمحافظة على نظام عملها وضبط توازن الطاقة الطبقية .

يسمح استخدام الطرق المستنتجة للتنبؤ بعمليات استثمار المكامن الغازية بتحديد علاقات التغيرات مع الزمن لمؤشرات الاستثمار لحالة معينة محددة وذلك بوضع عدد من المؤشرات التكنولوجية لاستثمار الحقل الغازي مثل معدل استخراج الغاز من المكمن بالعلاقة مع الزمن، زمن استخراج الغاز والنظام التكنولوجي لاستغلال الآبار، هذه المؤشرات يجب أن تكون أقرب ما يمكن إلى المثالية، لهذا فان نظرية وضع المكامن الغازية بالاستثمار يجب أن تطوّر باتجاه البحث عن النماذج المثالية للحل .

تهدف طرق تنظيم الاستثمار إلى تحسين المؤشرات التكنولوجية والاقتصادية لإنتاج الغاز وزيادة عامل مردود الطبقة من الغاز، أما جعل هذا الاستثمار مثالياً فيتم من خلال وضع الطريقة الأفضل لاستثمار المكمن الغازي. وتعتبر الخاصية الرئيسية لاستثمار حقول الغاز الطبيعي، الارتباط الوثيق بين كل عناصر نظام الاستثمار: الطبقة – البئر – خطوط الأنابيب .

يتم وضع مخطط استثمار حقل الغاز الطبيعي على أساس الدراسة الجيولوجية للحقل والحسابات الغازية – الديناميكية والمقارنة تقنياً واقتصادياً مابين الأشكال المختلفة للاستثمار، أما النظام التكنولوجي لاستغلال آبار الغاز فيتم وضعه اعتمادا على المعطيات الناتجة عن عمليات اختبار تلك الآبار، وهذه الأنظمة يجب أن تضمن إمكانية الحصول على أقصى إنتاجيات ممكنة لهذه الآبار مع اقل فقد من الطاقة الطبقية، والاستغلال بشكل طبيعي دون إحداث أي خلل قد يؤدي إلى صعوبات ومشاكل. وبما أن

ظروف عمل المكمن والبئر تتغير كلما ازداد سحب الغاز، فان الأنظمة التكنولوجية والإنتاجيات العظمى الممكنة للآبار تحدد لفترة تتراوح بين خمسة وستة أشهر وذلك تبعاً لخصائص البئر على أن يتم تدقيق تلك الفترة فيما بعد .

١-٣ - أدائية المكمن الغازي: *(Gas Reservoir Performance)*

عند انتقال الغاز من المكمن إلى مكان الاستهلاك يجب أن يمر أولا من خلال الصخور المكمنية، أي ضمن الوسط المسامي، ويتطلب ذلك صرف كمية معينة من الطاقة للتغلب على مقاومات الجريان التي تظهر على شكل انخفاض في الضغط باتجاه البئر، والذي يعتمد على كل من:

خصائص الموائع المكمنية، معدل جريان الغاز، خصائص الصخور المكمنية .

١-٣-١- تركيب الغاز الطبيعي:(*Composition Of Natural Gas)*

يتكون الغاز الطبيعي من الهيدروكربونات الغازية بالإضافة إلى بعض الشوائب، أما الهيدروكربونات الغازية الموجودة في الغاز الطبيعي فهي: الميتان، الايتان، البروبان، البوتان، البنتان، مع كمية قليلة من الهكسان والهبتان والاوكتان والهيدروكربونات الأثقل. تصنف المركبات الأثقل من الهبتان بما يسمى فوق الهبتان (*Heptanes Plus*) أو (C_7^+)، و الشوائب الموجودة في الغاز الطبيعي هي: غاز الازوت، غاز ثاني أو كسيد الكربون،غاز كبريت الهيدروجين، الهليوم، النيون الارغون وغيرها، كما تتضمن الملوثات بخار الماء أيضاً، ويمكن أن يختلف التركيب الحقيقي للغاز الطبيعي بمجالات واسعة، حتى انه قد يختلف في بئرين لإنتاج الغاز من ذات المكمن .

يمكن تصنيف الغاز الطبيعي المنتج حسب تركيبه الكيميائي إلى الأنواع التالية:

١- الغاز الحلو (*Sweet Gas*): وهو الغاز الذي لا يحتوي في تركيبه إلا نسبة قليلة جداً من كبريت الهيدروجين وثاني اكسيد الكربون، ولا يحتاج إلى معالجة، ويمكن أن يستعمل مباشرة كوقود .

٢- الغاز الحامضي *(Sour Gas)*: وهو الغاز الذي يحتوي على كمية معينة من كبريت الهيدروجين و ثاني أكسيد الكربون.

٣- الغاز الرطب *(Wet Gas)*: وهو الغاز الذي تنفصل عنه كميات لا بأس بها من المواد الهيدروكربونية السائلة بعد المعالجة المناسبة إضافة إلى احتوائه على نسبة من المياه.

٤- الغاز الجاف (*Dry Gas*): وهو الغاز الذي يتكون بشكل رئيسي من الميتان والايتان ولا يحتوي على كميات كبيرة من المواد الهيدروكربونية الثقيلة ويكون خالياً من الرطوبة .

١-٣-٢- الصفات الفيزيائية للغاز الطبيعي: *(Physical Properties Of Natural Gas)*

إن فهم سلوكية الغازات بالنسبة لاختلاف كل من الضغط ودرجة الحرارة يتضح جلياً عندما نأخذ بعين الاعتبار سلوكية الغازات في شروط مقاربة للشروط القياسية *(Standard Conditions)* من الضغط ودرجة الحرارة وهي: P_{sc} (*= 101.324 Kpa=1atm=14.7 Pisa)*

T_{sc} *= (15.5° C =288.7°K=60 °F=520°R)*

وفي الشروط القياسية يمكن القول: إن الغاز يسلك سلوكا مثالياً، والقانون العام للغازات هو:

$$P.V = n.R.T \qquad (1.1)$$

حيث تمثل (V) المجموع الكلي لحجم (n) مول من الغاز بدرجة حرارة (T) وتحت تأثير ضغط(P) وبما أن(n) تساوي كتلة الغاز (m_g) مقسومة على وزنه الجزيئي (M_g)، لذلك يمكن كتابة المعادلة (1.1) بالشكل التالي:

$$P.V = \frac{m_g}{M_g} \times R.T \qquad (1.2)$$

هذه المعادلة محدودة التطبيق لأنه لا يوجد غاز مثالي، ولكنها توضح سلوك أغلب الغازات الحقيقية (Real Gas)عند ضغوط منخفضة، وتعطي الأساس لتطوير معادلات الحالة الغازية الأكثر ملاءمة لوصف سلوكية الغازات الحقيقية عند ضغوط عالية .

R=الثابت العام للغازات وتعتمد قيمه العددية على الواحدات المستخدمة للتعبير عن درجة الحرارة والضغط والحجم، وفي الواحدات التي سنستخدمها في دراستنا وهي:

الضغط بواحدة $Psia$، درجة الحرارة بواحدة ^oR، الحجم ft^3، عدد المولات بواحدة $(lb-mole)$ فان قيمته هي: $\left(R = 10.73 Psia.ft^3/lb-mole.^\circ R\right)$.

١-٣-٢-١-الوزن الجزيئي الظاهري: *(Apparent Molecular Weight)*

بما أن الغاز يتكون من عدة مركبات هيدروكربونية غازية مختلفة الحجم، فإنه ليس من الدقة القول بأن لخليط الغازات وزن جزيئي، وإنما يعرف بالوزن الجزيئي الظاهري، ويعرّف كما يلي:

$$Ma = \sum y_i \times M_{gi} \qquad (1.3)$$

حيث أن: (y_i)يعطى بالمعادلة التالية: .

$$y_i = n_i / \sum n_i \qquad (1.4)$$

أي أن خليط المركبات الهيدروكربونية الغازية يتخذ شكلاً وسلوكاً وكأنه مكوّن من مركبة غازية واحدة، حيث أن وزنها الجزيئي يساوي الوزن الجزيئي الظاهري للخليط الغازي .

١-٣-٢-٢- كثافة الغاز: *(Gas Density)*

يرمز لها بالرمز (ρ) وتعبر عن الكتلة النوعية بواحدة الحجم وتسمى أحياناً بالكثافة الكتلية.

تتعلق كثافة الغاز القابل للانضغاط بقيمة الضغط المطبق عليه ودرجة حرارته وتحسب كثافة الغاز الحقيقي من المعادلة العامة للغازات الحقيقية وهي:

$$P.V = Z.n.RT \qquad (1.5)$$

وبالتالي نكتب:. $$\rho_g = \frac{P.\mathrm{M}_g}{R.T}.\frac{1}{Z} \qquad (1.6)$$

تحدد كثافة الغاز الطبيعي عند الشروط القياسية من العلاقة التالية:

$$\rho_{SC} = 0.0763 \times \gamma_g (air = 1)(lbs/\ ft^3) \qquad (1.7)$$

كثافة الهواء تساوي: $$\rho_{air} = 0.0763\ lb/\ ft^3 = 0.001225\ g/cm^3$$

وبمعرفة كثافة الغاز عند الشروط القياسية يمكن تحديد كثافته عند أية قيمة للضغط ودرجة الحرارة بالعلاقة التالية: $$\rho_g = \frac{\rho_{sc}.P.T_{sc}}{Z.P_{sc}.T} \qquad (1.8)$$

تعرّف الكثافة النسبية للغاز (*Relative Density*) بأنها نسبة كثافة الغاز *(Gas Density)* إلى كثافة الهواء الجاف المحسوبة بالشروط القياسية من الضغط ودرجة الحرارة ويمكن كتابتها كما يلي:

$$\gamma_g = \frac{\rho_g}{\rho_{air}} = \frac{M_g}{M_{air}} = \frac{M_g}{29} \qquad (1.9)$$

وفي حال كون الغاز خليطاً فان المعادلة *(1.9)* تصبح كما يلي:

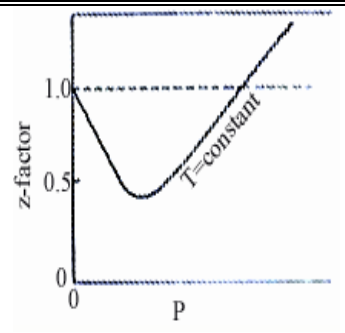
$$\gamma_g = \frac{M_a}{M_{air}} = \frac{M_a}{29} \qquad (1.10)$$

١-٣-٢-٣- عامل انضغاط(انحراف) الغاز: (*Gas Compressibility (Deviation) Factor*)

يمثل عامل انضغاط الغاز (*Z – factor*) انحراف سلوك الغازات الحقيقية عن سلوك الغازات المثالية عند تغير الشروط التي تتواجد فيها من ضغط ودرجة حرارة، ويعرّف بأنه نسبة الحجم الحقيقي الذي تشغله كتلة الغاز عند قيمة للضغط ودرجة الحرارة إلى الحجم الذي يشغله الغاز إذا ما تصرّف كغاز مثالي أي:

$$Z = \frac{V_{actual}}{V_{ideal}} \qquad (1.11)$$

حيث أن *(Z=1)* للغازات المثالية، وتختلف قيمة العامل *(Z)* للغازات الحقيقية باختلاف تركيب الغاز والضغط ودرجة الحرارة، ويتم حسابه عن طريق التجربة *(Experimentally)*، حيث تمثل النتائج على شكل مخططات بيانية وعادة تأخذ الهيئة الموضحة بالشكل *(1.1)*، حيث تكون جزيئات الغاز عند الضغط المنخفض جداً متباعدة نسبياً عن بعضها البعض وتقترب قيمة عامل الانضغاط من الواحد مما يعني تواجد لسلوك الغاز المثالي، تتوفر جداول قيم عامل الانضغاط لأغلب المكونات الأحادية *(Single Component)* للغازات الهيدروكربونية الخفيفة ولكن نادراً ما يصادف غاز أحادي المركبة، وللحصول على قيم عامل الانضغاط للغاز الطبيعي يستخدم قانون الحالات المقترنة*(Corresponding States)* والذي ينص على أنه لكل الغازات النقية عامل الانضغاط ذاته عند ذات القيمة من الضغط ودرجة الحرارة المصغرين (المخفضين– المختزلين)، حيث تعرف القيمة المصغرة *(Reduced Value)* كما يلي:



الشكل *(1.1)* عامل الانضغاط كتابع للضغط

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad ، \quad P_r = \frac{P}{P_c} \qquad (1.12)$$

لقد تبين أن قانون الحالات المقترنة يطبق بشكل أفضل بالنسبة للغازات التي لها صفات جزيئية متشابهة ولحسن الحظ أن أغلب الغازات التي يتعامل معها مهندس النفط تتألف من جزيئات مركبات عضوية *(Organic Compounds)* من ذات الصنف، تدعى بالهيدروكربونات البارافينية .وبما أنه توجد صعوبة في إيجاد النقطة الحرجة للخليط المتعدد المركبات، فان الكميات شبه الحرجة *(Pseudo Critical)* (تسمى أيضاً الحرجة الزائفة) للضغط ودرجات الحرارة اعتبرت معبرة، وتعرّف هذه الكميات كما يلي:

$$T_{pc} = \sum y_i \times T_{c_i} \quad ، \quad P_{pc} = \sum y_i \times P_{c_i} \qquad (1.13)$$

تستخدم هذه الكميات شبه الحرجة لخليط الغازات بذات الطريقة تماماً التي تستخدم فيها الضغوط ودرجات الحرارة الحرجة الحقيقية للغازات النقية، وهي تعبّر بشكل فعلي عن الصفات الحقيقية الحرجة لخليط الغازات، ويمكن حسابها بشكل تقريبي من المعادلات التالية:

$$T_{pc} = 170.5 + 307.3 \times \gamma_g \qquad (1.14)$$

$$P_{Pc} = 709.6 - 58.7 \times \gamma_g \qquad (1.15)$$

كما توجد أيضاً معادلات تجريبية أخرى لحسابها وهي التالية:

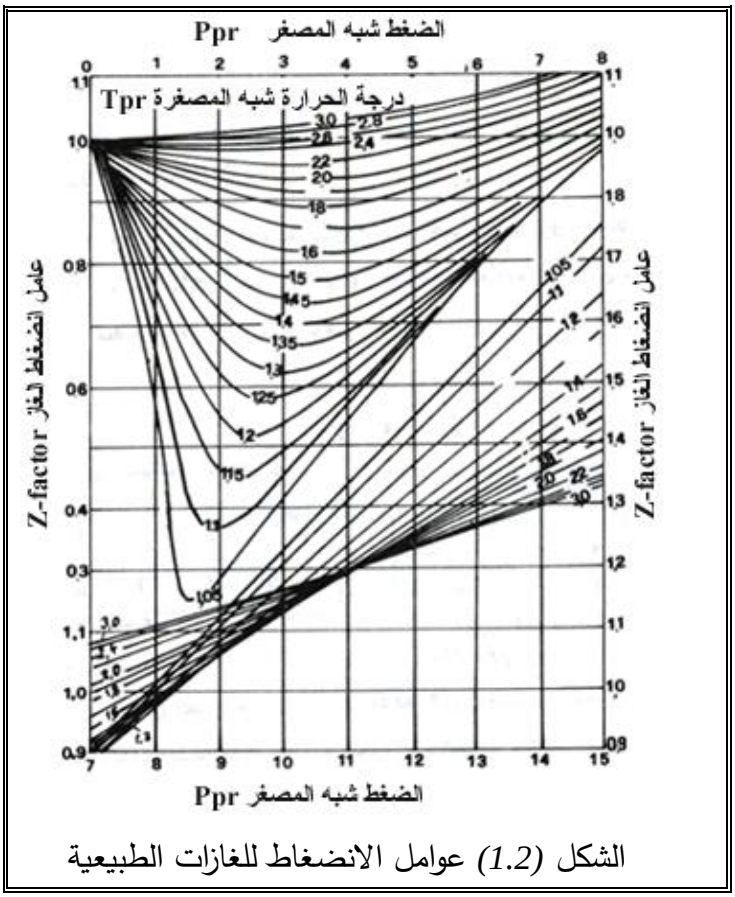
$$T_{pc} = 168 + 325 \times \gamma_g - 12.5 \times \gamma_g^2 \qquad (1.16)$$

$$P_{Pc} = 677 + 15 \times \gamma_g - 37.5 \times \gamma_g^2 \qquad (1.17)$$

بعد ذلك ومن الشكل *(1.2)* الذي يمثل عامل الانضغاط للغازات الطبيعية يمكن الحصول على قيم عامل الانضغاط للغاز بالعلاقة مع قيم الضغط ودرجة الحرارة شبه المصغرة، والتي تعرّف كما يلي:

$$P_{\mathrm{Pr}} = \frac{P}{P_{Pc}} \quad ، \qquad (1.18)$$

$$T_{\mathrm{Pr}} = \frac{T}{T_{Pc}}$$



الشكل *(1.2)* عوامل الانضغاط للغازات الطبيعية

بما أن الغازات الطبيعية تحتوي على شوائب غير هيدروكربونية مثل (N_2) و(CO_2) و(H_2S)، فإنها ستؤثر على قيمة عامل الانضغاط الذي تم الحصول عليه من الشكل *(1.2)*، ولهذا يجب إجراء تصحيحاً

يأخذ بعين الاعتبار تأثير هذه الشوائب، وذلك باستعمال عامل التصحيح (e) واحدته (^oF) الذي تم شرحه من قبل (*Aziz and Wichert*) كما يلي:

$$e = 120(y_{C02} + y_{H2S})^{0.9} - 120(y_{CO2} + y_{H2S})^{1.6} + 15(y_{H2S}^{0.5} - y_{H2S}^{4}) \qquad (1.19)$$

$$T_{Pc}^{*} = T_{Pc} - e \qquad (1.20)$$

$$P_{Pc}^{*} = \frac{P_{pc} \times T_{pc}^{*}}{T_{Pc} + y_{H2S}(1 - y_{H2S}) \times e} \qquad (1.21)$$

ولكن عندما يكون تركيز غاز الآزوت كبيراً في المزيج الغازي من المفضل إجراء التصحيح باستخدام طريقة (*Carr-Kobayashi-Burrows*) كما يلي:

$$T_{pc}^{*} = T_{pc} - 80 \cdot y_{co_2} + 130 \cdot y_{H_2S} - 250 \cdot y_{N_2} \qquad (1.22)$$

$$p_{pc}^{*} = p_{pc} + 440 \cdot y_{co_2} + 600 \cdot y_{H_2S} - 170 \cdot y_{\mathrm{N}_2} \qquad (1.23)$$

بعد الحصول على الخصائص شبه الحرجة المصححة نحسب قيمة كل من الضغط ودرجة الحرارة شبه المصغرة كما يلي:

$$P_{\mathrm{Pr}} = \frac{P}{P_{Pc}^{*}} \quad ، \quad T_{\mathrm{Pr}} = \frac{T}{T_{Pc}^{*}} \qquad (1.24)$$

بعد ذلك نحصل على قيمة ($Z - factor$) من الشكل رقم (*1.2*)، أو يتم حسابها، ولقد قمنا بوضع برنامج لحساب عامل الانضغاط ($Z - factor$) بواسطة الحاسوب باستعمال معادلات (*Hall-Yarborough*) والتي طورت باستعمال معادلة الحالة لـ (*Carnahan*) وهي:

$$Z = \frac{0.06125 \times P_{\mathrm{Pr}} \times t_{in} \times e^{-1.2(1-t_{in})^2}}{\rho_r} \qquad (1.25)$$

$$t_{in} = \frac{1}{T_{pr}} = \frac{T_{pc}}{T} \qquad (1.26)$$

يتم الحصول على قيمة الكثافة المصغرة (ρ_r) بحل المعادلة التالية:

$$\left[\begin{array}{l} -0.06125 \times P_{\mathrm{Pr}} \times t_{in} \times e^{-1.2(1-t_{in})^2} + \dfrac{\rho_r + \rho_r^2 + \rho_r^3 - \rho_r^4}{(1-y)^3} - \\ (14.76 \times t_{in} - 9.76 \times t_{in}^2 + 4.58 \times t_{in}^3)\rho_r^2 + \\ (90.7 \times t_{in} - 242.2 \times t_{in}^2 + 42.4 \times t_{in}^3)\rho_r^{(2.18+2.82 \times t_{in})} = 0 \end{array}\right] \qquad (1.27)$$

إن المعادلة (*1.27*) غير خطية ويمكن حلها بطريقة مناسبة بالنسبة لـ (ρ_r) باستعمال تقنية التكرارية البسيطة لـ (*Newton and Raphson*) وهي التالية:

١- يتم تحديد قيمة أولية لـ (ρ_r^k) ولتكن ($\rho_r^1 = 0.001$) حيث أن (k) هو عدد مرات التكرار في الحساب.

٢- تعوّض هذه القيمة في المعادلة (1.27) ويتم ضبط قيمة (ρ_r) المفترضة، وتحدد أفضل قيمة لـ (ρ_r) كما يلي:

$$\rho_r^{k+1} = \rho_r^k - f^k / (df^k / d\rho_r) \qquad (1.28)$$

حيث أن الحد $(df / d\rho_r)$ يمكن الحصول عليه باشتقاق المعادلة (1.27) كما يلي:

$$\frac{df}{d\rho_r} = \left[\begin{array}{l} \frac{1+4\rho_r+4\rho_r^2-4\rho_r^3+\rho_r^4}{(1-y)^4} - (29.52t_{in} - 19.52t_{in}^2 + 9.16t_{in}^3)\rho_r + \\ (2.18+2.82t_{in})(90.7t_{in} - 242.2t_{in}^2 + 42.4t_{in}^3)\rho_r^{(1.18+2.82t_{in})} \end{array} \right] \qquad (1.29)$$

٣- يكرر استعمال المعادلة (1.27) و المعادلة (1.28) حتى الوصول إلى القيمة $(f^k \approx 0)$.

٤- تعوّض القيمة الصحيحة لـ (ρ_r)في المعادلة (1.27) فنحصل على قيمة (Z)

١-٣-٢-٤- انضغاطية الغاز: *(Gas Compressibility)*

تعرَّف انضغاطية الغاز عند ثبات درجة الحرارة بأنها مقدار تغير حجم معين من الغاز لدى تغير الضغط عند درجة حرارة ثابتة، ويمكن أن نكتب:

$$C_g = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right) \qquad (1.30)$$

ويجب التفريق بين هذا التعريف وبين عامل انضغاط الغاز (Z)

تعطى انضغاطية الغاز المثالي بالعلاقة التالية: $C_g = 1/P$ *(1.31)*

تعطى انضغاطية الغاز الحقيقي بالعلاقة التالية: $C_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{Z}\frac{\partial z}{\partial P}$ *(1.32)*

إن تحديد انضغاطية الغاز الحقيقي يتطلب تحديد تغيرات العامل *(Z)* بتغير الضغط ودرجة الحرارة وبما أن أغلب الجداول والمعادلات عبرت عن عامل الانضغاط كتابع للضغط ودرجة الحرارة المصغرين فان الانضغاطية المصغرة (C_r) يمكن التعبير عنها كتابع لـ (P_{Pr}) عند قيمة ثابتة لـ(T_{Pr}) كما يلي:

$$C_r = \frac{1}{P_{\mathrm{Pr}}} - \frac{1}{Z}\left(\frac{\partial Z}{\partial P_{\mathrm{Pr}}}\right)_{T_{pr}} \qquad (1.33)$$

يتم الحصول على قيم $\left(\frac{\partial Z}{\partial P_{\mathrm{Pr}}}\right)_{T_{\mathrm{Pr}}}$ من الشكل (1.2) عند القيمة المعينة لعامل الانضغاط *(Z)*، وبعدها نحصل على قيمة $(C_r.T_{\mathrm{Pr}})$ كتابع لـ $(T_{\mathrm{Pr}}, P_{\mathrm{Pr}})$ من أحد الشكلين (1.3) أو (1.4)، ثم نحسب قيمة (C_r) من العلاقة التالية: $C_r = \frac{C_r.T_{\mathrm{Pr}}}{T_{\mathrm{Pr}}}$ *(1.34)*

وبعد ذلك نحسب قيمة انضغاطية الغاز من العلاقة التالية:

$$C_g = \frac{C_r}{P_{Pc}} \qquad (1.35)$$

ويمكن أيضاً أن يتم حساب تغير $(Z-factor)$مع الضغط (P) باستخدام التعبير التحليلي $(Analytical\ \ Expression)$ وهو حساب $(Z-factor)$ عند الضغوط القريبة من قيمة أعلى وأخرى أخفض من قيمة الضغط المطلوب كما يلي:

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial P_{\mathrm{Pr}}}\right)_{T_{pr}} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{P_{\mathrm{Pr1}} - P_{\mathrm{Pr2}}}\right)_{T_{pr}} \qquad (1.36)$$

وتصبح:
$$C_r = \frac{1}{P_{\mathrm{Pr}}} - \frac{1}{Z}\left(\frac{Z_1 - Z_2}{P_{\mathrm{Pr1}} - P_{\mathrm{Pr2}}}\right) \qquad (1.37)$$

حيث أن: P_{pr2}, P_{pr1} =الضغط شبه المصغر عند قيم الضغط (P_2, P_1) على الترتيب.

توجد طريقة أخرى لحساب انضغاطية الغاز باستخدام المعادلة التالية:

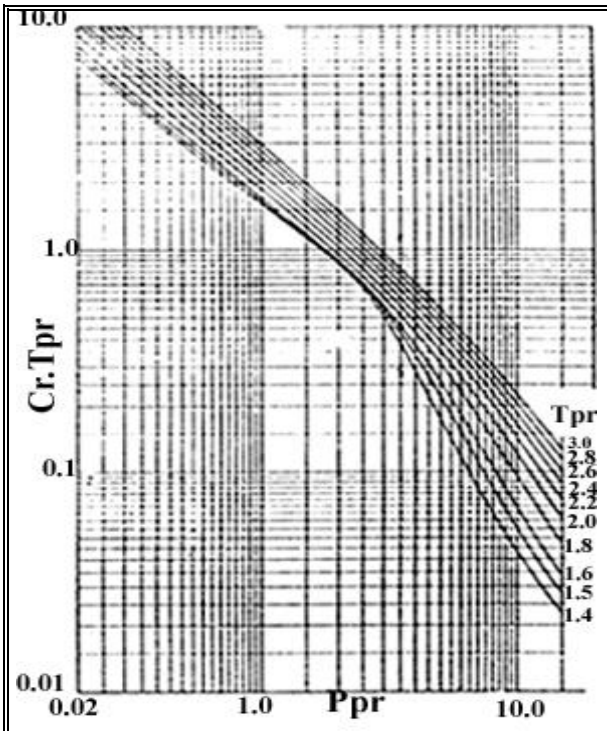
$$\frac{1}{C_g} = P_{Pc}.P_{\mathrm{Pr}}\left(1 + \frac{\rho_r}{Z}\frac{\partial Z}{\partial y}\right) \qquad (1.38)$$

حيث أن: (ρ_r) هي الكثافة المصغرة والتي تم حسابها بالمعادلة رقم (1.28) .

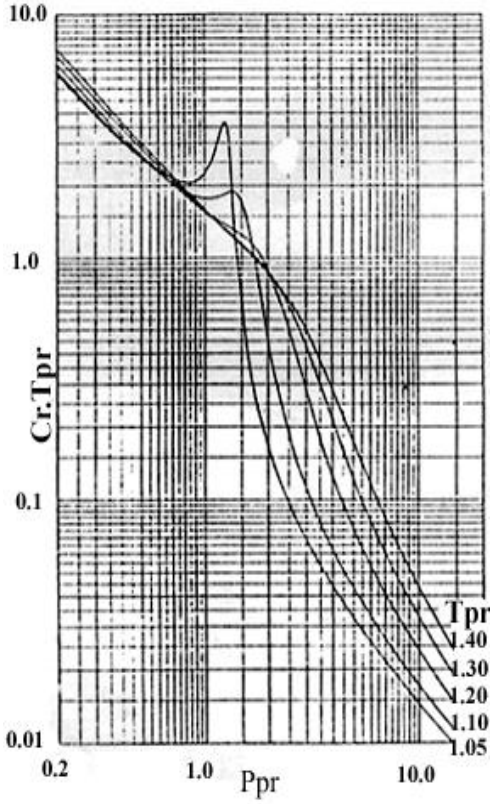
$$\frac{\partial Z}{\partial \rho_r} = \frac{1}{\rho_r.T_{\mathrm{Pr}}}\left[5a_1.\rho_r^5 + 2a_2.\rho_r^2 + a_3.\rho_r + 2a_4.\rho_r^2(1 + a_5.\rho_r^2 - a_5^2.\rho_r^4)\exp(-a_5.\rho_r^2)\right] \qquad (1.39)$$

$$a_1 = 0.06423, a_4 = 0.6816/T_{\mathrm{Pr}}^2, a_5 = 0.6845,$$

$$a_2 = 0.5353T_{\mathrm{Pr}} - 0.6123, a_3 = 0.3151T_{\mathrm{Pr}} - 0.5783/T_{\mathrm{Pr}}^2 - 1.0467$$



الشكل *(1.4)* تغيرات $(C_R.T_{\mathrm{Pr}})$ مع $(T_{\mathrm{Pr}}, P_{\mathrm{Pr}})$ عند $(1.4 < T_{\mathrm{Pr}} < 3), (0.2 < P_{\mathrm{Pr}} < 15)$



الشكل *(1.3)* تغيرات $(C_R.T_{\mathrm{Pr}})$ مع $(T_{\mathrm{Pr}}, P_{\mathrm{Pr}})$ عند $(1.05 < T_{\mathrm{Pr}} < 1.4), (0.2 < P_{\mathrm{Pr}} < 15)$

١-٣-٢-٥- عامل حجم الغاز: *(Gas Formation Volume Factor)*

تكون معدلات الجريان والكميات المنتجة في أغلب عمليات إنتاج الغاز مقاسة بالشروط القياسية كالقدم المكعب القياسي في اليوم *(scfd)*، ويطلب في هندسة المكامن وحسابات الجريان في الأنابيب

معرفة الحجوم في الشروط الطبقية من ضغط ودرجة الحرارة، لهذا نحتاج إلى عامل تحويل مناسب من الشروط القياسية إلى الشروط الطبقية، هذا العامل يسمى عامل حجم الغاز ويعرَّف بأنه نسبة الحجم الحقيقي الذي يشغله الغاز عند ضغط ودرجة حرارة معينة (الشروط الطبقية) إلى الحجم الذي يشغله الغاز ذاته في الشروط القياسية، ويتم الحصول عليه باستخدام القانون العام للغازات كما يلي:

في الشروط الطبقية: $PV = ZnRT$ *(1.40)*

في الشروط القياسية: $P_{sc}.V_{sc} = Z_{sc}nRT_{sc}$ *(1.41)*

من المعادلتين *(1.40)* و *(1.41)* نحصل على عامل حجم الغاز كما يلي:

$$B_g = \frac{V}{V_{sc}} = \frac{T.P_{sc}.Z}{T_{sc}.P.Z_{sc}} \qquad (1.42)$$

وعند استعمال الشروط القياسية التالية ($Tsc=520^oR$، $Psc=14.7psia$، $Zsc=1$) نحصل على .

$$B_g = 0.0283\frac{Z.T}{P} \qquad (1.43)$$

١ -٣-٢-٦- لزوجة الغاز : *(Gas Viscosity)*

لزوجة المائع هي قياس لقابلية المائع على الجريان، وتتعلق بتركيب المائع والضغط ودرجة الحرارة وبما انه من الصعب قياس لزوجة الغاز، لذلك تم إيجاد طرق لحسابها، وأولى هذه الطرق هي طريقة *(Lee)* الذي وضع تعبيراً تحليلياً للزوجة الغاز الهيدروكربوني، يتمثل بالمعادلة التالية:

$$\mu_g = k.10^{-4}\exp(x\rho_g^w)$$

$$\left[\begin{array}{l} k = \dfrac{(9.4+0.02M_a)T^{1.5}}{209+19M_a+T} \\ x = 3.5+(986/T)+0.01M_a \\ w = 2.4-0.02x \end{array}\right] \qquad (1.44)$$

حيث أن:

ρ_g =كثافة الغاز g/cc .

١-٣-٣- الخصائص الفيزيائية للصخور المكمنية:(*Physical Properties Of Reservoir Rocks*)

سنورد في هذا الجزء أهم الخصائص المطلوبة لأغلب تطبيقات اختبارات الآبار الغازية:

١-٣-٣-١- مسامية الصخور: *(Porosity Of Rocks)*

يطلق اسم المسامية (Φ) على نسبة الفراغات الموجودة ضمن الصخور الطبقية إلى الحجم الكلي للصخر، والتي تتوضع ضمنها الموائع الطبقية، وتقسم من حيث مبدأ تشكلها إلى قسمين هما:

١- المسامات الأولية: وهي التي تتشكل بين الحبيبات المكونة للصخور أثناء عملية الترسيب وتكوّن الصخور المكمنية .

٢- المسامات الثانوية: وهي التي تتشكل نتيجة العمليات التي تتعرض لها الصخور بعد تشكلها مثل عمليات تفتت الصخور وانحلالها أو تقلصها، والتي تؤدي إلى تشكل الشقوق .

واحدة قياسها هي النسبة المئوية .

١-٣-٣-٢- انضغاطية الصخور: *(Compressibility Of Rocks)*

إن انضغاطية الحجم الكلي للصخر (C_R) تمثل نسبة تغير واحدة حجم الصخر إلى تغير واحدة الضغط، وتحدد مخبرياً عند توفر الاجهزة أو تحدد بالملاحظات التجريبية،والتي لخصها (*Newman*) بالعلاقات التالية:

١- من أجل الحجر الكلسي المتماسك:

$$C_R = \exp(4.026 - 23.07\phi + 44.28\phi^2) \times 10^{-6} \qquad (1.45)$$

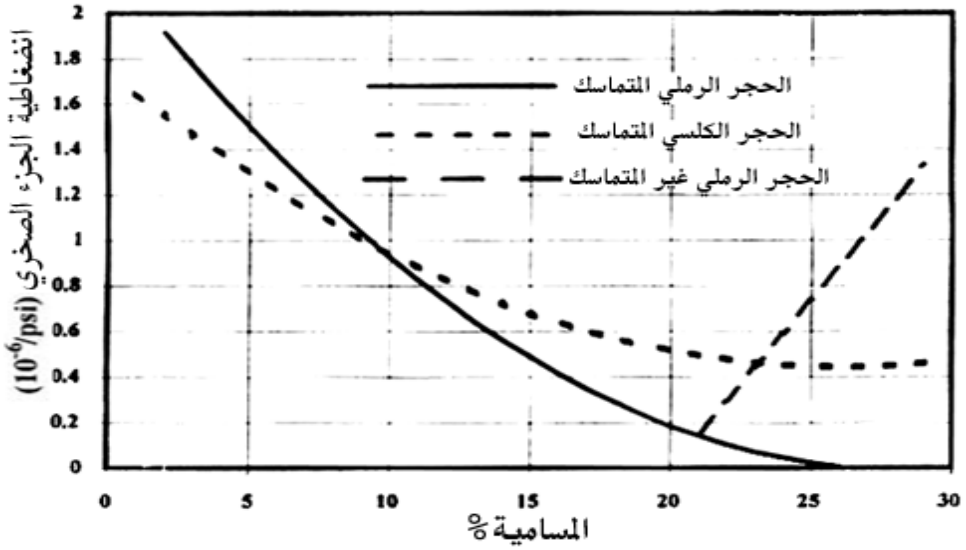
٢- من أجل الحجر الرملي المتماسك:

$$C_R = \exp(5.118 - 36.26\phi + 63.98\phi^2) \times 10^{-6} \qquad (1.46)$$

٣- من أجل الحجر الرملي غير المتماسك ولقيم المسامية $(\Phi \geq 0.2)$ نكتب:

$$C_R = \exp[34.012(\phi - 0.2)] \times 10^{-6} \qquad (1.47)$$

وهذه العلاقات الثلاثة تم تمثيلها بيانياً كما يظهر في الشكل (1.5)



الشكل *(1.5)* انضغاطية الصخور بالعلاقة مع المسامية

١-٣-٣-٣- نفوذية الصخور: *(Permeability Of Rocks)*

تعرَّف نفوذية الصخر بأنها خاصية الصخر بالسماح بمرور الموائع من خلالها، وتقسم النفوذية إلى ثلاثة أنواع هي:

١- النفوذية المطلقة: هي قدرة الصخر على تمرير طور معين عندما يكون مشبعاً به كلياً.

٢- النفوذية الفعَّالة أوالطورية لمائع: هي قياس لقابلية الصخر على تمرير طور معين بوجود عدة أطوار، وهذا النوع من النفوذية هو المستخدم في معادلات الجريان لاحقاً .

تقاس النفوذية المطلقة والفعالة بواحدة الدارسي أو البواز *$(1P=dyne.s/cm^2=g/cm.s)$*

٣- النفوذية النسبية: وهي نسبة النفوذية الفعَّالة إلى النفوذية المطلقة وتمثل نسبة جريان طور ما لدى جريان عدة أطوار في آن واحد.

وتحدد النفوذية من القياسات الجيوفيزيائية أو مخبرياً أو من اختبارات الآبار .

١-٣-٣-٤- المياه المترابطة: *(Connate Water)*

عند تجمع الغازات في الطبقات الخازنة، فإنها لم تطرد الماء بشكل كلي من هذه الطبقات وإنما بقيت كمية من المياه فيها لايمكن إزاحتها، والتي يطلق عليها اسم المياه المترابطة، والتي لابد من معرفتها لتحديد درجة تشبع هذه الطبقات بالفحوم الهيدروجينية، وتوجد طريقتين لتحديدها هما:

١- من نتائج القياسات الكهربائية التي تجرى على الآبار .

٢- مخبرياً من منحني الضغط الشعري بالعلاقة مع درجة التشبع بالماء

١-٣-٤- الانضغاطية الكلية: *(Total Compressibility)*

تعطى الانضغاطية الكلية (C_t) عند وجود عدة أطوار بالعلاقة التالية:

$$C_t = C_R + S_g.C_g + S_o.C_o + S_w.C_w \qquad (1.48)$$

وحيث أن المكامن المدروسة لا تحتوي على النفط ، لذلك فان ($S_O = 0$) والعلاقة (*1. 48*) تصبح:

$$C_t = C_R + S_g.C_g + S_w.C_w \qquad (1.49)$$

قمنا بتوضيح كيفية حساب كل من (C_g) و(C_R) في مقاطع سابقة من هذا الفصل، أما انضغاطية المياه فتعطى بالعلاقة التالية:

$$C_{w1} = (a + b.T_f + c.T_f^2) \times 10^{-6} \qquad (1.50)$$

$$a = 3.8546 - 0.000134 \times P$$

حيث أن:

$$b = -0.01052 + 4.77 \times 10^{-7} \times P$$

$$c = 3.9267 \times 10^{-5} - 8.8 \times 10^{-10} \times P$$

وبإجراء التصحيح بسبب احتواء المياه على (*NaCl*) نحصل على .

$$C_w = C_{w1}\left[1 + NaCl^{0.7}(-0.052 + 0.00027.T_f - 1.14 \times 10^{-6}.T_f^2 + 1.121 \times 10^{-9}.T_f^3)\right] \quad (1.51)$$

١-٣-٥- جريان الغاز المكمني: *(Reservoir Gas Flow)*

يتطلب تحديد أدائية التدفق (*Inflow Performance*) أو سعة الجريان لمكمن أو لبئر غازي، إيجاد العلاقة بين معدل الجريان القادم إلى البئر وضغط جريان قاع البئر، ويمكن ذلك بحلٍ مناسب لقانون دارسي والذي يمثل تعبيراً مقبولاً لإيجاد العلاقة بين هبوط الضغط وسرعة جريان الموائع في الوسط المسامي شريطة أن يكون الجريان خطياً (*Linear*)، والذي يعتمد حلّه على ظروف الجريان المتواجدة في المكمن أو على نظام الجريان (*Flow Regime*).

عندما يفتح البئر بعد أن كان مغلقاً، سيتولد اضطراباً في ضغط البئر، وينتقل هذا الاضطراب في عمق الطبقة عبر الصخور بسرعة معينة تتحكم فيها كلٍ من صفات الصخور وصفات المائع، وسيتم بحث أنواع أنظمة الجريان بالنسبة لاضطراب الضغط هذا، وهي الآتي:

١-٣-٥-١- جريان الحالة المستقرّة: (*Steady State Flow*)

لا يعتمد نظام الجريان على الزمن. يوضح الشكل (*1.6*) توزع الضغط ومعدل الجريان عند الجريان الشعاعي (*Radial Flow*) للحالة المستقرّة داخل البئر. حتى تتحقق هذه الحالة يجب أن يكون معدل الجريان عبر نصف قطرا لتصريف(r_e) مساوياً لمعدل الجريان عند نصف قطر البئر(r_w) ويتحقق ذلك

إذا توفرت الإزاحة المناسبة بالماء (*Water Drive*)، والتي يتساوى فيها معدل التغذية بالماء مع معدل الإنتاج. تفيد معادلات الحالة المستقرّة في تحليل الظروف بالقرب من البئر، لأنه حتى في ظروف الحالة غير المستقرّة غالباً ما يكون معدل الجريان بالقرب من البئر ثابتاً، لهذا فان معادلات جريان الحالة المستقرّة يمكن تطبيقها لهذا الجزء من المكمن دون أي خطا ملحوظ

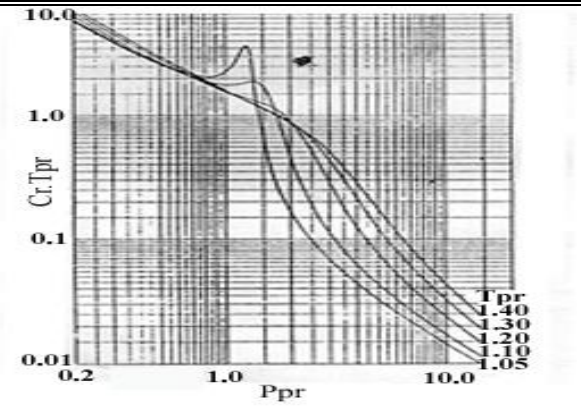
يكتب قانون دارسي للجريان في الوسط المسامي عندما يكون اتجاه جريان المائع بعكس اتجاه محور السينات (محور X) كما يلي:

$$v = -\frac{K}{\mu}\frac{dP}{dx} \qquad (1.52)$$

حيث يمثل الحد (dP/dx) تدرج الضغط باتجاه جريان المائع.

عند الجريان الشعاعي والذي يعرف فيه البعد بالموجب كلما ابتعدنا عن البئر، تأخذ المعادلة *(1.52)* الشكل التالي:

$$q = v.A = \frac{K(2\pi.r.h)}{\mu}\frac{dP}{dr} \qquad (1.53)$$



الشكل*(1.6)* توزع الضغط لجريان الحالة المستقرة

وباستخدام المعادلتين التاليتين:

١- معادلة الاستمرارية:

$$\rho_1.q_1 = \rho_2.q_2 = Constant \qquad (1.54)$$

وبما انه يفضل عادةً استخدام معدل جريان الغاز عند الشروط القياسية من الضغط (p_{sc}) ودرجة الحرارة (T_{sc})، وباستخدام هذه الشروط في المعادلة (*1.54*) نحصل على: *(1.55)*

$$\rho.q = \rho_{sc}.q_{sc} = Constant$$

٢- معادلة الحالة للغاز الحقيقي رقم (*1.6*) وهي:

$$\rho = \frac{P.M_g}{R.T}\frac{1}{Z}$$

نعوض المعادلة (*1.6*) في المعادلة (*1.55*) فنحصل على:

$$q\frac{P.M_g}{Z.R.T} = q_{sc}\frac{P_{sc}.M_g}{Z_{sc}.R.T_{sc}} \qquad (1.56)$$

وبتعويض المعادلة (*1.53*) في المعادلة (*1.56*) وحيث أن ($Z_{sc} = 1$) وبإعادة ترتيب الناتج نحصل على:

$$q_{sc} = \frac{P.T_{sc}}{P_{sc}.Z.T}\frac{2\pi.K_g.h.r}{\mu_g}\frac{dP}{dr} \Leftrightarrow P.dP = \frac{q_{sc}.P_{sc}T.\mu_g.Z}{T_{sc}.2\pi.K_g.h}\frac{dr}{r} \qquad (1.57)$$

إن المتغيران في هذه المعادلة هما (P) و (r)، بإجراء عملية التكامل نحصل على:

$$\int_{P_w}^{P_e} P.dP = \frac{q_{sc}.P_{sc}T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}}{T_{sc}.2\pi.K_g.h}\int_{r_w}^{r_e}\frac{dr}{r} \Leftrightarrow \frac{P_e^2 - P_w^2}{2} = \frac{q_{sc}.P_{sc}T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}}{T_{sc}.2\pi.K_g.h}\ln(\frac{r_e}{r_w}) \Leftrightarrow$$

$$q_{sc} = \frac{\pi.K_g.h.T_{sc}(P_e^2 - P_w^2)}{P_{sc}.T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}.\ln(r_e/r_w)} \qquad (1.58)$$

في هذا التكامل تم افتراض أن كل من (μ_g) و (Z) لا يتغيران بتغير الضغط، وتقدّر قيمتيهما عند درجة حرارة المكمن ومتوسط قيمة الضغط في منطقة التصريف ($\overline{P} = \frac{P_e + P_w}{2}$) .

تطبق المعادلة (*1.58*) لأي مجموعة مألوفة من الواحدات النفطية المعروفة، وفي الواحدات التي نستخدمها في هذه الدراسة والآتي ذكرها تأخذ الشكل التالي:

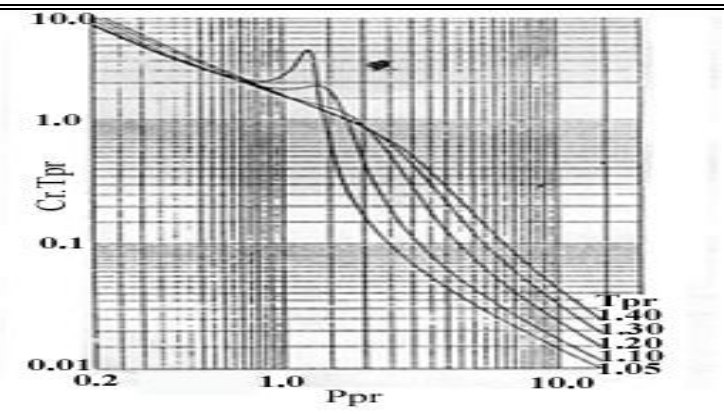
$$q_{sc} = \frac{703\times10^{-6} K_g.h(P_e^2 - P_w^2)}{T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}.\ln(r_e / r_w)} \qquad (1.59)$$

في هذه المعادلة أخذت قيم الضغط ودرجة الحرارة القياسيين والواحدات التالية:

$P_{sc} = 14.7\,psia, T_{sc} = 520^o R,\ K_g : md\ ,\ h : ft,\ \mu_g : cp$

١-٣-٥-٢- جريان الحالة غير المستقرّة: (*Unsteady-State-Flow*)

عندما تتغير ظروف الجريان مع الزمن في نقطة معينة من المكمن. وبالتالي ستكون الحالة غير مستقرّة (*Unsteady State*). يوضح الشكل (*1.7*) توزع الضغط ومعدل الجريان لحالة الجريان الشعاعي غير المستقر للغاز عند أزمنة مختلفة لمكمن مغلق (*Closed Reservoir*) (أي لا يوجد جريان عند الحدود الخارجية للمكمن r_e)،في هذه الحالة سيكون كل الإنتاج بسبب تمدد المائع في المكمن، وهذا سيؤدي إلى جعل قيمة معدل الجريان عند (r_e) مساوياً للصفر ووصول المعدل إلى الذروة عند جدران البئر(r_w) . في البداية يكون الضغط متساويا في جميع أنحاء المكمن ويساوي (P_i) وهذا يمثل الزمن صفر للإنتاج، وبعد فترة قصيرة من إنتاج البئر بمعدل ثابت عن طريق ثبات ضغط قاع البئر، يحدث توزع للضغط، كما هو موضح بالشكل (*1.7*)، والمشار إليه بالضغط (P) عند الزمن (t_1)، ويكون جزءا صغيرا فقط من المكمن قد تأثر بهبوط الضغط بشكل ملحوظ، وبما أن المائع لايمكن أن يتمدد ما لم يكن هناك هبوطا في الضغط، لذلك نلاحظ من رسم معدل الجريان (q) عند الزمن (t_1) أن معدل الجريان يساوي الصفر عند نصف القطر (r_e)، ويزداد مع تناقص نصف القطر إلى أن يصل إلى الذروة عند نصف قطر البئر (r_w) وكلما ازداد الإنتاج من المكمن كلما ازداد هبوط الضغط إلى أن يتأثر كامل المكمن بهبوط الضغط، كما هو موضح بالضغط عند الزمن (t_2). كما أن معدل الجريان عند جدران البئر ينخفض بمقدار معين لدى تغير الزمن من (t_1) إلى (t_2)،ومع استمرار الإنتاج من البئر بعد ذلك سيأخذ منحني توزع الضغط الشكل(P) عند الزمن (t_3) وسيستمر الانخفاض في معدل الجريان خلال الفترة



الشكل (*1.7*)الجريان الشعاعي للحالة غير المستقرة بثبات ضغط البئر

الزمنية من (t_2) إلى (t_3) بسبب الانخفاض في الضغط من (r_e) إلى(r_w) بمقدار (P_e-P_w)، أي إن كافة الآبار تعمل في الحالة غير المستقرة حتى يصل اضطراب الضغط إلى حدود المكمن، أو حتى حدوث التداخل (*Interference*) مع الآبار المتأثرة الأخرى . إن معادلة الانتشارية لحالة الجريان غير المستقر هي:

$$\frac{\partial^2 p^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial p^2}{\partial r}=\frac{\phi.\mu_g.c_t}{k_g}\frac{\partial p^2}{\partial t} \qquad (1.60)$$

يمكن حل هذه المعادلة بالنسبة للضغط بدلالة معدل الجريان والزمن، ويمكن تبسيط الحلول إذا كتبت المعادلة بدون أبعاد (*Dimensionless*)، وذلك بتعريف المتغيرات اللابعدية الموضحة بالجدول (*1.1*) تكتب معادلة الانتشارية بالمتغيرات اللابعدية كما يلي:

$$\frac{\partial \Delta P_D}{\partial r_D^2}+\frac{1}{r_D}\frac{\partial \Delta P_D}{\partial r_D}=\frac{\partial \Delta P_D}{\partial t_D} \qquad (1.61)$$

المتغيرات اللابعدية	الرمز	التعريف
الزمن	t_D	$t_D=\frac{2.64\times10^{-4}k_g.t}{\phi.\overline{\mu_g}.\overline{c_t}.r^2}$
نصف القطر	r_D	r/r_w
معدل التدفق	q_D	$q_D=\frac{1422Tq_{sc}\overline{Z}.\overline{\mu_g}}{k_g.h.p_i^2}$
الضغط	P_D	$p_D=\frac{p^2}{p_i^2 q_D}$
فرق الضغط	ΔP_D	$\Delta p_D=\frac{p_i^2-p^2}{p_i^2 q_D}$

الجدول (*1.1*) المتغيرات اللابعدية

تعتمد حلول المعادلة (*1.61*) على نوع المكمن والظروف عند حدوده، وسيتم مناقشة الحالات التالية:

١- <u>الحالة الأولى</u>: معدل جريان ثابت عند البئر والمكمن يتصرف وكأنه غير محدود(الحالة غير المستقرة):

إن أنسب الحلول استخداماً للجريان الانتقالي في هذه الحالة هو:

$$\Delta P_D=0.5(\ln t_D+0.809) \qquad (1.62)$$

وبعد الحصول على قيمة هبوط الضغط اللابعدي (ΔP_D)، فانه يمكن حساب قيم الضغوط الحقيقية باستخدام تعريف (ΔP_D) من الجدول (*1.1*) . تطبق المعادلة (*1.62*) للقيم الزمنية اللابعدية التي تستند إلى أن نصف قطر تصريف البئر (t_{De}) اقل من (*0.25*)، أي أن البئر لازال في التأثير غير المحدود، أي:

$$t_{De}=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi.\overline{\mu}_g.\overline{c_t}.r_e^2} \qquad :t_{De}<0.25 \qquad (1.63)$$

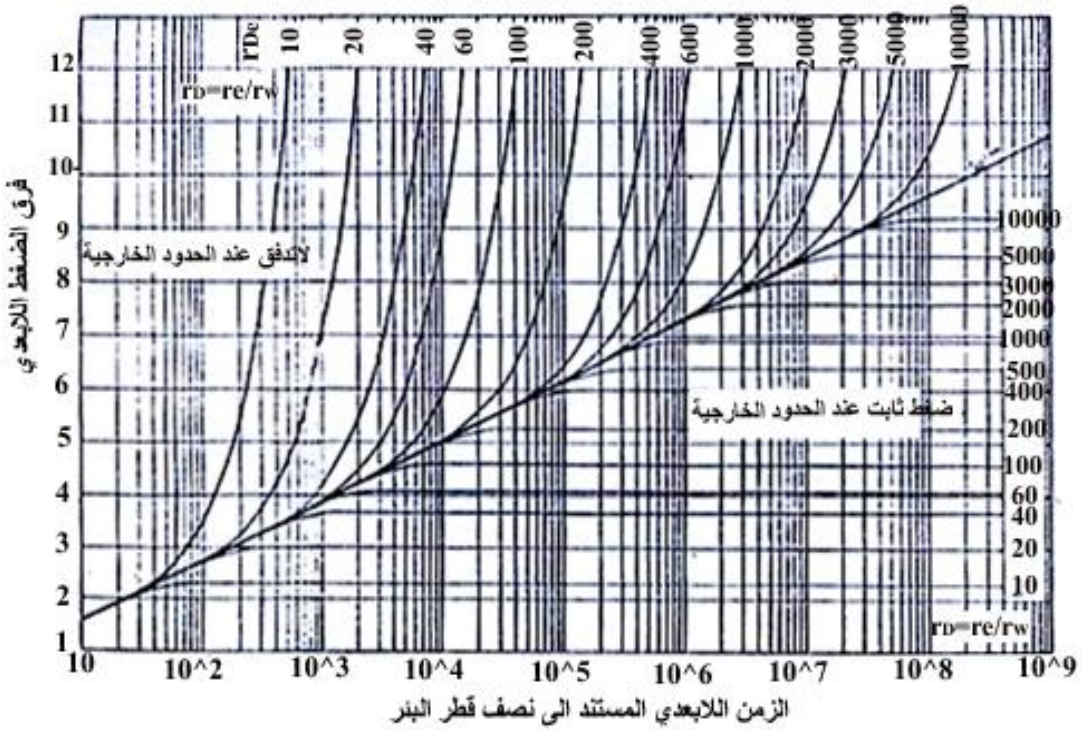
يمكن استخدام المعادلة (*1.62*) أيضاً في أية نقطة من المكمن، أي أن (r) ليس من الضروري دائما أن تكون (r_w)، ومن اجل أن يكون هذا الحل صحيحاً يجب أن تكون قيمة الزمن اللابعدي المستند إلى نصف القطر المعني بالحساب أكبر من (*100*) أي أن: .*[4]*

$$t_D=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi.\overline{\mu}_g.\overline{c_t}.r^2} \qquad :t_D>100 \qquad (1.64)$$

٢- الحالة الثانية: معدل جريان ثابت عند جدران البئر، والمكمن محدود (الحالة المستقرة الزائفة) .

لقد بين كل من (*Van Everdingen And Hurst*) طريقة الحل بالنسبة للآبار التي وصلت إلى الحالة المستقرة الزائفة، والتي يمكن أن تطبق لحساب الضغط عند أي نصف قطر، وذلك عندما يكون معدل الجريان معلوماً، وتم وضع هذا الحل على شكل مخطط بياني، الشكل (*1.8*)، والذي يمثل علاقة (ΔP_D) مع (t_{Dw}) لقيم مختلفة من (r_{De})، وعلى شكل معادلة رياضية وهي:

$$\Delta P_{Dw} = \frac{2 \times t_{Dw}}{r_{De}^2} + \ln(0.472 \times r_{De}) \qquad (1.65)$$



الشكل (*1.8*) قيم ΔP_D/ لبئر في مكمن غير محدود، أو مكمن دائري محدود مع عدم وجود جريان عند الحد الخارجي،أو مكمن دائري محدود بوجود ضغط ثابت عند الحد الخارجي

٣- الحالة الثالثة: معدل جريان ثابت عند جدران البئر وضغط ثابت عند الحد الخارجي للمكمن(الحالة المستقرة).إذا كان البئر ينتج من مكمن ذو ضغط ثابت عند الحد الخارجي، هذا يعني أن البئر في شروط الحالة المستقرة، وسيكون حل معادلة الانتشارية كما يلي:

$$\Delta P_D = \ln(r_{De}) \qquad (1.66)$$

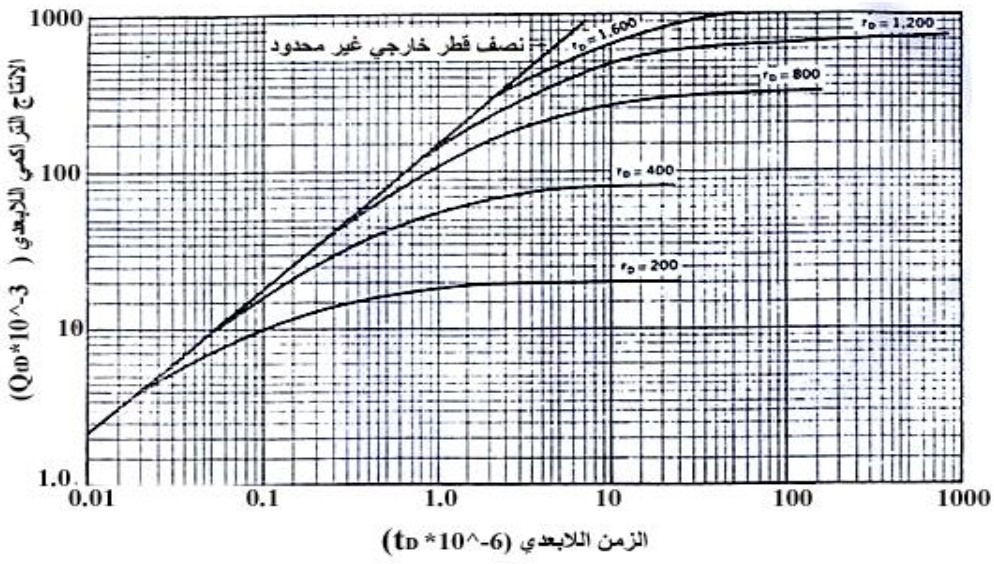
في هذه الحالة سيكون الضغط الذي استخدم في تعريف (ΔP_D) هو (P_e) بدلا من (P_i)، حيث (P_e) هو الضغط الثابت عند الحد الخارجي، وبتعويض تعاريف المتغيرات اللابعدية سيتم التوصل إلى المعادلة (*1.59*) التي تم ذكرها سابقا في حالة جريان الحالة المستقرة .

٤- الحالة الرابعة: ضغط ثابت للبئر .

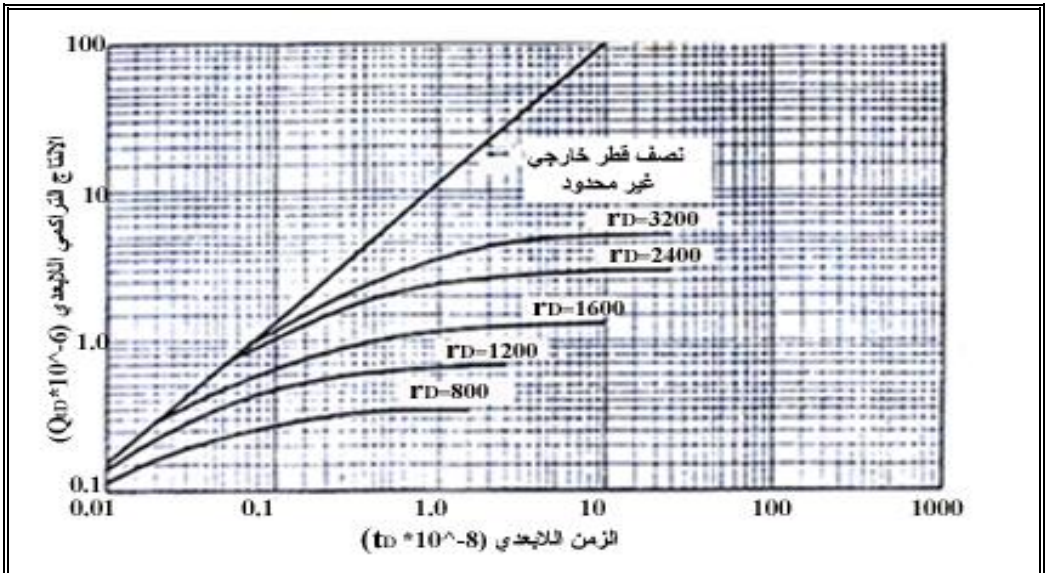
إن حل معادلة الانتشارية عند ضغط ثابت للبئر، يمكن أن يعبر عنه بدلالة الانتاج التراكمي اللابعدي (Q_{td})، حيث يعرف(Q_{td}) كما يلي:

$$Q_{tD} = \frac{G_P.\overline{Z}.T}{0.111.\phi.h.r_w^2.C_t(P_i^2 - P_w^2)} \qquad (1.67)$$

رسمت قيم (Q_{td}) كدالة للزمن ونصف القطر اللابعديين على شكل مخطط بياني، الشكل (*1.9*) والشكل (*1.10*) يوضحان قيم (Q_{td}) مقابل (t_D)



الشكل (*1.9*) قيم Q_{tD} مقابل t_D



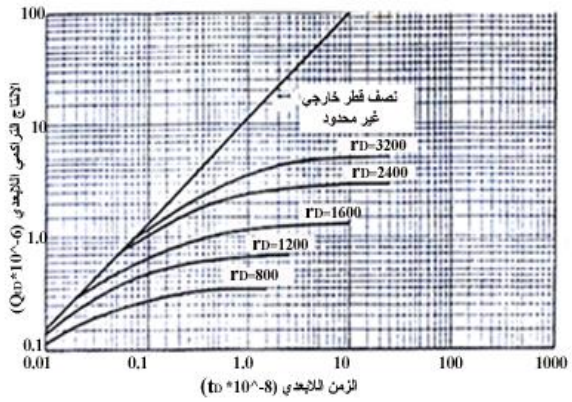
الشكل (*1.10*) قيم Q_{tD} مقابل t_D

١-٣-٥-٣- جريان الحالة المستقرة الزائفة: (*Pseudo-Steady-State Flow*)

تحدث إذا تغيّرت ظروف الجريان الانتقالي مع الزمن بمعدل ثابت في أي نقطة من المكمن، وهذه الحالة يمكن تحليلها بشكل أسهل من حالة الجريان الانتقالي. وتسمى هذه الحالة في بعض المراجع بحالة الجريان شبه المستقرّة (*Semi-Steady State Flow*). يوضح الشكل (*1.11*) منحني توزع الضغط ومعدل الجريان للحالة المستقرة الزائفة، والتي تشبه الحالة غير المستقرة باستثناء أنه في هذه الحالة يبقى معدل

الجريان عند جدران البئر (q_w) ثابتاً، وهذا يمكن مقارنته بالبئرالذي ينتج بمعدل ثابت، أو البئر الذي يكون فيه معدل الضخ ثابتاً.

عند الزمن ($t=0$) يكون الضغط ضمن المكمن ثابتاً ويساوي (P_i)، وبعد فترة إنتاج قصيرة (t_1) بمعدل إنتاج ثابت، سيحدث انخفاضاً ملموساً في الضغط في جزء صغير فقط من المكمن، وبناءً على ذلك سيتأثر المكمن بعملية الإنتاج إلى نصف قطر مقداره (r_1) فقط، ومع استمرار الإنتاج بمعدل ثابت سوف يعاني المكمن من هبوط ملحوظ في الضغط الكلي كما هو موضح عند (t_2)، و بعد فترة وجيزة من تأثر الضغط الكلي للمكمن سيصبح التغير في الضغط مع الزمن عند كل أنصاف الأقطار في المكمن ثابتاً بحيث يكون توزع الضغط في أزمنة لاحقة متوازياً، كما هو موضح عند الأزمنة (t_3) و(t_4) و(t_5) وستمر هذه الحالة مع تغيرات ثابتة في الضغط مع الزمن حتى الوصول إلى عدم قدرة المكمن على إعطاء معدل ثابت للجريان في البئر، وبالنتيجة فان الحالة المستقرة الزائفة هي حالة خاصة لجريان الحالة غير المستقرة، يكون المكمن في هذه الحالة لطيلة فترة حياته، ومعادلة الجريان هي:



الشكل *(1.11)* توزع الضغط لجريان الحالة غير المستقرة بثبات معدل الإنتاج ،الحالة المستقرة الزائفة (t_2) من الى (t_5)

$$q_{sc} = \frac{703\times10^{-6} K_g.h(\overline{P}_R^2 - P_w^2)}{T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}.\ln(0.472r_e / r_w)} \qquad (1.68)$$

إن التأثيرات الناتجة عن الاضطراب والظاهرة السطحية يمكن إدخالها في المعادلة (*1.68*) كما يلي:

$$q_{sc} = \frac{703\times10^{-6} K_g.h(\overline{P}_R^2 - P_w^2)}{T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}.[\ln(0.472r_e / r_w) + S + D.q_{sc}]} \qquad (1.69)$$

أو: $$\overline{P}_R^2 - P_w^2 = \frac{1422T.\overline{\mu_g}.\overline{Z}.q_{sc}}{k.h}[\ln(0.472\times r_e / r_w) + S + D.q_{sc}] \qquad (1.70)$$

تم استنتاج كافة المعادلات الواردة في الفقرات السابقة على أساس أن الإنتاج يتم من بئر يقع في مركز مكمن دائري والذي نادراً ما يمثل الحالة الواقعية، وعلى اعتبار أن سلوكية الضغط تعتمد على شكل المكمن وموقع البئر بالنسبة لحدود المكمن، كما أن الزمن اللازم للوصول إلى الاستقرار أو جريان الحالة المستقرة الزائفة يعتمد أيضاً على هذه العوامل، لذلك تم تطوير المعادلات السابقة من قبل (*Dietz*) لتشمل هذه العوامل، بالنسبة للحالة غير المستقرة تصبح المعادلة (*1.62*) كما يلي:

$$\Delta P_D = 0.5\left[\ln(\frac{A.t_{DA}}{r_w^2}) + 0.809\right] \qquad (1.71)$$

وبالنسبة للحالة المستقرة الزائفة تصبح كما يلي:

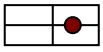
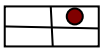
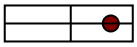
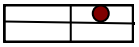
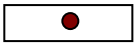
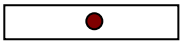
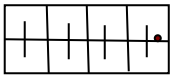
$$\Delta P_D = 0.5\left[\ln(\frac{A}{r_w^2.C_A}) + 0.809\right] + 2\pi.t_{DA} \qquad (1.72)$$

يستند حساب (t_{DA}) على مساحة التصريف (A) ويعرف كما يلي:

$$t_{DA} = \frac{2.64\times10^{-4} k_g.t}{\phi.\overline{\mu}_g.\overline{c}_t.A} \qquad (1.73)$$

يمكن الحصول على العامل (C_A) إضافة إلى قيمة (t_{DA}) المطلوبين للوصول إلى جريان الحالة المستقرة الزائفة من الجدول رقم (1.2)

الجدول *(1.2)* أشكال عوامل الحالة المستقرة الزائفة لمكامن مختلفة

في المكامن المحدودة	$\ln C_A$	C_A	الشروط المستقرة من أجل $t_{DA} >$	في المكامن المحدودة	$\ln C_A$	C_A	الشروط المستقرة من أجل $t_{DA} >$
	*3.45*	*31.6*	*0.1*		*1.58*	*4.86*	*1*
	*3.43*	*30.9*	*0.1*		*0.73*	*2.07*	*0.8*
	*3.45*	*31.6*	*0.1*		*1*	*2.72*	*0.8*
	*3.32*	*27.6*	*0.2*		*-1.46*	*0.232*	*2.5*
	*3.3*	*27.1*	*0.2*		*-2.16*	*0.115*	*3*
	*3.09*	*21.9*	*0.4*		*1.22*	*3.39*	*0.6*
	*3.12*	*22.6*	*0.2*		*1.14*	*3.13*	*0.3*
	*1.68*	*5.38*	*0.7*		*-0.5*	*0.607*	*1*
	*0.86*	*2.36*	*0.7*		*-2.2*	*0.111*	*1.2*
	*2.56*	*12.9*	*0.6*		*-2.32*	*0.098*	*0.9*
	*1.52*	*4.57*	*0.5*	 في مكامن الدفع المائي	*2.95*	*19.1*	*0.1*

	2.38	*10.8*	*0.3*	في المكامن الغير معروفة الخصائص الإنتاجية	*3.22*	*25*	*0.1*

الفصل الثاني

طرق اختبار بئر الغاز الطبيعي وتحليلها

(Methods of The Natural Gas Well Testing And Their Analysis)

يتم اختبار آبار النفط أو الغاز عند المراحل المختلفة من الحفر والإكمال والإنتاج والتي تهدف إلى:

١- تحديد ماهية الموائع المنتجة وتحديد النسب الحجمية لها.

٢- قياس درجة حرارة وضغط المكمن.

٣- تحديد الصفات الخزنية والارتشاحية للمكمن.

٤- الحصول على العينات المناسبة لإجراء تحاليل إلى *(PVT)*.

٥- تحديد ماهية هندسة المكمن.

٦- تحديد الاتصال الهيدروديناميكي بين الآبار.

٧- تحديد تصريف الآبار.

٨- تحديد مدى تضرر الآبار.

٩- تحديد كفاءة إكمال الآبار.

١٠- تحديد أعمال التحسين ومدى كفاءتها.

فمهما كان الهدف من اختبار البئر، تعتبر البيانات التي نحصل عليها من الاختبار أساسية لتحليل وتحسين أدائية المكمن وللتنبؤ الموثوق به بتصريف المكمن، والتي تعتبر بدورها ضرورية لتطوير وإدارة المكمن بشكل أفضل. وفيما يلي طرق اختبار تصريف البئر الغازي:

٢-١-اختبار بئر الغاز الطبيعي حسب نظرية الحالة المستقرة: *(Steady- State Method)*

يتم اختبار تصريف البئر الغازي عند ثلاثة معدلات متتالية للتدفق على الأقل، وذلك بقياس معدلات التدفق وضغوط قاع البئر وذلك من خلال:

١- اختبار معدلات الجريان المتعاقبة .

٢- اختبار الفترات الزمنية المتساوية .

٣- اختبار الفترات الزمنية المتساوية(الاختبار المعدل)

تعتمد هذه الاختبارات على معادلة الجريان للحالة المستقرّة الزائفة، المعادلة (*1.70*) والتي يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2 = B.q_{sc} + F.q_{sc}^2 \qquad (2.1)$$

حيث أن:

$$B = \frac{1422T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}}{K_g.h}\left[\ln\left(\frac{0.472r_e}{r_w}\right)+S\right] \qquad (2.2)$$

$$F = \frac{1422T.\overline{\mu}_g.\overline{Z}}{K_g.h}D \qquad (2.3)$$

يعبر معامل الجريان اللادارسي *(F)* في معادلات الجريان عن تسارع وتباطؤ جزيئات المائع عند الارتشاح خلال الوسط المسامي مسببة قوى العطالة التي تحد من حركة جزيئاته، والذي يشير إليه المعاملين التاليين:

١- معامل السرعة (β):(*Velocity Coefficient*) ويعطى بالعلاقة التجريبية التالية:

$$\beta = \frac{2.3\times10^{10}}{K_g^{1.2}} \qquad (2.4)$$

٢- معامل الاضطراب (D): *(Turbulence Coefficient)* ويعطى بالعلاقة التالية:

$$D = \frac{2.22\times10^{-15}\gamma_g.K_g}{\overline{\mu}_g.h.r_w}\beta \qquad (2.5)$$

وبتعويض العلاقة (*2.4*) في العلاقة (*2.5*) نحصل على:

$$D = \frac{5.18\times10^{-5}\gamma_g}{\overline{\mu}_g.h.r_w.K_g^{0.2}} \qquad (2.6)$$

تختلف نفوذية المنطقة المجاورة للبئر عنها في عمق المكمن، و يمكن أن تكون بسبب تلوث الطبقة نتيجة لدخول سائل الحفر، مما يشكل منطقة ذات نفوذية ضعيفة حول جدران البئر، الأمر الذي يتطلب تطبيق فرق ضغط إضافي لإعطاء معدل تدفق معين، وكون أن امتداد هذه المنطقة الملوثة صغير جداً نسبيا حول جدران البئر فيعبر عنه بمعامل الظاهرة السطحية *(Skin Effect)* ويكون في هذه الحالة ذو قيمة موجبة، وبالمقابل عند إجراء معالجة جيدة وناجحة للبئر ستصبح المنطقة حول جدران البئر ذات نفوذية عالية، أعلى منها في عمق المكمن مما يتطلب فرق ضغط اقل لإعطاء معدل تدفق معين، ويأخذ في هذه الحالة قيمة سالبة.

تم التوصل تجريبياً إلى شكل آخر للمعادلة (*2.1*) كناتج لتحليل اختبار حوالي (*600*) بئر من قبل (*Shelhardt And Rawlins*) وهي التالية:

$$q_{sc} = C(\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2)^n \qquad (2.7)$$

والتي تمثل معادلة التصريف المستقر لبئر الغاز الطبيعي، وتعتبر كتقريب تجريبي مقبول .

لقد اعتقد سابقاً أن كل من (n) و(C) هي ثوابت وبتحديدها لمرة واحدة من تحليل اختبار بئر الغاز يمكن استعمالها للتنبؤ بتصريف البئر على المدى الطويل، وذلك بمجرد معرفة القيمة الحالية لمتوسط ضغط المكمن ($\overline{P}_R$) ، لكن استخدام هذا الاعتقاد سيؤدي إلى حدوث خطأ.

لقد بين *(Karter And all)* أن (n) تتغير ضمن مجال يتراوح بين *[0.5-1.0]*، وذلك اعتماداً على قيمة المركبة اللادارسي (Fq_{sc}^2) المعرّفة في المعادلة (*2.1*)، ففي الآبار التي يكون فيها الاضطراب ظاهراً تقترب قيمة (n) من (*0.5*)، وفي الآبار التي يهمل فيها الاضطراب تقترب قيمتها من الواحد، وان قيمة المعامل (C) تتناقص بمرور الزمن.

يتم رسم المنحني البياني الذي يمثل $\Delta(P^2) = (\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2)$ مقابل (q_{sc}) بإحداثيات لوغاريتمية، ويسمى المنحني الناتج بمنحني التصريف المستقر (*Stabilized Deliverability Curve*) والذي سيكون على شكل خط مستقيم بميل قيمته(*1/n*) وبعد معرفة قيمة(n) يتم حساب قيمة معامل التصريف (C) عند أية نقطة من المنحني في المعادلة (*2.7*) كما يلي:

$$C = \frac{q_{sc}}{(\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2)^n} \qquad (2.8)$$

وبعد تعيين قيمة معامل التصريف (C) والأس (n)، يمكن حساب معدل الجريان المقابل لأية قيمة من قيم (P_{wf})، وهناك حد شائع للمقارنة بين آبار الغاز وهو ما يسمى بأقصى معدل للجريان المفتوح (*Absolute Open Flow Potential (AOF)*) وهو معدل الجريان الذي يتواجد إذا ما وصلت قيمة ضغط قاع البئر الجرياني إلى القيمة *(14.73)* ويعطى بالمعادلة التالية :

$$AOF = C(\overline{P}_R^2)^n \qquad (2.9)$$

حيث يكون معدل الإنتاج المسموح به أو الإنتاجية المثالية مساوية لـ *(1/3 * AOF)*.*[10]*

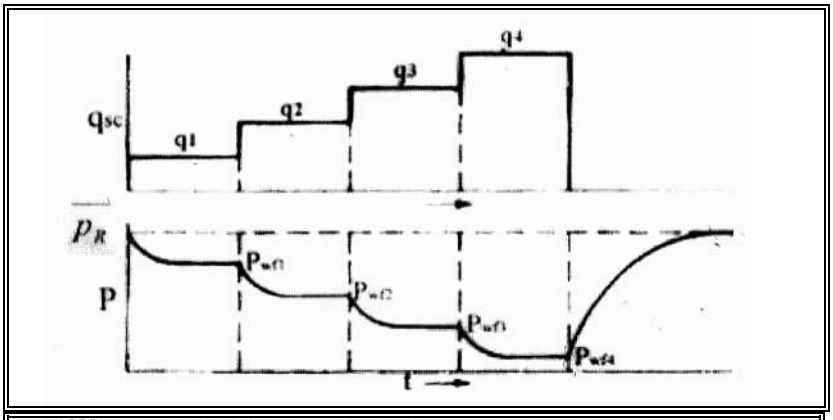
يمكننا أيضاً تمثيل المعادلة (*2.1*) بيانياً برسم $\frac{\Delta(P^2)}{q_{sc}}$ مقابل (q_{sc})على ورق بياني بإحداثيات ديكارتية وستكون هذه العلاقة خطية، وسيأخذ المنحني شكلاً مستقيماً يتقاطع مع محور العينات بنقطة تبعد عن مبدأ الإحداثيات مسافة مساوية لقيمة معامل جريان دارسي (B)، وميله بزاوية (α) عن محور السينات يساوي قيمة معامل التصريف اللادارسي (F)، أي أن $F = tg(\alpha)$ وبعد ذلك يمكن معرفة الخواص الخز نية للطبقة باستخدام المعادلات (*2.2*) و(*2.3*)

٢-١-١- اختبار معدلات الجريان المتعاقبة: (*Flow-After-Flow Testing*)

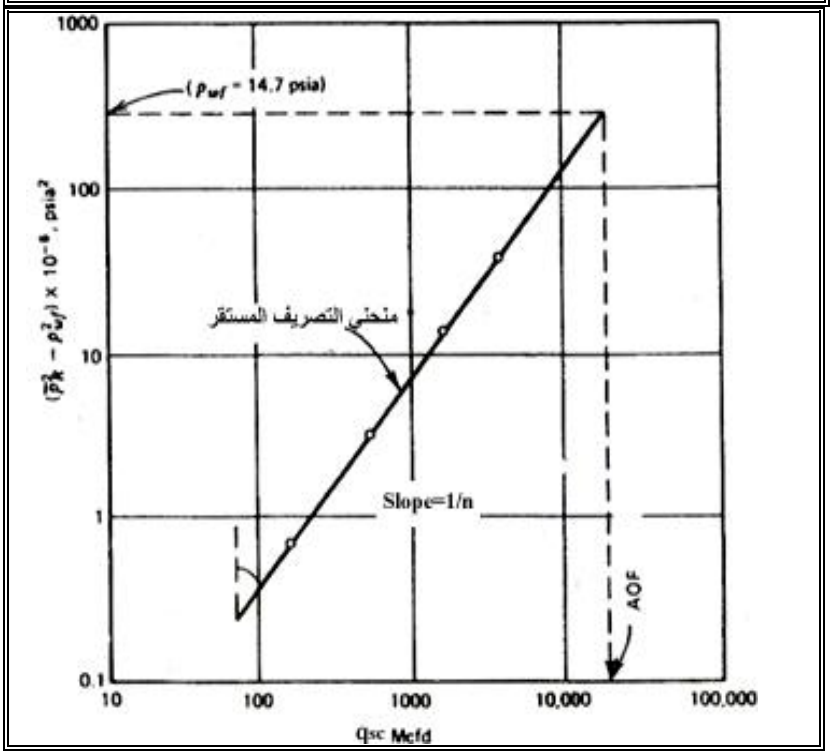
يبدأ اختبار معدلات الجريان المتعاقبة من حالة الإغلاق، ثم يفتح البئر للإنتاج بمعدل معين حتى الوصول إلى حالة الاستقرار لكلاً من معدل الجريان (q_{sc}) و ضغط قاع البئر الجرياني (P_{wf})،ويعتبر البئر مستقراً عندما تتساوى قراءتين متتاليتين للضغط خلال زمن قدره(*15*) دقيقة وبفرق لا يتجاوز (*0.1 Psia*)، وعند الوصول إلى حالة الاستقرار يتم قياس كلاً من (q_{sc}) و (P_{wf}) و التي بعدها يتعاقب تغيير المعدل زيادةً أو نقصاناً، وعادةً ما تؤخذ أربع معدلات، ولا تحدث فترات إغلاق بين المعدلات

المتعاقبة،الشكل *(2.1)*، وتختار أزمنة التدفق بشكل عشوائي أو يتم تنظيمها من قبل القائم بعملية الاختبار، و هذه الطريقة في الاختبار قابلة للتطبيق في التشكيلات ذات النفوذية العالية، والتي لا تحتاج إلى زمنٍ طويلٍ للوصول إلى حالة الاستقرار.

الشكل *(2.2)* يمثل رسما نموذجيا لبيانات اختبار معدلات الجريان المتعاقبة.



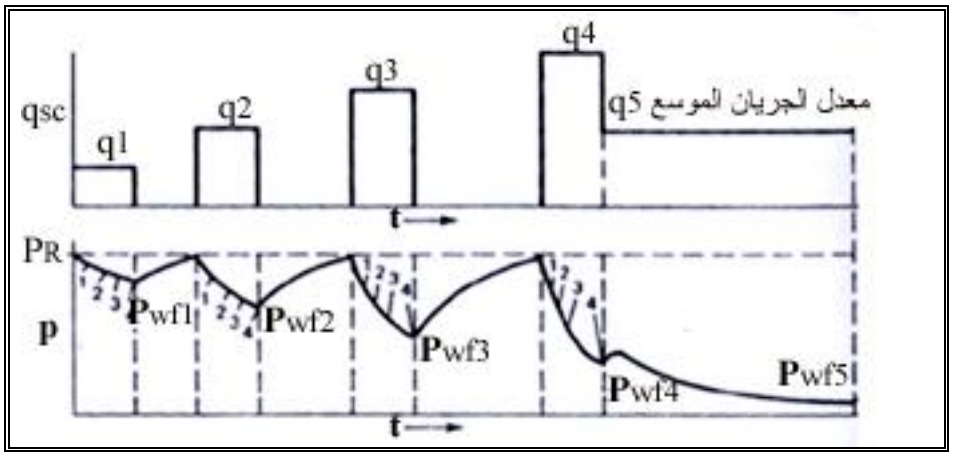
الشكل *(2.1)* تغيرات معدل الجريان والضغط مع الزمن لاختبار معدلات الجريان المتعاقبة



الشكل *(2.2)* يمثل قيم $\Delta(P^2)$ مقابل (q_{sc}) لاختبار معدلات الجريان المتعاقبة

٢-١-٢- اختبار الفترات الزمنية المتساوية: (*Isochronal Testing*)

يستند هذا الاختبار إلى النظرية التي تنص على أنه خلال الفترات الزمنية المتساوية للجريان، يتأثر ذات الحجم من المكمن بغض النظر عن قيمة معدل الجريان. وقد تم اقتراح هذا الاختبار كوسيلة لتحديد التصريف في الآبار القليلة الإنتاجية التي تتطلب فترة طويلة من الزمن للوصول إلى حالة الاستقرار، لكن يجب أن تتوفر لدينا نقطة واحدة على الأقل لحالة الجريان المستقر لكي يصبح بالإمكان تحديد معامل التصريف *(C)*.



الشكل *(2.3)* تغيرات معدل الجريان والضغط مع الزمن لاختبار الفترات الزمنية المتساوية.

يتضمن الأسلوب المتبع في إجراء اختبار الفترات الزمنية المتساوية ما يلي:

١- البدء عند حالة إغلاق البئر ثم فتح البئر على فالة ذات فتحة معينة و قياس كل من (q_{sc}) و (P_{wf}) عند فترات زمنية مختلفة لفتحة الفالة هذه.

٢- إغلاق البئر حتى ثبات الضغط عند قيمة الضغط الوسطي للمكمن $(\overline{P}_R)$.

٣- فتح البئر على فالة ذات فتحة أكبر و قياس كل من (q_{sc}) و (P_{wf}) عند ذات الفترات الزمنية في الخطوة(١) .

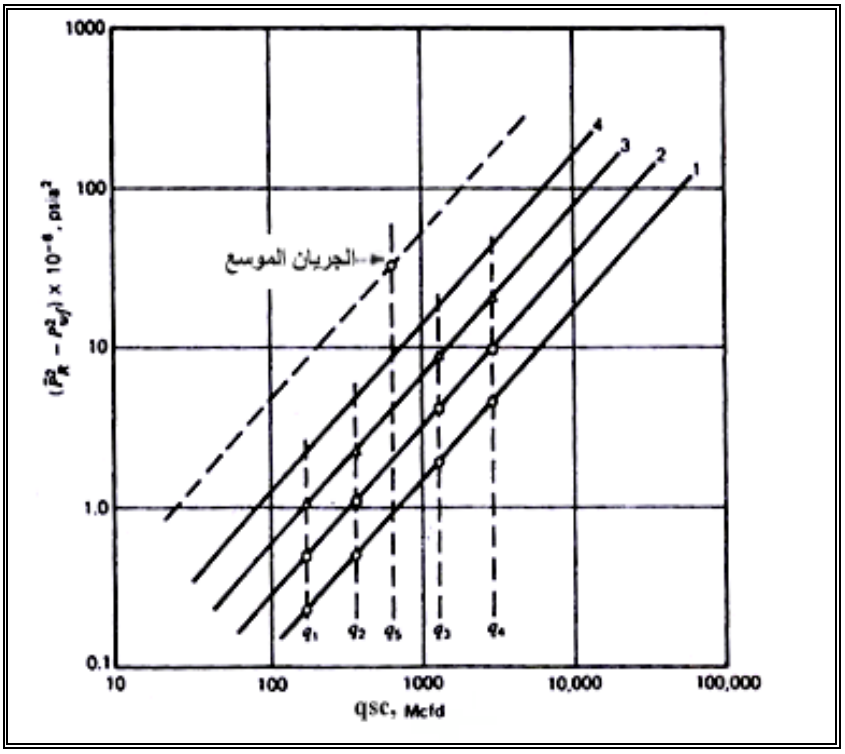
٤- إغلاق البئر حتى ثبات الضغط عند $(\overline{P}_R)$.

٥- تكرار الطريقة لعدة فالات (عادة أربعة).

٦- يستمر البئر بالتصريف عند أخر فالة حتى الوصول إلى حالة الاستقرار، والذي قد يتطلب عدة ساعات أو حتى أياماً.

يوضح الشكل(*2.3*) تغيرات معدل الجريان و الضغط مع الزمن لدى زيادة معدلات الجريان. وقد يستخدم الترتيب العكسي أيضاً أي باتجاه تخفيض معدلات الجريان. *[4]*

الخطوة التالية هي رسم أربعة منحنيات منفصلة، واحد لكل فترة جريان ولكل فالة تم عندها أخذ البيانات من خلال رسم $\left(\overline{P}_R{}^2 - P_{wf}{}^2\right)$ مقابل (q_{sc}) بإحداثيات لوغاريتمية، والتي منها سنحصل على أربعة خطوط مستقيمة، خطاً واحداً لكل فترة جريان، يسمح قياس ميل أياً من هذه الخطوط المتوازية بتحديد قيمة الأس *(n)*، ويتم تحديد قيمة معامل التصريف *(C)* باستخدام معدل الجريان المستقر (الموسع *Extended*) وذلك برسم خط مستقيم على ذات المخطط البياني يمر من النقطة المستقرة ويوازي الخطوط السابقة الذكر، الشكل *(2.4)*.

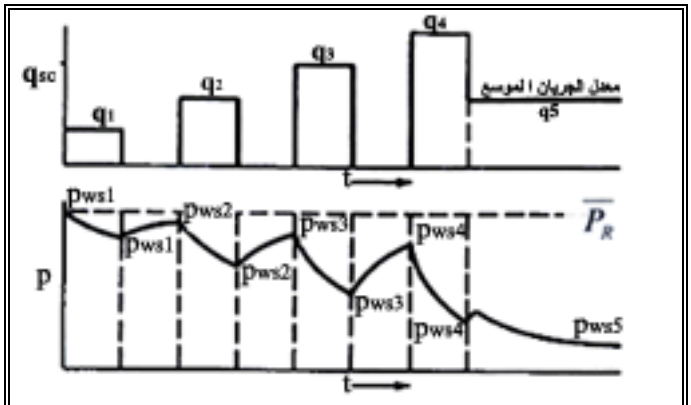


الشكل *(2.4)* يمثل قيم $\Delta(P^2)$ مقابل (q_{sc}) لاختبار الفترات الزمنية المتساوية

٢-١-٣- اختبار الفترات الزمنية المتساوية(الاختبار المعدل): (*Modified Isochronal Testing*)

أدخل هذا الأسلوب في الاختبار لتقليل الزمن الذي يحتاجه كل من اختبار الفترات الزمنية المتساوية و اختبار معدلات الجريان المتعاقبة، التي تمت مناقشتها سابقاً. تشبه طريقة هذا الاختبار طريقة اختبار الفترات الزمنية المتساوية، غير أن فترة الإغلاق عند كل معدل جريان ليست بالمدة الكافية التي تسمح للبئر بالعودة إلى متوسط ضغط المكمن $(\overline{P}_R)$، و يكون البئر في وضع الإغلاق لذات الفترة الزمنية التي سمح له بالجريان لكل فالة.

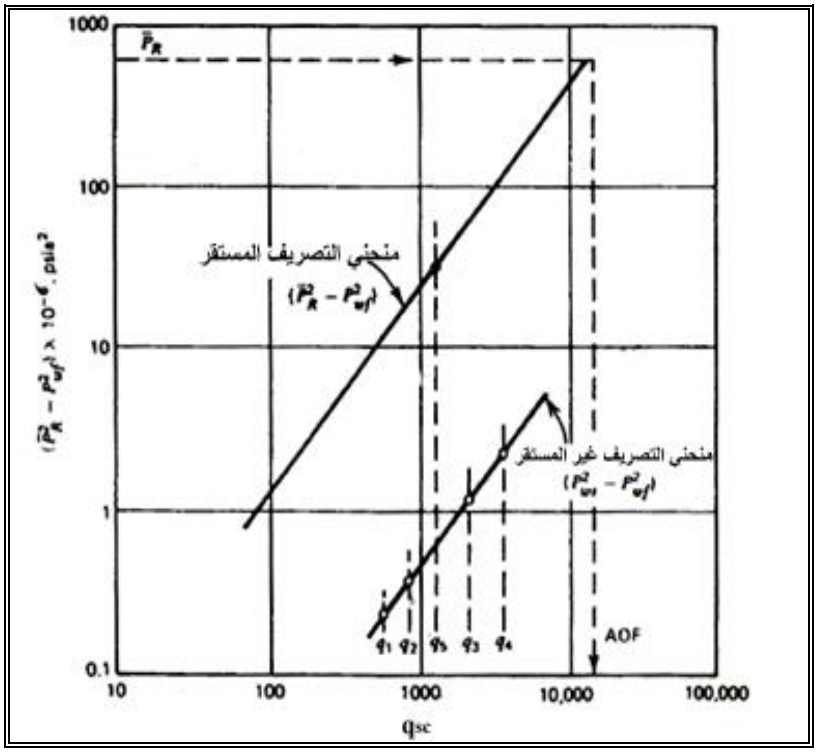
بعبارة أخرى، إن فترات الجريان و فترات الإغلاق جميعها متساوية، ونستعيض بالحساب عن $(\overline{P}_R)$ متوسط ضغط المكمن بضغط الإغلاق عند بداية كل فترة تدفق (P_{ws})، أي عند نهاية فترة الإغلاق وبدء التدفق، حيث يتم رسم $\left(P_{ws}{}^2 - P_{wf}{}^2\right)$ مقابل (q_{sc}) بإحداثيات لوغاريتمية، الشكل *(2.5)*. ولتحديد قيمة معامل التصريف (C) لا بد من فترة تدفق مستقرة(موسعة *Extended*)، وذلك لمعرفة قيمة $\left(\overline{P}_R{}^2 - P_{wf}{}^2\right)$ مقابل (q_{sc}) لهذه النقطة، حيث تمثل على ذات المخطط البياني، ثم يرسم خطاً مستقيماً يوازي المنحنى المرسوم السابق ذكره ماراً من هذه النقطة والذي يمثل منحني التصريف المستقر، الشكل *(2.6)*، يتم تحديد قيمة (n) من أي منحنى من المنحيين المذكورين، أما قيمة (C) فيتم تحديدها بأخذ



الشكل *(2.5)* الضغط ومعدل الإنتاج مع الزمن لاختبار الفترات الزمنية المتساوية(الاختبار المعدل)

نقطة على المنحنى المستقر و تحسب باستعمال المعادلة(*2.8*).

الشكل (*2.6*) يمثل قيم $\Delta(P^2)$ مقابل (q_{sc}) اختبار الفترات الزمنية المتساوية(الاختبار المعدل)



يجب عدم عمل هذه الاختبارات في الآبار الشقية والشقية المسامية على فالات كبيرة الأمر الذي سيؤدي إلى انخفاض كبير بالضغط مما قد يؤدي إلى إغلاق الشقوق وبالتالي انخفاض إنتاجية البئر.

٢-١-٤- زمن الاستقرار:

(The Stabilization Time)

تحتاج كافة طرق الاختبار المذكورة سابقا للتنبؤ بتصريف البئر الغازي أو لأدائية التدفق إلى اختبار واحد على الأقل يستمر لفترة كافية من الزمن للوصول إلى الاستقرار، ويمكن حساب الزمن اللازم للوصول إلى الاستقرار بشكل تقريبي من المعادلة التالية:.

$$t_s = \frac{380\phi.\overline{\mu}_g.\overline{C}_t.A}{K_g} \qquad (2.10)$$

حيث أن: $\overline{C}_t, \overline{\mu}_g$:مقدرة عند القيمة الوسطية للضغط في منطقة التصريف أي عند $(\overline{P}_R + P_{wf})/2$

أما بالنسبة لبئر يقع في مركز مكمن ذو شكل اسطواني يحسب من العلاقة التالية:.

$$t_s \approx 1000\frac{\phi.s_g.\mu_g.r_e^2}{K_g.\overline{P}_R} \qquad (2.11)$$

ويمكن أن يكون هذا الزمن كبيرا في المكامن ذات النفوذية الضعيفة، وبشكل خاص إذا كان هذا البئر يصرّف من مساحة كبيرة، توجد طريقة قدمها كل من (*Brar And Aziz*) للحصول على معادلة التصريف دون إجراء اختبار الاستقرار بالطريقة التالية:

يعبر عن معادلة الحالة المستقرة الزائفة لجريان الغاز كما يلي:

$$\Delta(P^2) = 2m\left[\log(\frac{0.472r_e}{r_w}) + \frac{S}{2.303}\right]q_{sc} + 0.869mDq_{sc}^2 \qquad (2.12)$$

حيث أن:
$$m = \frac{1637\overline{\mu}_g..\overline{Z}}{K_g.h} \qquad (2.13)$$

وللجريان الانتقالي (*Transient Flow*) هي:

$$\Delta(P^2) = m\left[\log(\frac{K_g.t}{\phi.\overline{\mu}_g.\overline{C}_t.r_w^2}) - 3.23 + 0.869S\right]q_{sc} + 0.869mD.q_{sc}^2 \qquad (2.14)$$

بمقارنة كل من المعادلتين *(2.14)*و*(2.12)* مع المعادلة (*1.69*) نحصل على:

$$B = 2m\left[\log\left(\frac{0.472r_e}{r_w}\right) + \frac{S}{2.303}\right] \qquad (2.15)$$

$$B_t = m\left[\log\left(\frac{K_g.t}{\phi.\overline{\mu}_g.\overline{C}_t.r_w^2}\right) - 3.23 + 0.869S\right] \qquad (2.16)$$

$$F = 0.869mD \qquad (2.17)$$

الهدف من هذه الطريقة هو تحديد كل من (B) و(F) للجريان المستقر، وبعد ذلك يمكن استخدام المعادلة (*1.70*) لحساب أدائية التدفق، ولتحديد كل من معامل الظاهرة السطحية(S) ومعامل الاضطراب (D) والنفوذية (K)، حيث تكتب المعادلة (*2.14*) بالشكل التالي:

$$\Delta(P^2)/q_{sc} = B_t + Fq_{sc} \qquad (2.18)$$

حيث أن: (B_t) و(F) تم تعريفها في المعادلتين *(2.16)* و(*2.17*) على الترتيب، إن قيمة (B_t) ستزداد مع الزمن حتى الوصول إلى الجريان المستقر.

تحدد قيم (B_t)و(F) بإحدى الطريقتين التاليتين:

١- الطريقة الأولى:من رسم ($\Delta(P^2)/q_{sc}$) مقابل (q_{sc}) بإحداثيات ديكارتية سنحصل على خطوط مستقيمة متوازية متتالية بميل ثابت عن محور السينات مساوياً (F) و تتقاطع مع محور العينات بقيم مساوية لقيم (B_t) لكل فترة جريان .وتكتب المعادلة (*2.16*) بالشكل التالي:

$$B_t = m\left[\log\left(\frac{k_g}{\phi.\overline{\mu}_g.\overline{C}_t.r_w^2}\right) - 3.230.89\times S\right] + m\log(t) \qquad (2.19)$$

لذلك فان رسم (B_t) مقابل (t) بمقياس نصف لوغاريتمي (*Semi-Log*) سيعطي خطا مستقيما بميل (m) وبتقاطع عند ($t=1heur$) يساوي إلى (B_{t1})

٢- الطريقة الثانية:باستخدام طريقة المربع الأصغر *(Least Square)*من الاختبارات الانتقالية كما يلي:

$$B_t = \frac{\sum\frac{\Delta(P^2)}{q_{sc}}\sum q_{sc}^2 - \sum q_{sc}\sum\Delta(P^2)}{N\sum q_{sc}^2 - (\sum q_{sc})^2} \qquad (2.20)$$

$$F = \frac{N\sum\Delta(P^2) - \sum q_{sc}\sum\frac{\Delta(P^2)}{q_{sc}}}{N\sum q_{sc}^2 - (\sum q_{sc})^2} \qquad (2.21)$$

حيث أن: N = عدد القياسات

يتم تحليل اختبار الفترات الزمنية المتساوية بطريقة (*Brar And Aziz*) على النحو التالي:

١- يحدد (B_t) و(F) من الاختبارات الانتقالية لعدة فترات جريان (*Flow Times*) باستخدام إحدى الطريقتين المذكورتين أعلاه .

٢- ترسم (B_t) مقابل (t) بإحداثيات لوغاريتمية لتحديد كل من (m) و(B_{t1}) .

٣- باستخدام قيمة (m) تحسب قيمة (K) من المعادلة (*2.13*) .

٤- تحل المعادلة (*2.16*) لإيجاد قيمة (S)، باستخدام قيم (m) و(k) و(B_{t1}) .

٥- تحسب قيمة (B) للجريان المستقر باستخدام المعادلة (*2.15*) .

٦- باستخدام قيمة (B) من الخطوة (١) تحسب قيمة(D) باستخدام المعادلة (*2.17*) .

٧- تعوض قيم (B) و(F) الناتجة عند الجريان المستقر في المعادلة (*2.1*) لنحصل على معادلة التصريف المستقر للبئر .

٢-٢- اختبار بئر الغاز الطبيعي حسب نظرية الحالة غير المستقرة: *(Unsteady-State Method)*

يسمى هذا النوع من الاختبارات بالاختبارات الانتقالية (*Transient Testes*)، والتي يمكن الحصول منها على معلومات جيدة عن المكمن الغازي مثل النفوذية (K) ومعامل الظاهرة السطحية (S) ومعامل الاضطراب (D) ومتوسط ضغط المكمن ($\overline{P_R}$). وإذا استمر الاختبار حتى الوصول إلى جريان الحالة المستقرة الزائفة فيمكن عندئذ تقدير حجم المكمن، وهذا ما يسمى عادة باختبار حدود المكمن (*Reservoir Limit Test*) .

إن أكثر الاختبارات الانتقالية شيوعاً هي:

١- اختبار انخفاض الضغط .

٢- اختبار استعادة الضغط .

٢-٢-١- اختبار انخفاض الضغط: (*Pressure Drawdown Test*)

يعتمد مبدأ هذا الاختبار على السماح للبئر بالإنتاج بمعدل ثابت بعد أن كان مغلقاً وقياس ضغط قاع البئر الجريـاني كتابع للزمن، الشكل (*2.7-a*) ، وبعدها يتم رسم (p_{wf}^2) مقابل *Log(t)*، والذي سيعطي خطاً مستقيماً بميل يساوي (m)،الشكل *(2-7-b)* حيث أن:

$$m = \frac{1637 q_{sc} T . \overline{\mu}_g . \overline{Z}}{k_g . h} \qquad (2.22)$$

بعد معرفة قيمة الميل (m) يتم حساب النفوذية (k_g) وسعة الجريان ($k_g.h$) من المعادلة (*2.22*)، أما قيمة معامل الظاهرة السطحية الكلي (S') فيتم حسابها من المعادلة التالية:

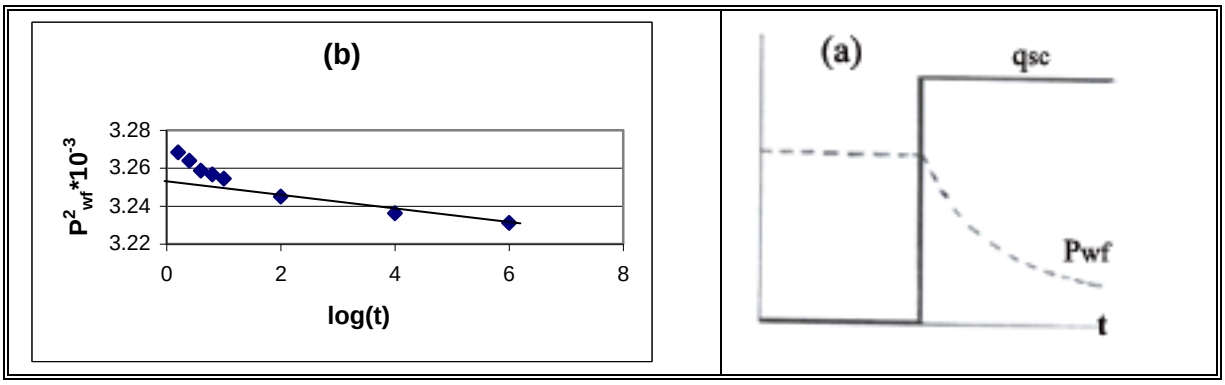
$$S' = 1.151 \left[\frac{P_i^2 - P_{1hr}^2}{m} - \log \frac{k_g}{\phi . \overline{\mu}_g . \overline{C}_t . r_w^2} + 3.23 \right] \qquad (2.23)$$

نحصل على قيمة P_{1hr} من تقاطع الخط المستقيم مع محور الضغط، و بعد معرفة قيمة (S') يتم حساب كل من (S) و(D) إما بإجراء اختبارين لانخفاض الضغط عند قيمتين مختلفتين لمعدل الجريان ، وبعدها يحسبان من المعادلتين التاليتين:

$$S_1' = S + D q_{sc1} \qquad (2.24)$$

$$S_2' = S + Dq_{sc2} \qquad (2.25)$$

أومن الاختبار الأساسي بمفرده حيث تحسب قيمة (D) من المعادلة (2.6)، وتحسب قيمة (S) من المعادلة (2.24) .

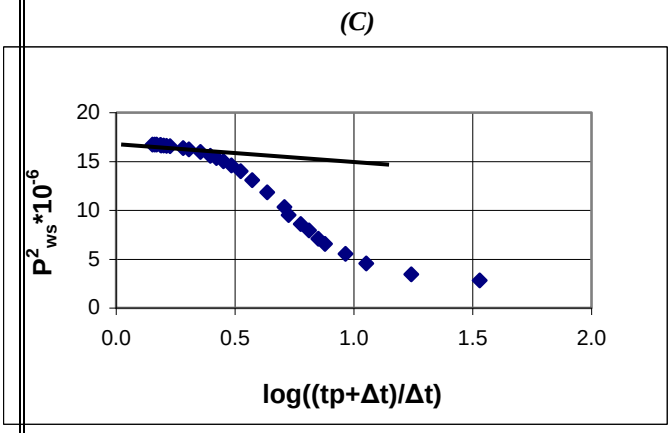


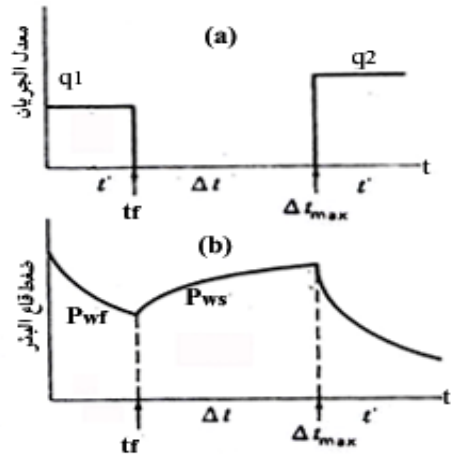
الشكل (2.7) -(a)مخطط ضغط قاع لبئر ومعدل الجريان لاختبار انخفاض الضغط

-(b) يمثل P_{wf}^2 مقابل $log(t)$

٢-٢-٢- اختبار استعادة الضغط : (*Pressure Buildup Test*)

يعتبر هذا الاختبار من أبسط الاختبارات التي يمكن إجراؤها على البئر الغازي، و يتم بجعل البئر ينتج بمعدل ثابت (q_{sc}) لفترة من الزمن، ثم إغلاق البئر في اللحظة $(\Delta t = 0)$ و قياس الزيادة في ضغط قاع البئر بالعلاقة مع زمن الإغلاق(Δt)، الشكل$(2.8\text{-}a)$، و يجب أن تكون استعادة الضغط في بئر الغاز مصحوبة بفترتي تدفق منفصلتين الأولى قبل استعادة الضغط والثانية بعده.





الشكل (2.8)،(a) مخطط معدل الجريان مع الزمن–(b) مخطط ضغط قاع البئر مع الزمن

– (c) يمثل $p_{ws}{}^2$ مقابل $Log\dfrac{t_p+\Delta t}{\Delta t}$

ابتكر هذا الاختبار من قبل هورنر$(Horner)$ و تعتبر طريقة تحليله هي الأفضل، حيث نحصل على منحني هورنر بتمثيل ($p_{ws}{}^2$) مقابل($\dfrac{t_p+\Delta t}{\Delta t}$) بإحداثيات نصف لوغاريتمية و الذي سيعطي خطاً

مستقيماً بميل يساوي (m)،الشكل *(2-8-c)*.

معادلة هذا الخط هي: $$P_{ws}^2 = P_i^2 - m.\log\frac{t_P + \Delta t}{\Delta t} \qquad (2.26)$$

ميله يساوي $$m = \frac{1637 q_{sc}.T.\bar{\mu}_g.\bar{Z}}{K_g.h} \qquad (2.27)$$

سعة الجريان تساوي $$K_g.h = \frac{1637 q_{sc}.T.\bar{\mu}_g.\bar{Z}}{m} \qquad (2.28)$$

واعتماداً على هذه المعادلات يتم حساب كل من معامل ناقلية الطبقة $(K_g.h/\mu_g)$ والنفوذية (K_g) وسعة الجريان $(K_g.h)$، أما معامل الظاهرة السطحية الكلي المقابل للمعدل q_{sc} فيحسب من العلاقة التالية:

$$S' = 1.151 \left[\frac{P_{1hr}^{\ 2} - P_{wf}^{\ 2}}{m} - \log\frac{K_g}{\phi.\bar{\mu}_g.\bar{C}_t.r_w^{\ 2}} + 3.23\right] \qquad (2.29)$$

حيث تقرأ قيمة P_{1hr} من امتداد الخط المستقيم عند الزمن$(\Delta t = 1)$ ، (P_{wf}) هو ضغط جريان قعر البئر عند الإغلاق $(\Delta t = 0)$ و تكون النفوذية في هذه المعادلة بواحدات (md). *[4]*

لتعيين قيمة متوسط ضغط المكمن $(\bar{P}_R)$ نمدد الخط المذكور سابقاً حتى يقطع محور الضغط، و هذه القيمة يمكن اعتبارها بتقريب مقبول مساوية لمربع متوسط ضغط المكمن. *[11]*

لتحديد معامل الاضطراب *(D)* نحسب معامل الظاهرة السطحية الكلي (S') عند فترتي التدفق قبل وبعد استعادة الضغط أي:

$$S_1' = S + Dq_{sc1} \qquad (2.30)$$

$$S_2' = S + Dq_{sc2} \qquad (2.31)$$

والتي منها نحسب قيمة معامل الظاهرة السطحية (S) و معامل الاضطراب (D) أو يحسب (D) من المعادلة (2.6) . كما يمكن حساب القيمة الصحيحة لمعامل اللادارسي (F) من المعادلة (2.3) و ذلك بعد معرفة قيمة (D).

٢-٣- التحليل باستخدام الضغط الزائف للغاز الحقيقي:$(Real\ Gas\ Pseudo\ Pressure\ Analysis)$

عند اشتقاق معادلة جريان الغاز المكمني عند التدفق الشعاعي للغاز الحقيقي بدلالة $\Delta(p^2)$ المعادلة (1.59) استخدم ضمن المراحل التكامل التالي:

$$2\int_{p^o}^{p}\frac{PdP}{\mu_g.Z} \qquad (2.32)$$

باعتبار أن (μ_g) و (Z) تابعتان للضغط، لذلك يجب شمولها في عملية التكامل، و لتبسيط الدراسات السابقة، وذلك عند اشتقاق معادلات الجريان بدلالة $\Delta(P^2)$، تم الافتراض أن (μ_g) و (Z) يمكن اعتبارهما ثابتتين عند درجة حرارة المكمن و متوسط الضغط في منطقة التصريف و الذي سينتج عنه ظهور قيمة متوسطة لكل من(μ_g) و (Z) أي $(\bar{\mu}_g)$ و $(\bar{Z})$ في كل معادلات الجريان مقدرة عند القيمة الوسطية للضغط في منطقة التصريف أي عند: $\left(\frac{P_R + P_{wf}}{2}\right)$

بالنسبة للمكامن ذات الضغط المنخفض المعتدل $(\overline{P}_R \le 2500psia)$ فإن هذا الافتراض يعتبر كافياً، و لكن في المجالات الأخرى للضغط فإن حاصل الجداء $(\frac{1}{\mu_g.Z})$ سوف لن يكون علاقة خطية مع الضغط.

ومن هنا قدمت طريقة أكثر دقة لتحديد تأثيرات (μ_g) و (Z) من قبل *(AL-Hossainy,Ramey And Crawford)* ، حيث عرّفوا التكامل في المعادلة (*2.32*) بالضغط الزائف للغاز الحقيقي *m(P)* أو ما يسمى أيضاً بجهد الغاز الحقيقي والذي يعطى بالمعادلة التالية:

$$m(P)=2\int_{P^o}^{P}\frac{P}{\mu_g.Z}dP \qquad (2.33)$$

حدود التكامل هي بين الضغط الأساسي (p^o) و الضغط الحالي *(P)*.

و بالتالي يمكن أن نكتب:

$$m(\overline{P_R})-m(P_{wf})=2\int_{P^o}^{\overline{P}_R}\frac{PdP}{\mu_g.Z}-2\int_{P^o}^{P_{wf}}\frac{PdP}{\mu_g.Z}=2\int_{P_{wf}}^{\overline{P}_R}\frac{PdP}{\mu_g.Z} \qquad (2.34)$$

إن كافة المؤشرات في تكامل المعادلة *(2.33)* هي ذاتها تابعة للضغط و يمكن الحصول عليها مباشرة من تحاليل *(PVT)* للغاز عند درجة حرارة المكمن أو فقط من معرفة الكثافة النسبية للغاز و من العلاقة القياسية المتبادلة مع (μ_g) و(Z) يمكن حسابها أيضاً بدرجة حرارة المكمن.

يمكن تحويل كافة المعادلات التي تم اشتقاقها سابقا من التحليل الخاص بمربع الضغط $\Delta(P^2)$ إلى التحليل باستخدام الضغط الزائف *m(P)* و ذلك باستبدال مربعات الضغط بحدود الضغط الزائف وحذف حاصل الجداء $(\overline{\mu}_g.\overline{Z})$من المعادلة، حيث أن $(\overline{\mu}_g.\overline{Z})$ قد تم تضمينها في عبارة الضغط الزائف للغاز الحقيقي المعادلة *(2.33)* وعلى سبيل المثال المعادلة *(2.1)* ستصبح ...

$$m(\overline{P}_R)-m(P_{wf})=Bq_{sc}+Fq_{sc}^2 \qquad (2.35)$$

حيث أن المعادلات *(2.2)* أو *(2.3)* ستصبح على التوالي: .

$$B=\frac{1422T}{K_g.h}\left[\ln\left(\frac{0.472r_e}{r_w}\right)+S\right] \qquad (2.36)$$

$$F=\frac{1422T}{K_g.h}D \qquad (2.37)$$

الجدول (*2.1*) يبين خلاصة المعادلات باستخدام الصيغة *Δ(P²)* وتلك المقابلة لها باستخدام الصيغة *m(p)* المستعملة .

إن معادلة الانتشارية لحالة الجريان غير المستقر المعادلة (*1.58*) ستصبح على الشكل التالي:

$$\frac{\partial^2 m(P)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial m(P)}{\partial r}=\frac{\phi.\mu_g.C_t}{K_g}\frac{\partial m(P)}{\partial t} \qquad (2.38)$$

نلاحظ أن هذه المعادلة خطية من ناحية *m(p)*، باستثناء الحد $(\frac{\phi.\mu_g.C_t}{K_g})$ لا يزال تابعاً للضغط (وبالتالي تابعاً للضغط الزائف)، تبقى هذه المعادلة غير خطية جزئياً، وغالباً من المسموح به التعامل

معها كمعادلة خطية، ولكن يمكن تحويلها إلى خطية بإضافة تعريف الزمن الزائف (*Pseudotime*) والذي قدّم من قبل (*Agarwal*)، وطريقة استخدامه شرحت من قبل (*Holditch And Lee*) عام (*1982*)، حيث عرّف (*Agarwal*) الزمن الزائف كما يلي:

$$t_{pseudo} = \int_0^t \frac{1}{\mu_g . C_t} dt = \int_{P^o}^{P} \frac{(dt/dp)dp}{\mu_g . C_t} \qquad (2.39)$$

نلاحظ من هذه المعادلة أنه لن يكون الزمن هو واحدة قياس الزمن الزائف، لذلك توجد بعض الصعوبة بالتعامل معه عند رسم المنحنيات البيانية ودراستها، كما نلاحظ من المعادلات (*2.33*) و(*2.39*) انه إذا كان الحد ($\mu_g.Z$) ثابت، عندئذ يصبح الضغط الزائف*m(P)* مشابهاً لمربع الضغط ($\Delta(P^2)$ والزمن الزائف(t_{pseudo}) يصبح مشابهاً للزمن الحقيقي(t).

نلاحظ أيضاً أن الضغط الزائف ليس له واحدة الضغط، وذلك كما يظهر من المعادلة(*2.33*).

ولهذا تم إدخال صيغة جديدة للضغط والزمن الزائفين من قبل (*Ramey، Meunier And Kabir*) عام (*1987*)، هذه التوابع الزائفة المعدّلة الجديدة لها واحدات الضغط والزمن ذاتها وتعطى بالمعادلات التالية:

$$P_{pn} = P_i + \frac{\mu_{gi}.Z_i}{P_i} \int_{P_i}^{P} \frac{P}{\mu_g . Z} dp \qquad (2.40)$$

$$t_{pn} = \mu_{gi}.C_i \int_0^t \frac{1}{\mu_g . C_{ti}} dt \qquad (2.41)$$

لحساب قيم الضغوط الزائفة أو الزائفة المعدّلة من مجموعة قراءات الضغط يجب إجراء عملية تكامل عددي للمعادلة *(2.33)* عند حساب الضغوط الزائفة، وإجراء تكامل عددي للمعادلة *(2.40)* عند حساب الضغوط الزائفة المعدّلة، والذي يمكن القيام به على مراحل، موضحة بالجدول رقم (*2.2*) عند حساب الضغوط الزائفة وبالجدول رقم (*2.3*) عند حساب الضغوط الزائفة المعدلة، والذي يمكن القيام به بشكل أفضل باستخدام الحاسوب، حيث أن التكامل العددي للمعادلات (*2.32*) و(*2.39*) يستعمل قاعدة شبه المنحرف كما يلي:

$$m(P) = 2\sum_{i=2}^{n} \frac{1}{2} \left[\left(\frac{P}{\mu_g . Z} \right)_{i-1} + \left(\frac{P}{\mu_g . Z} \right)_i \right] (P_i - P_{i-1}) \qquad (2.42)$$

أو

$$m(P) = 2\sum_{i=2}^{n} \left(\frac{\overline{P}}{\mu_g . Z} \right) \Delta P \qquad (2.43)$$

إن كافة المعادلات المستخدمة لتحليل بئر الغاز يمكن الحصول عليها من المعادلات المستخدمة في تحليل اختبار بئر النفط باستبدال الضغط *(P)* بـ *m(P)* والزمن *(t)* بـ *(t_{Pseudo})*.

يتطلب استخدام أسلوب الضغط الزائف*m(P)* أو الضغط الزائف المعدّل في التحليل إعداد جدول أو مخطط بياني لقيم *m(P)* أو (P_{pn}) المقابلة لضغط الغاز *(P)* المطلوب عند درجة حرارة المكمن،وبعدها يتم تمثيل قيم *m(P)* أو (P_{pn}) مقابل *(P)* على إحداثيات ديكارتية كما يظهر في الشكلين (*2.9*) و(*2.10*) للقيم المبينة في الجدولين (*2.2*) و(*2.3*) على الترتيب .

من المفترض أن تكون هذه المنحنيات خطية عند قيم الضغوط الأعلى من (*2800 Psia*)، والمنحني الناتج يجب الاحتفاظ به من اجل استعماله لطيلة عمر المكمن، حيث يمكن من خلاله التحويل من الضغط الحقيقي إلى الضغط الزائف وبالعكس .

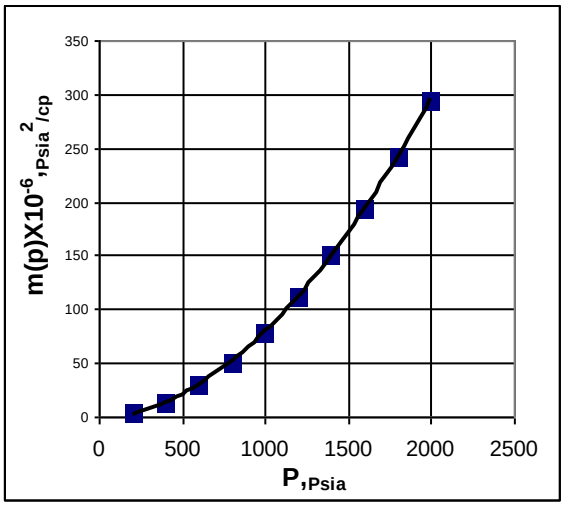
الجدول *(2.2)* حساب الضغط الزائف للغاز الحقيقي

$P, Psia$	μ, cp	Z	ΔP	$\frac{P}{\mu_g.Z}$	$\frac{\overline{P}}{\mu_g.Z}$	$m(p)=\sum\frac{2\overline{P}}{\mu_g.Z}\Delta P$	$m(p)\times10^{-6}$ $Psia^2/cp$
14.7	0.01198	0.9987		1228.642			
200	0.01235	0.9839	185	16459.33	8843.9847	3272274.35	3.27758
400	0.01277	0.9686	200	32338.85	24399.091	9759636.29	13.0372
600	0.01319	0.9544	200	47662.41	40000.634	16000253.4	29.0375
800	0.01362	0.9414	200	62393.4	55027.909	22011163.5	51.0486
1000	0.01405	0.9296	200	76564.52	69478.962	27791584.8	78.8402
1200	0.01451	0.9194	200	89951.69	83258.105	33303242.2	112.143
1400	0.01496	0.9107	200	102759.3	96355.492	38542196.8	150.686
1600	0.01542	0.9038	200	114805.7	108782.47	43512989	194.199
1800	0.01589	0.8986	200	126061.4	120433.54	48173414.5	242.372
2000	0.01636	0.8953	200	136545.7	131303.57	52521429.2	294.893

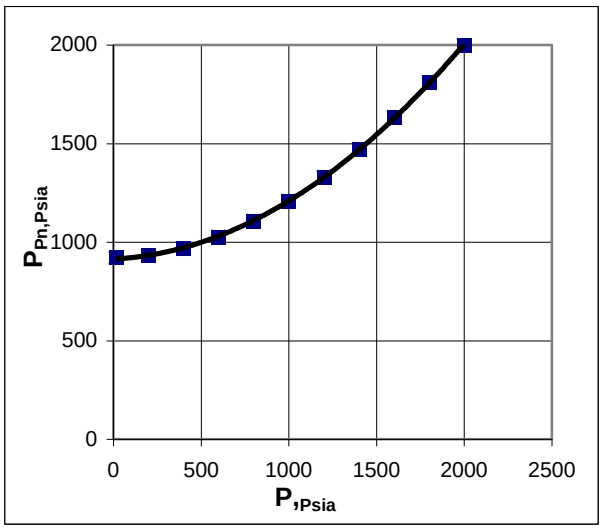
الجدول *(2.3)* حساب الضغط الزائف المعدّل للغاز الحقيقي

$P, Psia$	μ, cp	Z	ΔP	$\frac{P}{\mu_g.Z}$	$\frac{\overline{P}}{\mu_g.Z}$	$\frac{\overline{P}}{\mu_g.Z}\Delta P$	$\int_{P_i}^{P}\frac{P.dP}{\mu_g.Z}$	$P_{Pn}, Psia$
14.7	0.01198	0.9987	-185	1228.642	8843.985	-1636137.2	-1.47E+08	920.1852
200	0.01235	0.9839	-200	16459.33	24399.09	-4879818.1	-1.46E+08	932.1676
400	0.01277	0.9686	-200	32338.85	40000.63	-8000126.7	-1.41E+08	967.9052
600	0.01319	0.9544	-200	47662.41	55027.91	-11005582	-1.33E+08	1026.495
800	0.01362	0.9414	-200	62393.4	69478.96	-13895792	-1.22E+08	1107.095
1000	0.01405	0.9296	-200	76564.52	83258.11	-16651621	-1.08E+08	1208.861
1200	0.01451	0.9194	-200	89951.69	96355.49	-19271098	-91375015	1330.81
1400	0.01496	0.9107	-200	102759.3	108782.5	-21756495	-72103916	1471.943
1600	0.01542	0.9038	-200	114805.7	120433.5	-24086707	-50347422	1631.278
1800	0.01589	0.8986	-200	126061.4	131303.6	-26260715	-26260715	1807.678
2000	0.01636	0.8953		136545.7				2000

الجدول *(2.1)* خلاصة المعادلات باستخدام الصيغة $\Delta(P^2)$ وما يقابلها باستخدام الصيغة *m(p)*



الشكل*(2.9)* يمثل $m(P)$ مقابل *(P)*



الشكل*(2.10)* يمثل (P_{Pn}) مقابل *(P)*

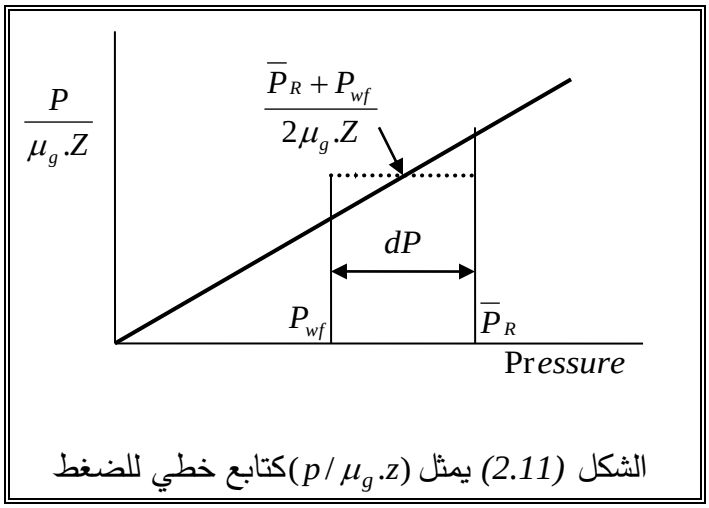
المعادلة	باستخدام الصيغة $\Delta(p^2)$	باستخدام الضغط الزائف $m(p)$
الحالة المستقرة	$q_{sc}=\frac{703\times10^{-6}K_g.h(p_e^2-p_w^2)}{T\overline{\mu_g}.\overline{Z}.\ln(r_e/r_w)}$	$q_{sc}=\frac{703\times10^{-6}K_g.h(m(p_e)-m(p_w))}{T.\ln(r_e/r_w)}$
الحالة غير المستقرة	$\frac{\partial^2 p^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial p^2}{\partial r}=\frac{\phi.\mu_g.c_t}{K_g}\frac{\partial p^2}{\partial t}$ $\frac{\partial \Delta P_D}{\partial r_D^2}+\frac{1}{r_D}\frac{\partial \Delta P_D}{\partial r_D}=\frac{\partial \Delta P_D}{\partial t_D}$ $t_D=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi.\overline{\mu_g}.\overline{c_t}.r^2}$ $t_{Dw}=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi.\overline{\mu_g}.\overline{c_t}.r_w^2}$ $t_{De}=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi.\overline{\mu_g}.\overline{c_t}.r_e^2}$ $t_{DA}=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi.\overline{\mu_g}.\overline{c_t}.A}$ $q_D=\frac{1422Tq_{sc}\overline{Z}.\overline{\mu_g}}{K_g.h.p_i^2}$ $p_D=\frac{p^2}{p_i^2 q_D}$ $\Delta p_D=\frac{p_i^2-p^2}{p_i^2 q_D}$	$\frac{\partial^2 m(p)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial m(p)}{\partial r}=\frac{\phi.\mu_g.C_t}{K_g}\frac{\partial m(p)}{\partial t}$ $\frac{\partial \Delta m(P)_D}{\partial r_D^2}+\frac{1}{r_D}\frac{\partial \Delta m(P)_D}{\partial r_D}=\frac{\partial \Delta m(P)_D}{\partial t_D}$ $t_D=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi\mu_{gi}.C_{ti}.r^2}$ $t_{Dw}=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi\mu_{gi}.C_{ti}.r_w^2}$ $t_{De}=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi\mu_{gi}.C_{ti}.r_e^2}$ $t_{DA}=\frac{2.64\times10^{-4}K_g.t}{\phi\mu_{gi}.C_{ti}.A}$ $q_D=\frac{1422Tq_{sc}}{K_g.h.m(p_i)}$ $m(p)_D=\frac{m(p)}{m(p_i).q_D}$ $\Delta m(p)_D=\frac{m(p_i)-m(p)}{m(p_i).q_D}$
الحالة المستقرة الزائفة	$\overline{P}_R^2-P_{wf}^2=B.q_{sc}+F.q_{sc}^2$ $B=\frac{1422T\overline{\mu_g}.\overline{Z}}{K_g.h}\left[\ln\left(\frac{0.472r_e}{r_w}\right)+S\right]$ $F=\frac{1422T\overline{\mu_g}.\overline{Z}}{K_g.h}D$ $q_{sc}=\frac{703\times10^{-6}K_g.h(\overline{P}_R^2-P_{wf}^2)}{T.\overline{\mu_g}.\overline{Z}.[\ln(0.472r_e/r_w)+S+Dq_{sc}]}$	$m(\overline{p_R})-m(p_{wf})=B.q_{sc}+F.q_{sc}^2$ $B=\frac{1422T}{K_g.h}\left[\ln\left(\frac{0.472r_e}{r_w}\right)+S\right]$ $F=\frac{1422T}{K_g.h}D$ $q_{sc}=\frac{703\times10^{-6}K_g.h(m(\overline{p_R})-m(p_{wf})}{T[\ln(0.472r_e/r_w)+S+Dq_{sc}]}$
اختبار انخفاض الضغط	تمثيل بياني (p_{wf}^2) مقابل $Log(t)$ $S'=1.151\left[\frac{p_i^2-p_{1hr}^2}{m}-\log\frac{K_g}{\phi\overline{\mu_g}.\overline{C_t}r_w^2}+3.23\right]$	تمثيل بياني $(m(p_{wf}))$ مقابل $Log(t)$ $S'=1.151\left[\frac{m(p_i)-m(p_{1hr})}{m}-\log\frac{K_g}{\phi.\mu_{gi}.c_{ti}r_w^2}+3.23\right]$
اختبار استعادة الضغط	تمثيل بياني (p_{ws}^2) مقابل $\log(\frac{t_p+\Delta t}{\Delta t})$ $S'=1.151\left[\frac{p_{1hr}^2-p_{wf}^2}{m}-\log\frac{K_g}{\phi.\overline{\mu_g}.\overline{c_t}r_w^2}+3.23\right]$	تمثيل بياني (p_{ws}^2) مقابل $\log(\frac{t_p+\Delta t}{\Delta t})$ $S'=1.151\left[\frac{m(p_{1hr}-m(p_{wf})}{m}-\log\frac{K_g}{\phi.\mu_{gi}.c_{ti}r_w^2}+3.23\right]$

٢-٤- مقارنة بين تحليل اختبار بئر الغاز الطبيعي باستخدام طريقة مربع الضغط، الصيغة $\Delta(P^2)$، و استخدام طريقة الضغط الزائف للغاز الحقيقي $m(P)$:

كتب الكثير عن الشروط التي عندها نحصل على ذات النتائج من التحليل باستخدام كل من طريقة $\Delta(P^2)$ وطريقة $m(P)$، وتتلخص النتائج من المقارنة المباشرة بين المعادلتين التاليتين :

$$\bar{P}_R^2 - P_{wf}^2 = \frac{1422.q_{sc}.\bar{\mu}_g.\bar{Z}.T}{K_g.h}[(\ln\frac{0.472.r_e}{r_w}) + S]$$

$$m(\bar{P}) - m(P_{wf}) = \frac{1422.q_{sc}.T}{K_g.h}[(\ln\frac{0.472.r_e}{r_w}) + S]$$



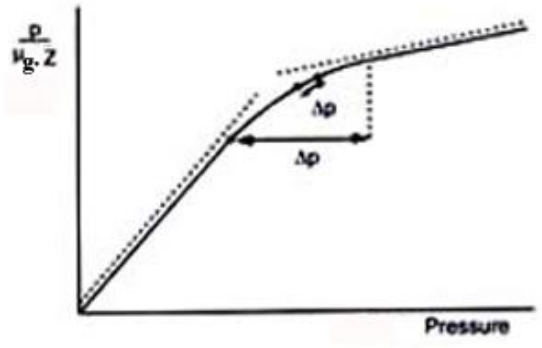
الشكل *(2.11)* يمثل $(p/\mu_g.z)$كتابع خطي للضغط

نلاحظ أننا نحصل من هاتين المعادلتين على ذات النتائج عندما يكون:

$$\frac{\bar{P}_R^2 - P_{wf}^2}{\bar{\mu}_g.\bar{Z}} = m(\bar{P}_R) - m(P_{wf}) \quad \text{أو}$$

$$\frac{(\bar{P}_R + P_{wf})(\bar{P}_R - P_{wf})}{2.\bar{\mu}_g.\bar{Z}} = \int_{P_{wf}}^{\bar{P}_R} \frac{P.dP}{\mu..Z} \quad (2.44)$$

حيث أن كلا من $(\bar{\mu}, \bar{Z})$ التي تظهر في الطرف الأيسر من المعادلة *(2.44)* قدرت عند $(\bar{P}_R + P_{wf})/2$)، الشكل *(2.11)*، المساواة المعبر عنها في المعادلة *(2.44)*هي صحيحة فقط إذا كانت $(P/\mu_g.Z)$ تابع خطي للضغط، في هذه الحالة ،إن المساحة أسفل المنحني المحصورة بين $(\overline{P_R})$ و (P_{wf}) هي التكامل في المعادلة *(2.44)*



الشكل *(2.12)* رسم بياني نموذجي لـ $(p/\mu_g.z)$ كتابع للضغط

والذي يساوي لـ $\left[\frac{\overline{P}_R + P_{wf}}{2.\overline{\mu}.\overline{Z}}(\overline{P}_R - P_{wf})\right]$ ،على أية حال إن $(P/\mu.Z)$ غير خطي ويطابق الحالة الممثلة في الشكل *(2.12)* والذي يبين أن $(P/\mu.Z)$ مع الضغط هي خطية فقط عند الضغوط المنخفضة جداً والتي تطابق حالة الغاز المثالي، وعند الضغوط العالية، ويوجد بينهما جزء من المنحني البياني تكون فيه نتائج التحليل في كل طريقة مختلفة عن إذا

الأخرى، كما يبين الرسم البياني انه في هذا الجزء غير الخطي من المنحني إذا كان الفرق $(dP = \overline{P}_R - P_{wf})$ صغيرا فان الطريقتين ستعطيان دائما ذات النتائج تقريبا، بينما ستختلف النتائج إذا كان الفرق $(dP = \overline{P}_R - P_{wf})$ كبيرا.

(على سبيل المثال: من أجل المكامن ذات سعة الجريان *(K.h)* الضعيفة والتي تنتج بمعدلات عالية) عند ذلك ستختلف النتائج بشكل ملحوظ عند استعمال الطريقتين.

إضافة إلى ما تقدم فإن الأسباب التي دعت إلى استعمال *m(P)* بدلا من $\Delta(P^2)$ هي:

١- يمكن تطبيق طريقة *m(P)* بثقة لكافة مجالات الضغط وبالتالي هي أكثر صحة.

٢- تعتبر طريقة *m(P)* سهلة الاستعمال وذلك بعد وضع العلاقة بين*m(P)* والضغط *(P)* ،أي: *m(P)=f(P)*.

٣- فضل مهندسو الحقل استعمال طريقة $\Delta(P^2)$ لأنها سهلة الإنجاز عند إجراء الحساب بشكل يدوي باستعمال الآلة الحاسبة، أما الآن وبوجود الحاسوب لم يعد هذا مبرراً لعدم استعمال طريقة *m(P)*.

٤- استعملت تقنية التحليل باستخدام طريقة *m(P)* بشكل واسع في الأدبيات الحالية لأنها ذات وثوقية عالية عند حساب التصريف على المدى الطويل.

٥- يفضل استخدام طريقة *m(P)* بسبب التغير الكبير في خصائص الغاز مع تغير الضغط الأمر الذي يجعل استخدام القيم المتوسطة لكل من لزوجة الغاز (μ_g) وعامل انضغاط الغاز *[Z]* غير كاف.

٦- لا يمكن استعمال طريقة $\Delta(P^2)$ على الإطلاق عند قيم الضغط المحصورة بين *[2500-3500]*

٢-٥ – ضغوط قاع البئر : *(Bottom-Hole Pressures)*

يجب معرفة قيمة ضغط قاع البئر الساكن أو الجرياني لكي نستطيع أن نتوقع معدل الإنتاج للآبار الغازية، والطريقة الأفضل هي أن يتم قياس هذه الضغوط بواسطة أجهزة قياس ضغوط قاع البئر وهذا غير عملي في أغلب الأحيان أو مكلف جداً.

على أية حال يمكن القيام بحساب قيم هذه الضغوط وبدقة كافية من معطيات البئر (الضغط على السطح ودرجة الحرارة، درجة حرارة الطبقة وعمق البئر).

توجد عدة طرق لحساب ضغوط قاع بئر الغاز الطبيعي وسوف يتم مناقشة طريقتين منها فقط وهي:

٢-٥-١- حساب ضغوط قاع البئر باستخدام طريقة متوسط درجة الحرارة ومتوسط العامل *(Z)* :

(Average Temperature And Z-Factor Method)

تتطلب هذه الطريقة استعمال أسلوب التجربة والخطأ في الحساب.

يعطى ضغط قاع البئر الساكن بالعلاقة التالية:

$$P_{ws} = P_{ts}.\exp[(0.01875\gamma_g.H)/(\overline{T}.\overline{Z})] \qquad (2.45)$$

حيث أن: $\overline{T}$ = المتوسط الحسابي لدرجة الحرارة في مواسير الإنتاج.

$\overline{P}$ = المتوسط الحسابي للضغط $\left(\overline{P} = (P_{ws} + P_{ts})/2\right)$

$\overline{Z}$ = عامل انضغاط الغاز عند $\left(\overline{P}, \overline{T}\right)$

يعطى ضغط قاع البئر الجرياني بالعلاقة التالية:

$$P_{wf}^2 = P_{tf}^2.\exp(s) + \frac{25\gamma_g.q_{sc}^2.\overline{T}.\overline{Z}.f.H[\exp(s)-1]}{s.d^5} \qquad (2.46)$$

حيث أن: $$s = \frac{0.0375.\gamma_g.H}{\overline{T}.\overline{Z}} \qquad (2.47)$$

$\overline{P}$ = المتوسط الحسابي للضغط $\left(\overline{P} = (P_{wf} + P_{tf})/2\right)$

إن عامل الاحتكاك (f) تابع لعدد رينولدز (N_{Re}) وللخشونة النسبية (e/d) ، حيث يحسب عدد رينولدز من إحدى العلاقتين التاليتين:

$$N_{\mathrm{Re}} = \frac{1488.\rho[lbm/scf].u[fps].d[ft]}{\mu[cp]} \qquad (2.48)$$

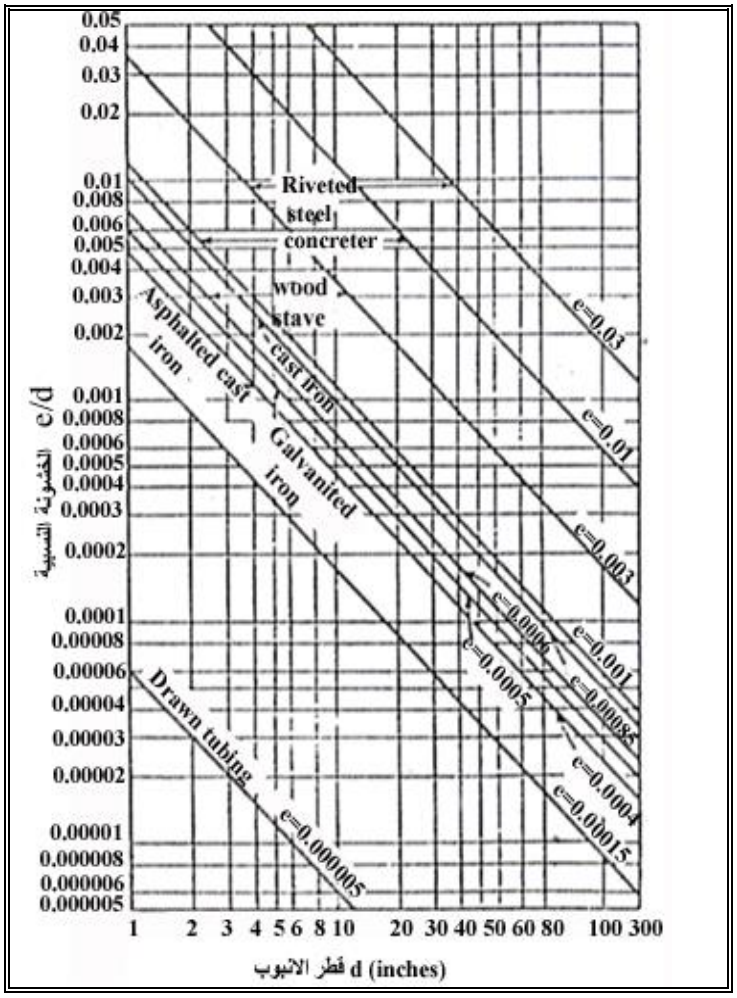
أو

$$N_{\mathrm{Re}} = \frac{20.q[Mscf]\,\gamma_g[air=1]}{\mu[cp].d[in]} \qquad (2.49)$$

أما الخشونة النسبية فيتم الحصول عليها من الشكل (2.13)، وإذا لم تتوفر معلومات عن الخشونة فمن المفضل استخدام القيمة $(e=0.0006)$ للقنوات وخطوط النقل المستعملة لفترة من الزمن.

يمكن الحصول على قيم معامل الاحتكاك (f) من العلاقة المتبادلة بين معامل الاحتكاك والخشونة النسبية للأنابيب وعدد رينولدز المبينة في الشكل (2.14)، أو باستخدام معادلة (Jain) من اجل الجريان المضطرب $(N_{\mathrm{Re}} > 2100)$ وهي:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2.Log\left[\frac{e}{d} + \frac{21.25}{N_{\mathrm{Re}}^{0.9}}\right] \qquad (2.50)$$



الشكل*(2.13)* قيم الخشونة النسبية لمواسير مصنعة من مواد هندسية مألوفة

يعتمد الحل باستخدام هذه الطريقة على أسلوب التكرارية على عامل انضغاط الغاز *(Z)* كما يلي:

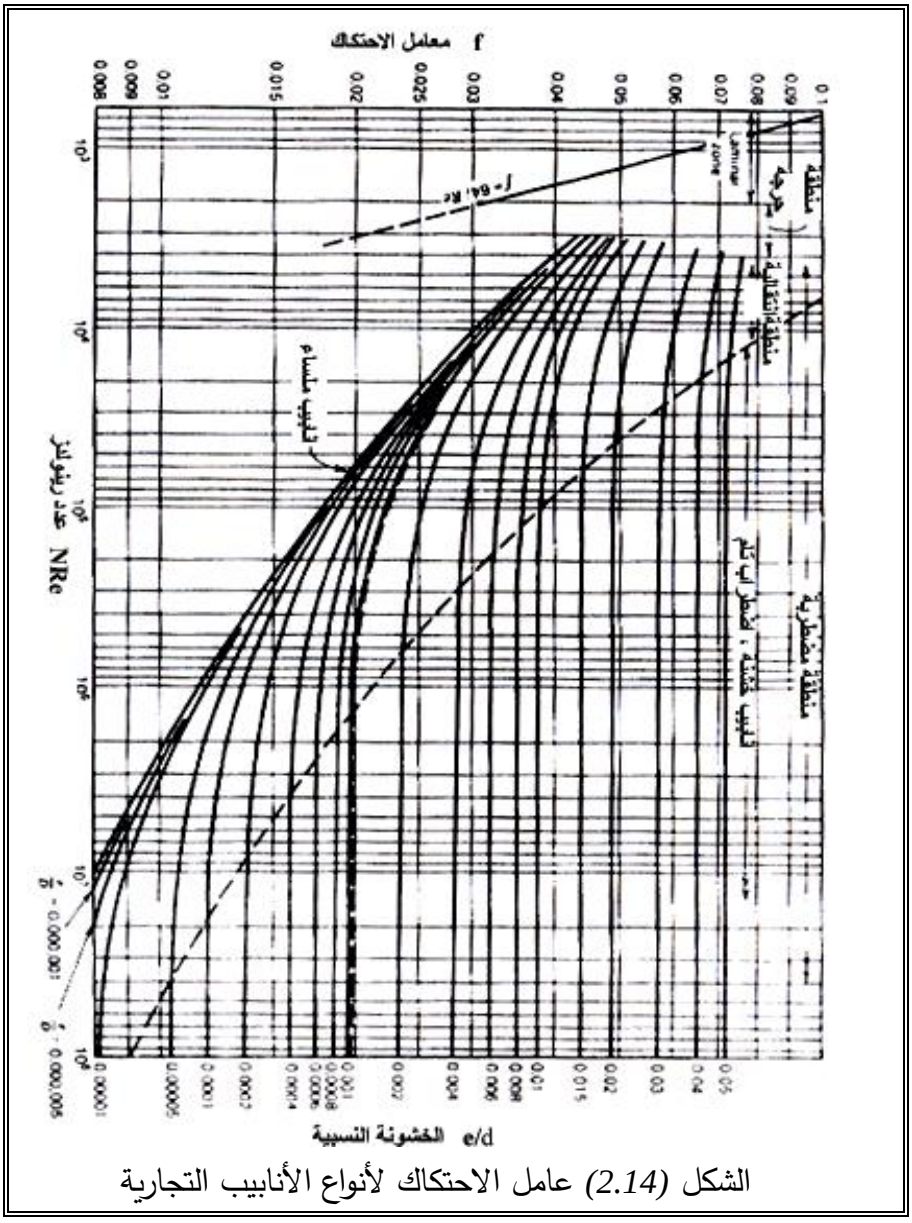
١- تفرض قيمة أولية لـ (Z^*)، (أول تقدير جيد لقيمة Z يمكن أن يكون *0.9*)

٢- تحسب قيمة ضغط قاع البئر الجرياني (p_{wf}) باستخدام المعادلة *(2.46)* حيث نعتبر أن $Z = Z^*$.

٣- يحسب متوسط الضغط $\overline{P} = \left((P_{wf} + P_{tf})/2\right)$.

٤- تحسب قيمة *(Z)* عند $(\overline{P}, \overline{T})$.

٥- يقارن بين قيم *(Z)* و (Z^*) فإذا لم تكن القيم متقاربة جداً أو متطابقة اجعل $Z = Z^*$ ثم عد إلى الخطوة رقم *(2)*، اعد خطوات الحساب حتى الحصول على $\left((Z - Z^*)/Z\right) < 0.001$، أو أي فرق أخر مسموح به في حسابات الغاز، وبعد تحقق هذا الشرط ستكون قيمة (P_{wf}) المحسوبة في الخطوة رقم *(2)* هي القيمة الصحيحة.



الشكل *(2.14)* عامل الاحتكاك لأنواع الأنابيب التجارية

٢-٥-٢- حساب ضغوط قاع البئر باستخدام طريقة : *(Cullender and Smith)*

تدرس هذه الطريقة تغير درجة الحرارة مع العمق وتغير العامل *(Z)* مع تغير الضغط ودرجة الحرارة، وتحتاج إلى أسلوب التكرارية في الحساب لكنها تعطي نتائج أكثر دقة وقابلة للبرمجة بسهولة عند استعمال الحاسوب.

تتضمن هذه الطريقة تقسيم البئر إلى جزأين متساويين في الطول، طول كل منهما *(H/2)*.

أ- حساب ضغط قاع البئر الساكن: *(Calculate Of Static Bottom-Hole Pressure)*

يتم حساب قيمة الضغط (P_{ms}) عند العمق *(H/2)* من العلاقة التالية:

$$P_{ms} = P_{ts} + \frac{0.01875\gamma_g.H}{I_{ms} + I_{ts}} \qquad (2.51)$$

ويحسب ضغط قاع البئر الساكن من العلاقة التالية:

$$P_{ws} = P_{ms} + \frac{0.01875\gamma_g.H}{I_{ms} + I_{ws}} \qquad (2.52)$$

حيث أن: $I = \frac{T.Z}{P}$ *(2.53)*

أما طريقة الحساب فهي على النحو التالي:

من أجل القسم العلوي من البئر:

١- تحسب القيمة $(0.01875\gamma_g.H)$.

٢- تحسب قيمة (I_{ts}) عند رأس البئر.

٣- كتقريب أولي يفترض أن قيمة (I_{ms}) عند منتصف البئر مساوية لقيمة (I_{ts}).

٤- تحسب قيمة الضغط عند منتصف البئر (P_{ms}) من المعادلة *(2.51)*.

٥- تستعمل القيمة الجديدة لـ (P_{ms}) في حساب قيمة (I_{ms}).

٦- يعاد حساب (P_{ms}) وكرر العملية حتى الحصول على ذات القيمة لـ (P_{ms}) من حسابين متتاليين فتكون هي قيمة (P_{ms}) عند منتصف البئر.

من اجل القسم السفلي من البئر:

٧- تؤخذ (I_{ws}) عند قاع البئر مساوية لـ (I_{ms}).

٨- تكرر الخطوات من الخطوة رقم *(4)* إلى الخطوة رقم *(6)* من أجل ضغط قاع البئر وذلك باستعمال المعادلة *(2.52)* .

ب- حساب ضغط قاع البئر الجرياني:*(Calculate Of Flowing Bottom-Hole Pressure)*

بالنسبة للقسم العلوي من البئر نكتب:

$$18.75\gamma_g.H = (P_{mf} - P_{tf})(I_{mf} + I_{tf}) \qquad (2.54)$$

بالنسبة للقسم السفلي من البئر نكتب :

$$18.75\gamma_g.H = (P_{wf} - P_{mf})(I_{wf} + I_{mf}) \qquad (2.55)$$

حيث أن:

$$I = \frac{P/(T.Z)}{0.001(P/T.Z)^2 + j^2} \qquad (2.56)$$

$$j^2 = \frac{0.667 f.q_{sc}^2}{d^5} \qquad (2.57)$$

$$J = J_r.q_{sc} = \frac{0.10797 q_{sc}}{d^{2.612}} \quad : d < 4.277 \quad inch \qquad (2.58)$$

أو

$$J = j_r.q_{sc} = \frac{0.10337 q_{sc}}{d^{2.582}} \quad : d > 4.277 \quad inch \qquad (2.59)$$

تؤخذ قيم (J_r) لمختلف قياسات مواسير الإنتاج والتغليف من بالجدول رقم *(3.4)*.

وطريقة الحساب على النحو التالي:

من أجل القسم العلوي من البئر:

١- تحسب القيمة $(18.75\gamma_g.H)$.

٢- تحسب (J^2) بعد تحديد قيمة (J_r) من الجدول رقم *(2.4)*.

٣- تحسب قيمة (I_{tf}) عند رأس البئر.

٤- كتقريب أولي نفترض ان قيمة (I_{mf}) عند منتصف البئر مساوية لقيمة (I_{tf}).

٥- تحسب قيمة الضغط عند منتصف البئر (P_{mf}) من المعادلة *(2.54)*.

٦- تستعمل القيمة الجديدة لـ (P_{mf}) في حساب قيمة (I_{mf}).

٧- يعاد حساب (P_{mf}) وكرر العملية حتى الحصول على ذات القيمة لـ (P_{mf}) من حسابين متتاليين فتكون هي قيمة (P_{mf}) عند منتصف البئر.

من اجل القسم السفلي من البئر:

٨- تؤخذ (I_{wf}) عند قاع البئر مساوية لـ (I_{mf}).

٩- تكرر الخطوات من الخطوة رقم *(5)* إلى الخطوة رقم *(7)* من أجل ضغط قاع البئر وذلك باستعمال المعادلة *(2.55)* .

الجدول *(2.4)* قيم (j_r) لمختلف أنواع مواسير الإنتاج والتغليف

القطر الاسمي (*inch*)	القطر الخارجي للأنبوب (*inch*)	القطر الداخلي للأنبوب (*inch*)	j_r
$j_r = \frac{0.10797}{d^{2.612}}$			
1	*1.315*	*1.049*	*0.095288*
1 1/4	*1.660*	*1.380*	*0.046552*
1 1/2	*1.990*	*1.610*	*0.031122*
2	*2.375*	*1.995*	*0.017777*
2 1/2	*2.875*	*2.441*	*0.010495*
3	*3.500*	*2.992*	*0.006167*
3 1/2	*4.000*	*3.476*	*0.004169*
4	*4.500*	*3.958*	*0.002970*
4 1/2	*4.750*	*4.082*	*0.002740*
4 1/2	*4.750*	*4.000*	*0.002889*
4 3/4	*5.000*	*4.276*	*0.002427*
4 3/4	*5.0000*	*4.154*	*0.002617*
5 3/16	*5.000*	*4.494*	*0.0021345*
5 5/8	*5.000*	*4.408*	*0.0022437*
5 5/8	*5.000*	*5.012*	*0.0016105*
5 5/8	*5.000*	*4.976*	*0.0016408*
5 5/8	*5.000*	*4.892*	*0.0017145*
5 5/8	*5.000*	*4.778*	*0.0018221*
5 5/8	*5.000*	*4.670*	*0.0019329*
5 5/8	*5.000*	*4.580*	*0.0020325*
5 5/8	*6.000*	*5.524*	*0.0012528*
5 5/8	*6.000*	*5.450*	*0.0012972*
5 5/8	*6.000*	*5.352*	*0.0013595*
5 5/8	*6.000*	*5.240*	*0.0014358*
5 5/8	*6.000*	*5.140*	*0.0015090*
6 1/4	*6.625*	*6.049*	*0.0009910*
6 1/4	*6.625*	*5989*	*0.0010169*
6 1/4	*6.625*	*5.921*	*0.0010473*
6 1/4	*6.625*	*5.855*	*0.0010781*

6 1/4	6.625	5.791	0.0011091
6 1/4	6.625	5.675	0.0011686
6 1/4	6.625	5.595	0.0012122
6 5/8	7.000	6.456	0.0008876
6 5/8	7.000	6.398	0.008574
6 5/8	7.000	6.336	0.0008792
6 5/8	7.000	6.276	0.0009011
6 5/8	7.000	6.214	0.0009245
6 5/8	7.000	6.154	0.0009479
6 5/8	7.000	5.836	0.0010871
7 1/4	7.625	6.969	0.0006875
7 1/4	7.625	6.875	0.0007121
7 1/4	7.625	6.765	0.0007424
7 1/4	7.625	6.625	0.0007836
7 1/4	7.625	6.445	0.0008413
7 1/4	8.000	7.386	0.0005917
7 5/8	8.125	7.485	0.005717
7 5/8	8.125	7.385	0.0005919
7 5/8	8.125	7.285	0.0006132
7 5/8	8.125	7.185	0.0006354
7 5/8	8.625	8.249	0.0004448
7 5/8	8.625	8.191	0.0004530
القطر الاسمي (*inch*)	القطر الخارجي للأنبوب (*inch*)	القطر الداخلي للأنبوب (*inch*)	j_r
$j_r = \frac{0.10797}{d^{2.612}}$			
7 5/8	8.625	8.097	0.0004667
7 5/8	8.625	8.003	0.0004810
7 5/8	8.625	7.907	0.0004962
7 5/8	8.625	7.825	0.0005098
7 5/8	8.625	7.775	0.0005183
7 5/8	8.625	7.651	0.0005403
8 5/8	9.000	8.290	0.0004392
8 5/8	9.000	8.196	0.0004523
8 5/8	9.000	8.150	0.0004589
8 5/8	9.000	8.032	0000.4765
9	9.625	8.921	0.0003634
9	9.625	8.835	0.0003726
9	9.625	8.755	0.0003814
9	9.625	8.681	0.0003899
9	9.625	8.535	0.0004074
9	9.625	8.435	0.0004200
9	10.000	9.384	0.0004167
9	10.000	8.908	0.0003648
9	10.000	8.790	0.0003775
10	10.750	10.192	0.0002576
10	10.750	10.126	0.0002613
10	10.750	10.050	0.0002671
10	10.750	9.950	0.0002741
10	10.750	9.902	0.0002776
10	10.750	9.784	0.0002863

الفصل الثالث

دراسة الواقع الحالي لحقل أبو رباح الغازي

وتقدير الاحتياطي

٣-١- الموقع الجغرافي:*(Geographic Location)*

حقل أبو رباح: *(ABO RABAH Field)*

يقع على مسافة (٦٠)كم جنوب شرق مدينة حمص وغرب مدينة تدمر بحوالي (١١٠)كم.

الشكل (*5.1*) يبين خارطة الموقع الجغرافي للحقول المدروسة.

٣-٢- الوضع البنيوي العام:

حقل أبو رباح:

يتبع تركيب أبو رباح من الناحية التكتونية وحدة منخفض الدو، الذي يظهر على السطح، حيث تتكشف في النواة تشكيلة الشيرانيش العائدة لأعلى الكريتاسي، كما يظهر هذا التركيب على شكل طية محدبة متطاولة ذات اتجاه شمال شرق- جنوب غرب ويقطعها باتجاه التطاول فالق عكسي رئيسي، اتجاه ميله للشمال الغربي الشكل (5.4) وحيث يقسم التركيب إلى كتلتين:

الكتلة الأولى: وهي الكتلة الرئيسية وتمثل الكتلة الصاعدة للفالق (شمال غرب الفالق) وتبلغ أبعادها (٢٢ × ٤)كم.

الكتلة الثانية: وتمثل الكتلة الهابطة للفالق (جنوب غرب الفالق) وتبلغ أبعادها (٢٢ × ٣)كم.

وعدد الآبار المحفورة في هذا الحقل خمسة آبار.

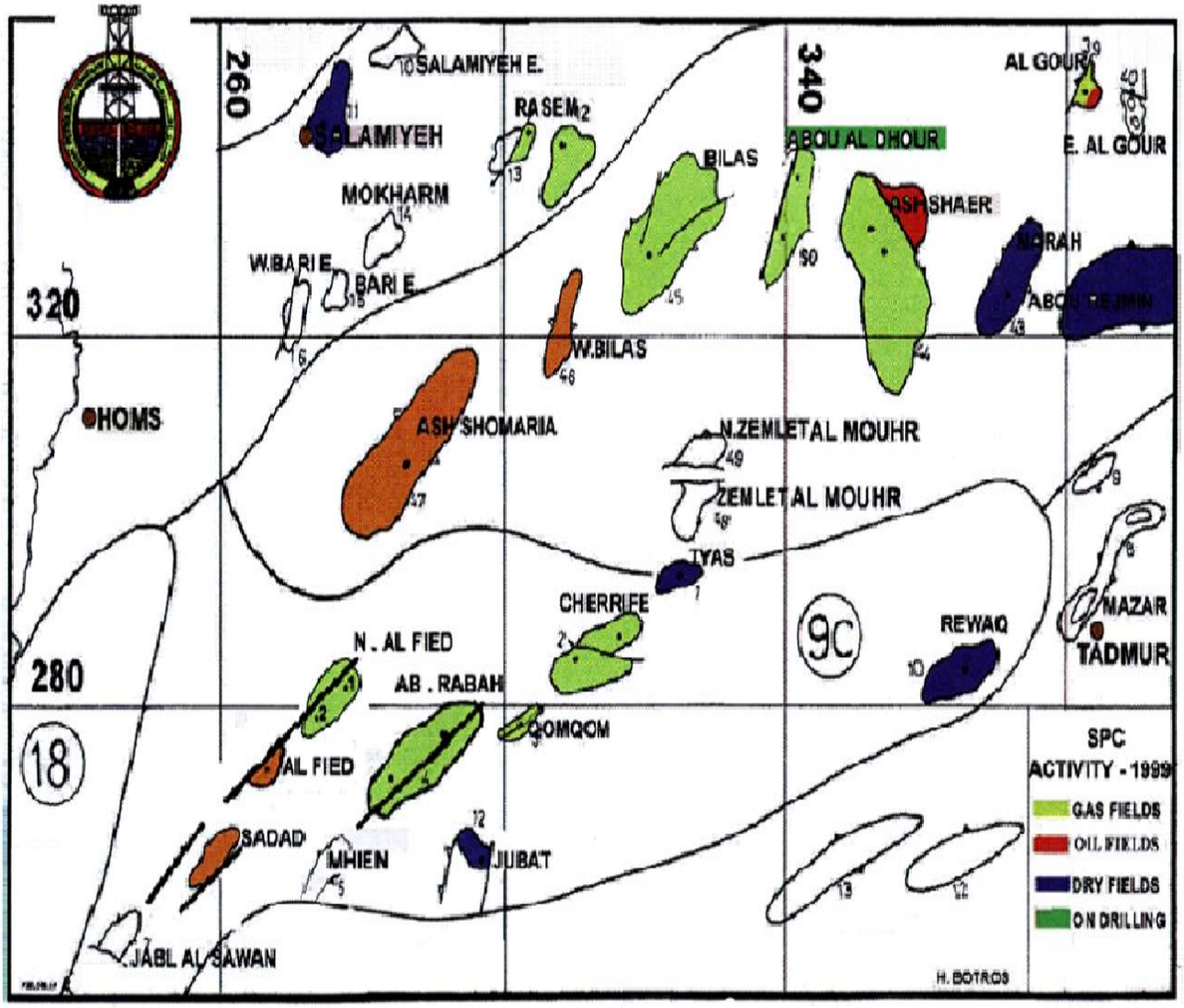
٣-٣- الوضع الجيولوجي:

حقل أبو رباح:

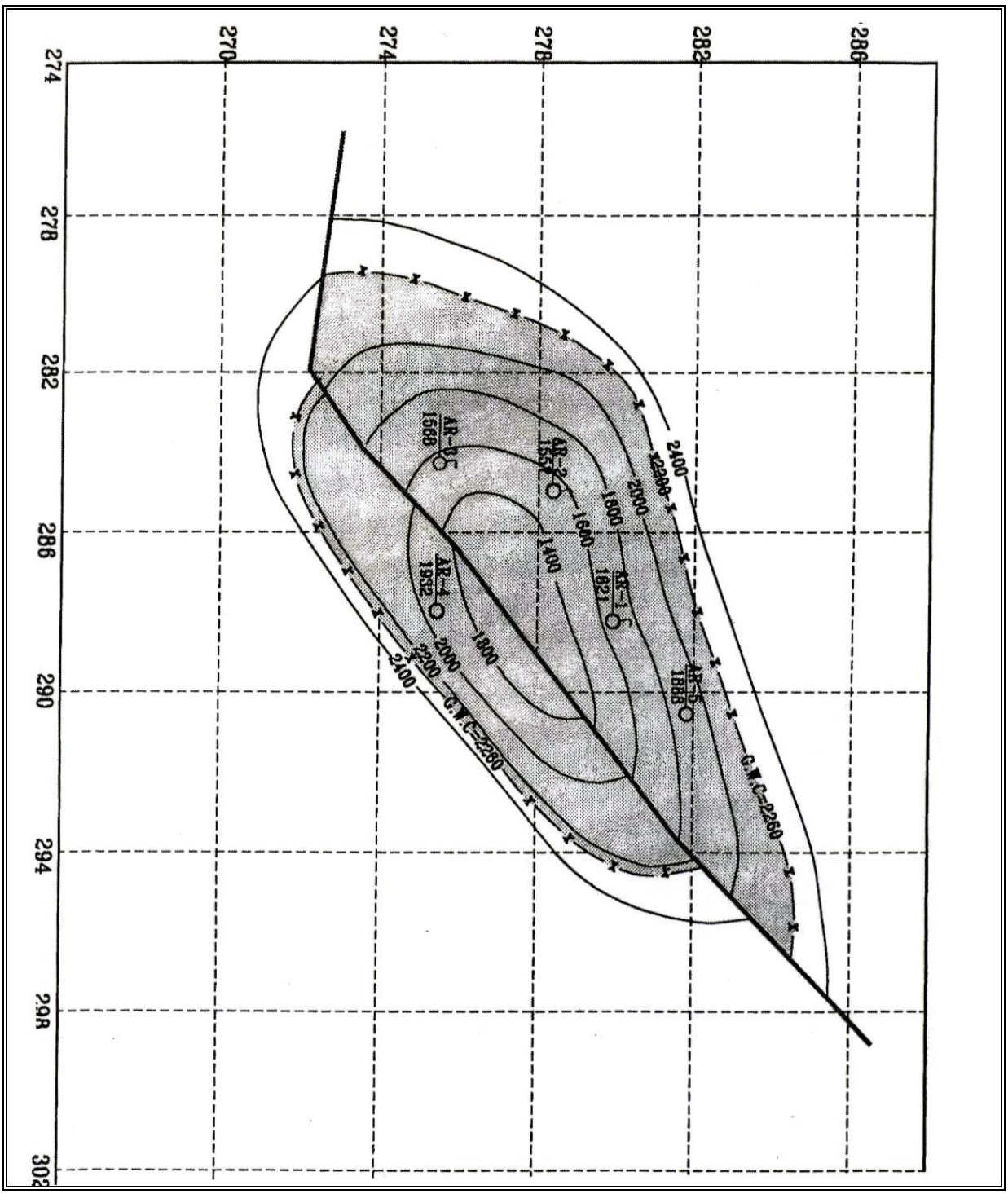
تعتبر الصخور الكربوناتية العائدة للترياسي الأوسط من أهم التشكيلات الخازنة في تركيب أبو رباح، حيث تم العثور في المنطقة على نوعين من الصخور الخازنة:

النوع الأول: خزان شقي ويمثل معظم الطبقات الخازنة العائدة للترياسي و الجوراسي.

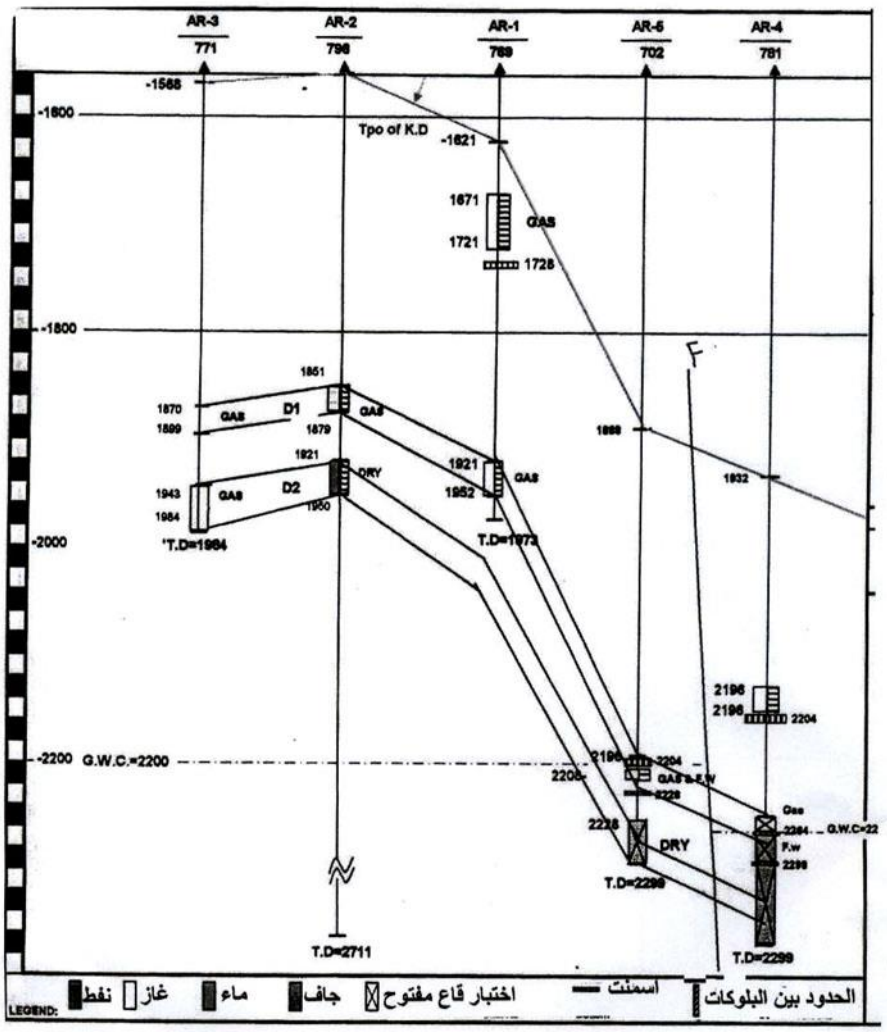
النوع الثاني:خزان مسامي ويمثل الطبقات الرقيقة ضمن التشكيلات الكربوناتية العائدة للترياسي الأوسط، الشكل *(5.10)*.



الشكل (3.1) الواقع الجغرافي للحقول المدروسة



الشكل (3.2) خارطة تركيبية لأعلى تشكيلة الكوراشينادولوميت في تركيب أبو رباح .



الشكل *(3.3)* مقطع مقارنة بين آبار حقل أبو رباح

٣-٤- الخصائص الخزنية لتشكيلة الكوراشينادولوميت:

دلت نتائج التفسيرات البتروفيزيائية للقياسات البئرية أن تشكيلة الكوراشينادولوميت تتألف من صخور كلسية يغلب فيها الدولوميت مع تناوبات من الغضار و الانهدريت ،تتناقص نسبة الغضار على طول المقطع الرسوبي من الأسفل نحو الأعلى وتصبح أدنى نسبة للغضار في أعلى النطاق المكافئ و المتمثل بحجر كلسي دولوميتي ، حيث لعبت عملية الدلمتة دوراً أساسياً في تحسين الخصائص الخزنية للصخر، إذ تبلغ قيمة المسامية للمجال الحامل للغاز بحدود (٨%) و خط التقاء الغاز بالماء عند العمق (٢٢٩٠ -١٦٤٥) م ، كما تبلغ نسبة التشبع بالغاز حولي(٧٥-٨٠%)

وتتألف هذه التشكيلة من ثلاثة أقسام هي:

١- القسم السفلي: وتبلغ سماكته من (١٥٠-٢٠٠) م وأحياناً أكثر وهو عبارة عن تداخلات من الحجر الكلسي والغضار، يقل الغضار باتجاه الأعلى ويستمر الحجر الكلسي وتظهر عليه آثار دلمتة تدريجياً.

٢- القسم الأوسط: وهو النطاق المكافئ أو المنتج ومن أهم النطاقات الحاملة للهيدروكربونات في سوريا سماكته (١٠-١٥) م وتصل أحياناً إلى (٣٠) م، وهو عبارة عن دولوميت أو حجر كلسي قليل الغضارية غالباً مسامي ومتشقق ونفوذي وخاصة عندما يكون دولوميتياً.

٣- القسم العلوي: وتبلغ سماكته (١٤٠-٢٠٠) م وأحياناً أكثر وهو عبارة عن دولوميت وأحياناً حجر كلسي- غضاري أنهدريتي وطبيقات انهدريت وشيل وأحياناً يكون متشقق ضعيف المسامية.

وفيما يلي العينات المدروسة ضمن تشكيل الكوراشينادولوميت والمأخوذة من بئر أبو رباح (٣):

١"- العينة ***(C1)***: المجال (٢٣٩١-٢٣٩٤ م)

الوصف العيني: صخر كربوناتي ذو لون رمادي غامق يحوي شقوق طولية فيها ترسبات كلسية غضارية.

الوصف المجهري: يتكون الصخر من كلس ميكروسباريتي يحوي على بلورات من الدولوميت الميكروسباريتي وشقوق وفجوات ممتلئة بالانهدريت مع تشرب بالمادة العضوية جزئياً يحوي على شقوق من نوع الستيلوليت المتشرب بالمادة العضوية مع وجود بعض حبات من الكوارتز زاوية الحواف ونثرات من البيريت.

٢"- العينة ***(C2)***: المجال(٢٤٢٦-٢٤٣٢ م)

الوصف العيني : صخر كربوناتي ذو لون رمادي غامق مسود قاسي يحوي على بعض الشقوق الدقيقة مع وجود تداخلات من الشيل.

الوصف المجهري: يتكون من كلس ميكروسباريتي يحوي على نثرات من البيريت بنسبة مرتفعة بالإضافة إلى وجود حبات من الكوارتز وبلورات من الدولوميت ناتجة عن الدلمتة الجزئية تتناوب مع الشيل الكلسي الحاوي على نثرات من البيريت وتلوث بالمادة العضوية بالإضافة إلى حبات من الكوارتز عند العمق (٢٤٢٧,٦) م ، والانهدريت الحاوي على تداخلات من الغضار ضمن المجال (٢٤٢٨,٨ - ٢٤٢٩,٢) م، والمسامية (٥-٨ %).

-المجال (٢٤٢٩,٢-٢٤٣٠,٥) م، يتكون من دولوميت ميكروسباريتي حاوي على بعض العضويات مع تداخلات من الغضار و الانهدريت بالإضافة إلى وجود نثرات من البيريت وشقوق رفيعة ممتلئة بالغضار المتشرب بالمادة العضوية.

٣"- العينة ***(C3)***: المجال (٢٤٦١-٢٤٦٥,٥ م)

أ- المجال (٢٤٦١,٣٥- ٢٤٦١,٦) م:

الوصف العيني: صخر كربوناتي ذو لون قاتم يحوي شقوق طولية وعرضية ممتلئة بالكالسيت كما يرى تطبق أفقي بالترسيب بالإضافة إلى تداخلات من الشيل.

الوصف المجهري: عبارة عن دولوميت ميكريتي ميكروسباريتي يحوي على نثرات من البيريت بالإضافة إلى حبات من الكوارتز الحاوية على شقوق أفقية دقيقة مع تداخلات من الغضار.

ب - المجال (٢٤٦١,٦-٢٤٦٢,٢) م:

يتكون من كلس ميكريتي ميكروسباريتي حاوي على عضويات بالإضافة إلى تداخلات من الشيل كما يحوي على نثرات من البيريت وشقوق دقيقة ممتلئة بالكالسيت وبعض حبات الكوارتز.

ج – المجال (٢٤٦٢,٢-٢٤٦٤,٢) م:

يتكون من تناوبات من الانهدريت الحاوي على تداخلات من الغضار المتشرب بالمادة العضوية بالإضافة إلى نثرات من البيريت والكلس الميكروسباريتي والكلس العضوي بالإضافة إلى الغضار المتشرب بالمادة العضوية.

د – المجال (٢٤٦٤,٢-٢٤٦٥,٥) م:

يتكون من دولوميتميكريتي- ميكروسباريتي يحوي على شقوق ممتلئة بالكالسيت معاد التبلور مع وجود نثرات من البيريت وشقوق من الستيلوليت الممتلئة بالمواد الغصارية المتشربة بالمادة العضوية مع وجود تداخلات من الانهدريت.

٤"- العينة ***(C4)***: المجال (٢٤٦٧-٢٤٧٠,٥) م

الوصف العيني: صخر كربوناتي ذو لون رمادي فاتح يحوي شقوق أفقية وطولية بالإضافة إلى وجود عروق من الغضار، وقد لوحظ بأن هذه الصخور قد توضعت بوسط ترسيبي مضطرب يتحول تدريجياً الجزء السفلي من العينة إلى صخر كربوناتي متداخل مع الشيل الرمادي الغامق.

الوصف المجهري: يتكون من كلس ميكريتي- ميكروسباريتي بالإضافة إلى عروق من الستيلوليت ويحوي على تداخلات من السيليس والغضار المتشرب بالمادة العضوية والدولوميتالميكريتي-الميكروسباريتي الحاوي على نثرات من البيريت بنسبة مرتفعة بالإضافة إلى وجود شقوق رفيعة طولية وعرضية ممتلئة بالكالسيت معاد التبلور في الجزء السفلي من المجال لوحظ وجود انهدريت وبعض العضويات، المسامية (٥ %).

٥"- العينة ***(C5)***: المجال (٢٤٧٠,٥-٢٤٧٤) م

الوصف العيني: صخر كربوناتي ذو لون رمادي فاتح يحوي شقوق طولية وعرضية يتحول في أسفل المجال إلى صخر كربوناتي ذي لون رمادي غامق ويحوي على شقوق أفقية ممتلئة بالكالسيت.

الوصف المجهري: يتكون من كلس ميكريتي ميكروسباريتي يحوي على أنهدريت ونثرات من البيريت كما يحوي على شقوق من الستيلوليت الممتلئة بالغضار المتشرب بالمواد البيتومية وبعضها ممتلئ بالكالسيت معاد التبلور كما يحوي على بعض البقع من البيتوم وبعض العضويات.

٦"- العينة ***(C6)*** المجال (٢٥٠١-٢٥١٤) م

الوصف العيني: صخر كربوناتي ذو لون رمادي قاتم قاسي حاوي على شقوق طولية وعرضية ممتلئة بالكالسيت كما ترى بعض التداخلات من الشيل الأسود.

الوصف المجهري للمجال (٢٥٠١-٢٥٠٦) م: يتكون من صخر كلسي ميكروسباريتي يحوي شقوق ممتلئة بالانهدريت وأحياناً شقوق ممتلئة بالغضار المتشرب بالمادة العضوية مع وجود تداخلات من المواد الغضارية المتشربة بالمادة العضوية، المسامية (٥-٨ %).

الوصف المجهري للمجال (٢٥٠٦-٢٥٠٦,٢٥) م: عبارة عن صخور انهدريتية.

الوصف المجهري للمجال (٢٥٠٦,٦-٢٥١٤) م: يتكون من كلس ميكريتي ميكروسباريتي مسامي حاوي على حبات من الكوارتز وأحياناً على شكل رمل كوارتزي مع تداخلات من الغضار كما يحوي على بعض النثرات من البيريت وبعض الهياكل العضوية ويلاحظ وجود بعض البلورات من الدولوميت الناتجة عن دلمتة جزئية وفجوات ممتلئة بالانهدريت، المسامية (٥-٨ %).

٧"- العينة ***(C7)*** : المجال (٢٦٥٦-٢٦٦١) :

الوصف العيني: صخر كربوناتي ذو لون رمادي فاتح إلى قاتم حاوي على شقوق طولية بكثرة وأحياناً تكون بعض الشقوق ممتلئة بالانهدريت.

الوصف المجهري: يتكون من كلس ميكروسباريتي يحوي على نثرات من البيريت وتداخلات من الانهدريت كما يحوي على شقوق ممتلئة بالغضار المتشرب بالمادة العضوية وأحياناً ممتلئة بالانهدريت أو الكالسيت معاد التبلور كما يلاحظ بعض الحبات من الكالسيدوان.

٨"- العينة ***(C8)***: المجال (٢٦٦١- ٢٦٧١,٥) :

الوصف العيني :صخر كربوناتي ذو لون رمادي غامق مع تداخلات من الانهدريت.

الوصف المجهري: يتكون من كلس ميكروسباريتي مع تداخلات من الغضار المتشرب بالمادة العضوية بالإضافة إلى وجود بلورات من الدولوميت السباريتي والانهدريت ضمن الشقوق و الفجوات كما يحوي على نثرات من البيريت.

٩"- العينة ***(C9)***: المجال (٢٧١٥-٢٧٢٦,٥) :

الوصف العيني: صخر كربوناتي ذو لون رمادي قاتم مع عروقسوداء من الغضار يحوي شقوق طولية وأفقية وتداخلات من الانهدريت وفي أسفل العينة يصبح ذو لون رمادي مسود ذو ترسيب مضطرب مع تداخلات من الشيل وشقوق مائلة وأحياناً تكون الشقوق عرضية ممتلئة بالانهدريت.

الوصف المجهري: يتكون من كلس ميكريتي ميكروسباريتي حاوي على شقوق ممتلئة بالغضار المتشرب بالمادة العضوية ويلاحظ وجود بعض حبات الكوارتز بالإضافة إلى بعض البلورات من الدولوميت ناتجة عن دلمتة جزئية كما توجد نثرات من البيريت كما يحوي على الانهدريت ضمن الفجوات والشقوق، المسامية (٥-٨ %).

الفصل الرابع

القسم العملي

يحتوي القسم العملي على المواضيع التالية:

١- المعطيات المتوفرة من نتائج اختبار حقل أبو رباح الغازي والتي تتضمن نتائج اختبارات استعادة الضغط والاختبارات الإنتاجية إضافة إلى نتائج تحاليل عينات الغاز والمياه المأخوذة من الآبار المدروسة.

٢- تحليل نتائج اختبارات استعادة الضغط بطريقة الضغط الزائف للغاز الحقيقي $m(p)$.

وذلك لتحديد:

١) متوسط ضغط المكمن.

٢) النفوذية الفعالة بالنسبة للغاز (K_g).

٣) عامل الظاهرة السطحية (S).

٤) عامل ناقليه الطبقة $(K_g.h/\mu_g)$.

٣- تحليل نتائج الاختبارات الإنتاجية لتحديد:

١) معامل التصريف (C) والأس (n) لكل بئر.

٢) معادلة التصريف المستقرة لكل بئر.

٣) أقصى معدل للجريان المفتوح (AOF).

٤) الإنتاجية المثالية لكل بئر (q_{opt}).

٤- مناقشة النتائج.

٥- المقترحات.

حقل أبو رباح الغازي:

٤-١-١-١- المعطيات المتوفرة من اختبارات بئر أبو رباح -٢:

الجدول *(4.1)* يبين نتائج اختبار استعادة الضغط لبئر أبو رباح -١٠٢

$\Delta t, hr$	$P_{ws, Psia}$	P_{ws}^2	$(t_p+\Delta t)/\Delta t$	$P_{ws}^2 \times 10^{-6}$
0.0000	3928	15429184	—	15.429
0.0706	3949	15594601	170.972	15.595
0.1193	3952	15618304	101.587	15.618
0.1678	3954	15634116	72.514	15.634
0.2474	3957	15657849	49.504	15.658
0.3313	3960	15681600	37.221	15.682

0.5213	3961	15689521	24.019	15.690
0.3836	3962	15697444	32.283	15.697
1.3255	3963	15705369	10.053	15.705
1.5464	3963	15705369	8.760	15.705
1.7673	3963	15705369	7.790	15.705
2.4963	3963	15705369	5.807	15.705
3.4860	3963	15705369	4.442	15.705
5.3019	3963	15705369	3.263	15.705
7.1797	3963	15705369	2.671	15.705
8.0630	3963	15705369	2.488	15.705
11.0460	3963	15705369	2.086	15.705
11.4440	3963	15705369	2.049	15.705

الجدول *(4.2)* يبين نتائج الاختبارات الإنتاجية التي تم إجراءها لبئر أبو رباح – ٢

قطر الفالة inch	t, hr	$P_{wf}, Psia$	$P_{ws}, Psia$	$q_{sc}, Mscfd$	$(P_{ws}^2 - P_{wf}^2)\times 10^{-3}$
24/64	12	3925	3974	8466.204	387.051
32/64	12	3904	3960	9508.144	440.384
40/64	12	3842	3949	17660.500	833.637
48/64	11.3	3767	3936	25436.880	1515.080

الجدول*(4.3)* يبين نتائج تحليل عينة غاز مأخوذة من بئر أبو رباح –٢

اسم المركب	الصيغة الكيميائية	الوزن الجزيئي M_i	الكسر المولي للمركب	درجة الحرارة الحرجة $T_C, {}^\circ R$	الضغط الحرج $P_C, Psia$
الميتان	CH_4	16.04	0.92699	343.37	667.8
الايتان	C_2H_6	30.07	0.03224	550.09	707.8
البروبان	C_3H_8	44.09	0.009603	666.01	616.3
ايزو-بوتان	$i-C_4H_{10}$	58.12	0.00306	734.98	529.1
ن-البوتان	$n-C_4H_{10}$	58.12	0.00266	765.65	550.7
ايزو-بنتان	$i-C_5H_{12}$	72.15	0.00155	829.1	490.4
ن-بنتان	$n-C_5H_{12}$	72.15	0.00082	845.7	488.6
الهكسان	C_6H_{14}	86.17	0.00116	913.7	436.9
الهبتان وما فوق	C_7^+	107.63	0.000567	985.415	388.09
ثاني اكسيد الكربون	CO_2	44.01	0.00867	547.9	1071
النتروجين	N_2	28.02	0.01268	227.6	493
كبريت الهيدروجين	H_2S	34.08	0	673	1073

تم تحليل عينة مياه مأخوذة من هذا البئر وكانت كمية(*NACL*) تساوي *PPM150000*

درجة حرارة المكمن هي: $T_f = 636\ {}^\circ R$

٤–١–١–٢– تحليل اختبار استعادة الضغط لبئر أبو رباح –٢ باستخدام طريقة الضغط الزائف:

تم حساب قيم الضغط الزائف المقابلة لقيم الضغط الحقيقي للغاز باستخدام المعادلة*(2.42)* والنتائج موضحة بالجدول رقم *(4.5)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $m(P)$ مقابل (P)، الشكل *(4.7)*، ومنه حصلنا على العلاقة بين $m(P)$ و (P) وهي التالية:

$$m(p) = (0.3606P - 471.48)\times 10^6$$

تم حساب قيم الضغط الزائف المعدل المقابلة لقيم الضغط الحقيقي للغاز باستخدام المعادلة*(2.40)* والنتائج موضحةبالجدول رقم *(4.4)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل (P_{Pn}) مقابل (P)، الشكل *(4.6)*، ومنه حصلنا على العلاقة بين (P_{Pn}) و (P) وهي التالية:

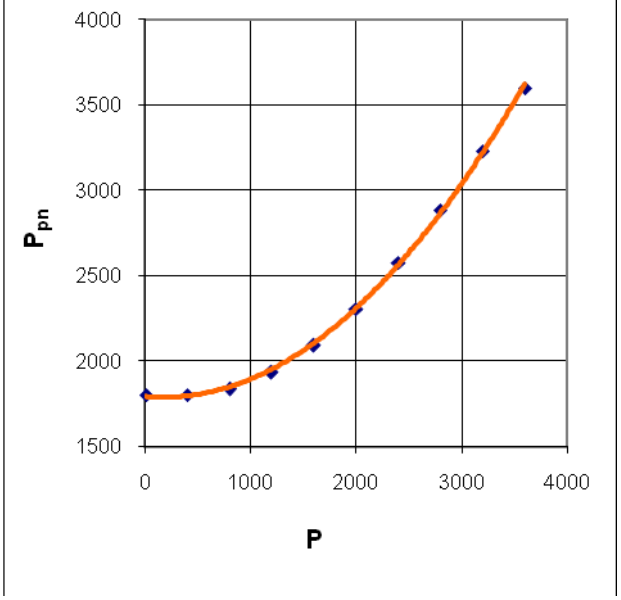
$$P_{Pn} = 0.8941P + 376.88$$

الجدول *(4.4)* نتائج حساب الضغط الزائف للغاز الحقيقي

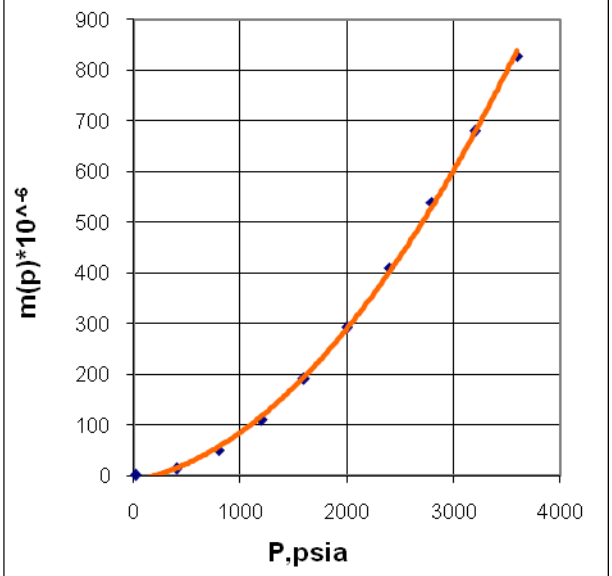
$P, _{Psia}$	$\mu, _{cp}$	Z	$2P/\mu.Z$	ΔP	$2\overline{P}/\mu.Z$	$\frac{2\overline{P}}{\mu.Z}\times\Delta P$	$m(p)=\sum(\frac{2\overline{P}}{\mu.Z})\times\Delta P$	$m(p)\times10^{-6}$ $Psia^2/cp$
14.7	0.0132	0.999	2229.5022	385.3	1114.75	429513.6045	429513.6045	0.4295
400	0.0135	0.969	61155.066	400	31692.3	12676913.71	13106427.31	13.1064
800	0.014	0.942	121322.41	400	91238.7	36495496.13	49601923.44	49.6019
1200	0.0147	0.919	177655.39	400	149489	59795561.45	109397484.9	109.3975
1600	0.0154	0.902	230368.3	400	204012	81604738.85	191002223.7	191.0022
2000	0.0163	0.891	275419.5	400	252894	101157559.9	292159783.7	292.1598
2400	0.0174	0.889	310306.04	400	292863	117145107.5	409304891.2	409.3049
2800	0.0184	0.893	340815.03	400	325561	130224214.8	539529106	539.5291
3200	0.0196	0.903	361606.44	400	351211	140484294.3	680013400.3	680.0134
3600	0.0207	0.919	378483.23	400	370045	148017933	828031333.3	828.0313

الجدول *(4.5)* نتائج حساب الضغط الزائف المعدل للغاز الحقيقي

$P, _{Psia}$	$\mu, _{cp}$	Z	$P/\mu.Z$	ΔP	$\overline{P}/\mu.Z$	$\frac{\overline{P}}{\mu.Z}\times\Delta P$	$\int_{p_i}^{p}\frac{p.dp}{\mu_g.Z}$	$p_{pn}, _{Psia}$
14.7	0.0132	0.999	1114.7511	-385.3	557.37556	-214756.802	-340006700.2	1803.32
400	0.0135	0.969	30577.533	-400	15846.142	-6338456.85	-339791943.4	1804.45
800	0.014	0.942	60661.207	-400	45619.37	-18247748.1	-333453486.5	1837.95
1200	0.0147	0.919	88827.696	-400	74744.452	-29897780.7	-315205738.4	1934.37
1600	0.0154	0.902	115184.15	-400	102005.92	-40802369.4	-285307957.7	2092.36
2000	0.0163	0.891	137709.75	-400	126446.95	-50578780	-244505588.3	2307.97
2400	0.0174	0.889	155153.02	-400	146431.38	-58572553.8	-193926808.3	2575.24
2800	0.0184	0.893	170407.52	-400	162780.27	-65112107.4	-135354254.6	2884.75
3200	0.0196	0.903	180803.22	-400	175605.37	-70242147.1	-70242147.14	3228.82
3600	0.0207	0.919	189241.61					3600.00



الشكل (4.6) يمثل (P_{Pn}) مقابل (P)



الشكل (4.7) يمثل $m(P)$ مقابل (P)

$$m(P)= 2\int_{P^o}^{P} \frac{P}{\mu_g.Z} dP$$

$$m(\overline{P_R}) - m(P_{wf}) = 2\int_{P^o}^{\overline{P}_R} \frac{PdP}{\mu_g.Z} - 2\int_{P^o}^{P_{wf}} \frac{PdP}{\mu_g.Z} = 2\int_{P_{wf}}^{\overline{P}_R} \frac{PdP}{\mu_g.Z}$$

$$m(\overline{P}_R) - m(P_{wf}) = Bq_{sc} + Fq_{sc}^2$$

اعتمادا على المعادلة (2.20) تم حساب قيم P_{Pn} المقابلة لقيم (P_{ws})من الجدول رقم (4.8) والنتائج موضحة في الجدول رقم (4.9)، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل P_{Pn} مقابل $(t_p + \Delta t)/\Delta t$ ، الشكل (4.10)، والذي منه حصلنا على قيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $\overline{P}_R = 3963 \ \ Psia$

اعتمادا على المعادلة (2.19) تم حساب قيم $m(P_{ws})$ المقابلة لقيم (P_{ws})من الجدول رقم (4.8) والنتائج موضحة في الجدول رقم (4.9)، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $m(P_{ws})$ مقابل $(t_p + \Delta t)/\Delta t$ ، الشكل (4.11)،والذي منه حصلنا على ما يلي:

قيمة الضغط الزائف المقابلة لقيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $m(\overline{P}_R) = 950.6\times10^6 \ \ Psia^2/cp$

قيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $\overline{P}_R = 3963 \ \ Psia$

قيمة الضغط الزائف عند الزمن $(\Delta t = 0)$كانت: $m(P_{1hr}) = 950.6\times10^6 \ Psia^2/cp$

ميل الجزء المستقيم من منحني استعادة الضغط هو: $m = 0 \ Psia^2/cp.\log cycle$

قيمة الضغط الزائف المقابلة لقيمة ضغط قاع البئر الجرياني: $m(P_{wf}) = 938.378\times10^6 \ Psia^2/cp$

باستخدام الحاسوب قمنا بحساب مايلي:

قيمة عامل انضغاط الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $Z = 0.938$

قيمة لزوجة الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $\mu_g = 0.02173 \ \ cp$

قيمة انضغاطية الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_g = 2.8\times10^{-4} \ \ Psia^{-1}$

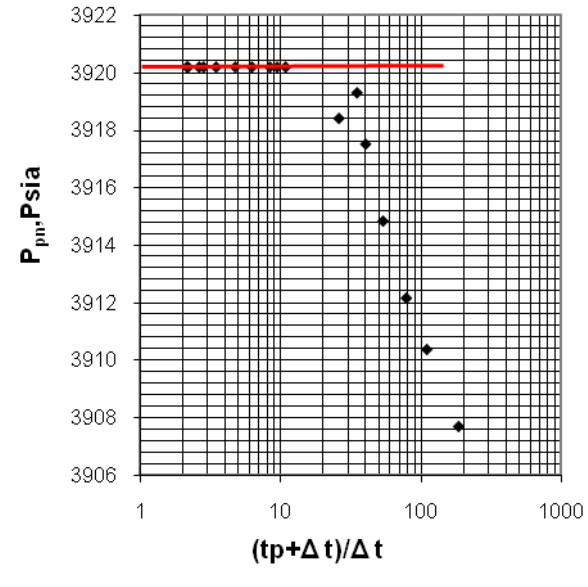
قيمة انضغاطية صخر المكمن عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_R = 21\times10^{-6}\ \ Psia^{-1}$

قيمة انضغاطية الماء عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_w = 8\times10^{-6}\ \ Psia^{-1}$

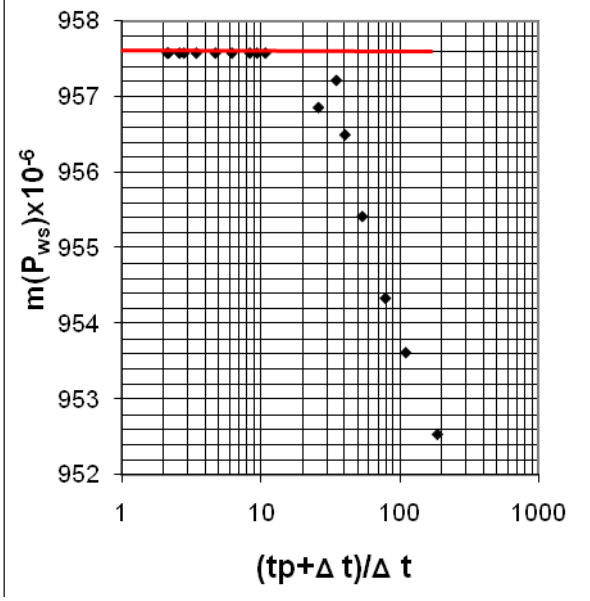
قيمة الانضغاطية الكلية عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_t = 309\times10^{-6}\ \ Psia^{-1}$

الجدول *(4.9)* نتائج حساب كل من (P_{Pn}) و $m(P_{ws})$

$\Delta t, hr$	$P_{ws}, Psia$	$(t_p+\Delta t)/\Delta t$	$m(P_{ws})\times10^{-6}$
0.0000	3928		944.957
0.0706	3949	185.136	952.529
0.1193	3952	109.969	953.611
0.1678	3954	78.473	954.332
0.2474	3957	53.546	955.414
0.3313	3960	40.239	956.496
0.5213	3961	25.938	956.857
0.3836	3962	34.889	957.217
1.3255	3963	10.808	957.578
1.5464	3963	9.407	957.578
1.7673	3963	8.356	957.578
2.4963	3963	6.208	957.578
3.4860	3963	4.729	957.578
5.3019	3963	3.452	957.578
7.1797	3963	2.811	957.578
8.0630	3963	2.612	957.578
11.0460	3963	2.177	957.578
11.4440	3963	2.136	957.578



الشكل *(4.10)* يمثل P_{Pn} مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$



الشكل *(4.11)* يمثل $m(P_{ws})$ مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$

٤-١-١-٣- تحليل الاختبارات الإنتاجية لبئر أبو رباح – ٢ :

قمنا برسم المنحني الذي يمثل ($P_{ws}^2 - P_{wf}^2$) مقابل (q_{sc})وتمثيل النقطةالمستقرة على ذات المنحني والتي تمثل ($\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2$) مقابل (q_{sc}) وذلك اعتمادا على الجدول رقم *(2.50)* ، الشكل *(4.12)*، والذي حصلنا منه على قيمة الأس (n) وكانت ($n = 0.96$).

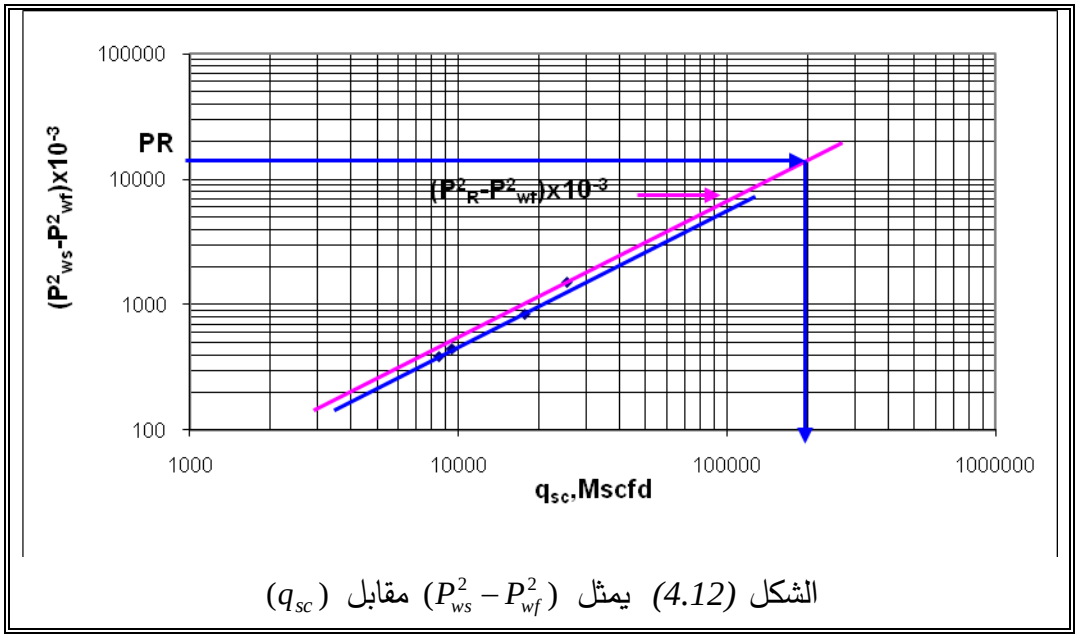
كما حصلنا على قيمة أقصى معدل للجريان المفتوح وكانت: *AOF=200000 Mscfd*

حسبنا قيمة *AOF* باستخدام المعادلة *(2.9)* وكانت: *AOF=242844 Mscfd: (n=0.96 ,C=0.03)*

$$\Leftrightarrow q_{opt} = 80948 Mscfd \Leftrightarrow P_{wf} = 3271.771 Psia \Leftrightarrow P_{tf} = 2620.71 Psia \Leftrightarrow P_{sep} = 2593.08 Psia$$

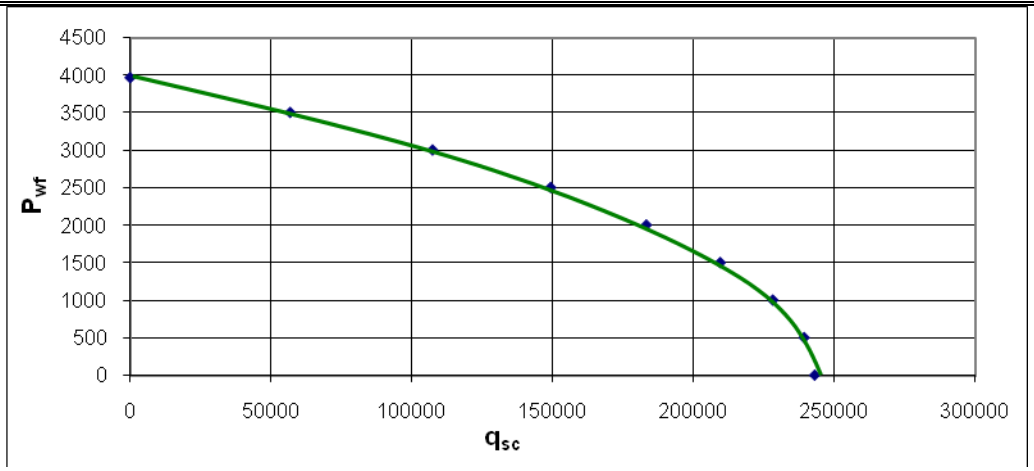
قمنا بحساب قيمة *(C)* وذلك اعتمادا على المعادلة رقم*(2.8)* وكانت: $C = 0.03\ Mscfd / Psia^{2n}$

ومما تقدم نستنتج معادلة التصريف المستقرة للبئر وهي: $q_{sc} = 0.03(\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2)^{0.96}$ *(6.21)*



الشكل *(4.12)* يمثل ($P_{ws}^2 - P_{wf}^2$) مقابل (q_{sc})

اعتمادا على الجدول رقم *(4.2)* تم رسم المنحني الذي يمثل أداء البئر ،الشكل*(4.1)*.



الشكل *(4.8)* يمثل (P_{wf})مقابل (q_{sc})

اعتمادا على الجدول رقم *(4.2)* قمنا بحساب $(\bar{P}_R^2 - P_{wf}^2)/q_{sc}$ والنتائج موضحة في الجدول رقم *(4.4)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $(\Delta P^2/q_{sc})$ مقابل (q_{sc})باحداثيات ديكارتية، الشكل *(4.2)*.

اعتمادا على المعادلة *(2.19)* والجدول *(4.2)* قمنا بحساب $(\Delta m(P)/q_{sc})$ والنتائج موضحة في الجدول رقم *(4.4)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $(\Delta m(P)/q_{sc})$مقابل (q_{sc})باحداثيات ديكارتية، الشكل *(4.3)*.

من الشكل رقم *(4.2)* حصلنا على: $B=42.136$, $F=0.0007$

من الشكل رقم *(4.3)* حصلنا على: $B=925.332$, $F=0.0629$

وبالتالي تكون معادلات التصريف لهذا البئر كما يلي:

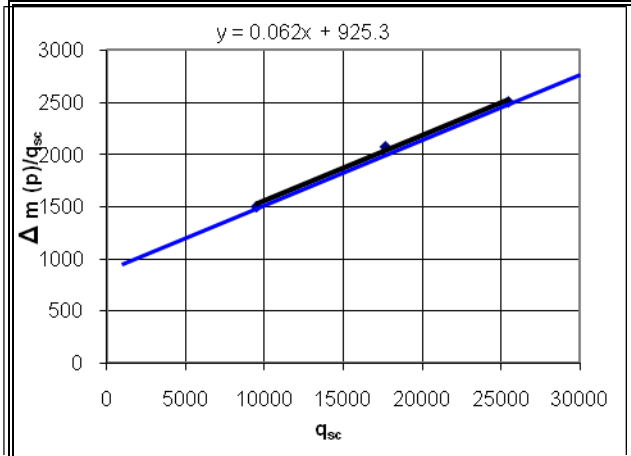
$$\bar{P}_R^2 - P_{wf}^2 = 0.0007q_{sc}^2 + 42.136q_{sc}$$

أو

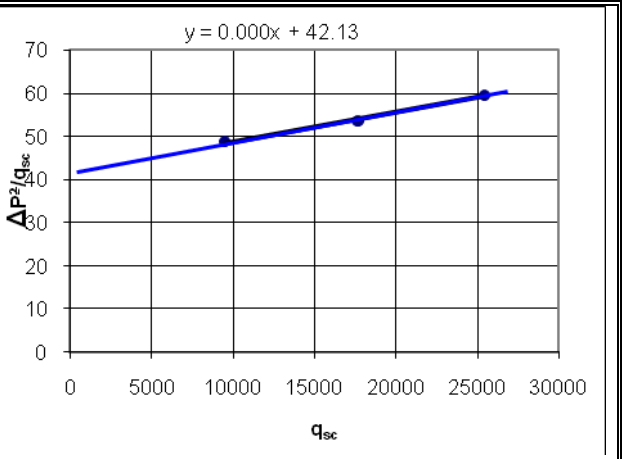
$$m(\bar{P}_R) - m(P_{wf}) = 925.332q_{sc}^2 + 0.0629q_{sc}$$

الجدول*(4.12)* نتائج حساب $(\Delta m(P)/q_{sc})$

P_{wf}	$\bar{P}_R^2 - P_{wf}^2$	q_{sc}	$m(P_{wf})$	$\Delta m(P)$	$\Delta m(P)/q_{sc}$
3904	464153	9508.144	936.3024	14297200	1503.6794
3842	944405	17660.5	913.9452	36654400	2075.5018
3767	1515080	25436.88	886.9002	63699400	2504.2144
$\bar{P}_R = 3963 \quad Psia$			$m(\bar{P}_R) = 950.6\times10^6\ Psia^2/cp$		



الشكل *(4.13)* يمثل $(\Delta m(P)/q_{sc})$ مقابل (q_{sc})



الشكل *(4.14)* يمثل $(\Delta P^2/q_{sc})$مقابل (q_{sc})

باستخدام المعادلات *(2.2)* و *(2.3)* و *(2.6)* حصلنا على:

قيمة النفوذية الفعالة بالنسبة للغاز كانت: $K_g = 9.84\ md$

قيمة سعة الجريان كانت: $K_g.h = 903.78\ md.ft$

قيمة ناقلية الطبقة كانت: $K_g.h/\mu_g = 41667.85\ md.\ ft/cp$

قيمة معامل الاضطراب كانت: $D = 3.44\times10^{-5}\ \ (Mscfd)^{-1}$

قيمة عامل الظاهرة السطحية الكلي كانت: $S' = -6.79$

قيمة عامل الظاهرة السطحية كانت: $S = -6.91$

باستخدام المعادلات *(2.36)* و *(2.37)* و *(2.6)* حصلنا على:

قيمة النفوذية الفعالة بالنسبة للغاز كانت: $K_g = 5.96\ md$

قيمة سعة الجريان كانت: $K_g.h = 547.14\ md.ft$

قيمة ناقلية الطبقة كانت: $K_g.h/\mu_g = 2522559\ md.\ ft/cp$

قيمة معامل الاضطراب كانت: $D = 3.81\times10^{-5}\ \ (Mscfd)^{-1}$

قيمة عامل الظاهرة السطحية الكلي كانت: $S' = -8.29$

قيمة عامل الظاهرة السطحية كانت: $S = -8.42$

٤-١-١-٤- حساب الزمن اللازم لاستقرار البئر:

قمنا بحساب الزمن اللازم لاستقرار البئر فكان: $t_s = 1588.8\ hr = 66.2\ day = 0.182\ year$

٤-١-٢-١- تحليل اختبار استعادة الضغط لبئر أبو رباح -٣ باستخدام طريقة الضغط الزائف:

تم حساب قيم الضغط الزائف المقابلة لقيم الضغط الحقيقي للغاز باستخدام المعادلة*(2.42)* والنتائج موضحةبالجدول رقم *(4.15)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $m(P)$ مقابل (P)، الشكل *(4.12)*، ومنه حصلنا على العلاقة بين $m(P)$ و (P) وهي التالية:

$$m(p) = (0.3392P - 540.09)\times10^6 \quad (6.24)$$

تم حساب قيم الضغط الزائف المعدل المقابلة لقيم الضغط الحقيقي للغاز باستخدام المعادلة*(2.40)* والنتائج موضحةبالجدول رقم *(4.16)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل (P_{Pn}) مقابل (P)، الشكل *(4.12)*

ومنه حصلنا على العلاقة بين (P_{Pn}) و (P) وهي التالية:

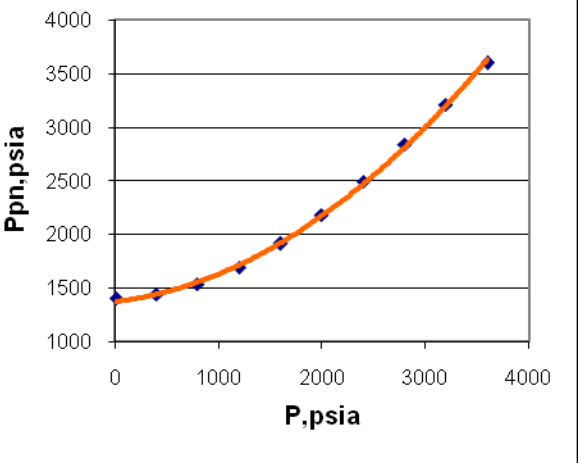
$$P_{Pn} = 0.9546P + 160.08 \quad (6.25)$$

الجدول *(4.15)* نتائج حساب الضغط الزائف للغاز الحقيقي

$P, Psia$	μ, cp	Z	$2P/\mu.Z$	ΔP	$2\overline{P}/\mu.Z$	$\frac{2\overline{P}}{\mu.Z}\times\Delta P$	$m(p) = \sum(\frac{2\overline{P}}{\mu.Z})\times\Delta P$	$m(p)\times10^{-6}$ $Psia^2/cp$
14.7	0.01322	0.999	2226.1293	385.3	1113.0647	428863.811	428863.8109	0.4289
400	0.01350	0.967	61281.55	400	1113.0647	445225.861	874089.6721	0.8741
800	0.01399	0.939	121797.02	400	31753.84	12701535.9	13575625.62	13.5756
1200	0.01465	0.915	179041.01	400	91539.287	36615714.8	50191340.45	50.1913
1600	0.01545	0.897	230902.72	400	150419.02	60167607.1	110358947.5	110.3589
2000	0.01639	0.885	275764.13	400	204971.87	81988746.6	192347694.1	192.3477
2400	0.01743	0.881	312584.86	400	253333.42	101333369	293681063.4	293.6811
2800	0.01855	0.885	341115.02	400	294174.49	117669797	411350860.8	411.3509
3200	0.01973	0.896	362030.27	400	326849.94	130739976	542090837.2	542.0908
3600	0.02089	0.912	377919.43	400	351572.64	140629057	682719894.3	682.7199

الجدول *(4.16)* نتائج حساب الضغط الزائف المعدل للغاز الحقيقي

$P,_{Psia}$	$\mu,_{cp}$	Z	$P/\mu.Z$	ΔP	$\overline{P}/\mu.Z$	$\frac{\overline{P}}{\mu.Z}\times\Delta P$	$\int_{p_i}^{p}\frac{p.dp}{\mu_g.Z}$	$p_{pn},_{Psia}$
14.7	0.01322	0.999	1113.0647	-385.3	15876.92	-6117377.25	-414684481	1405.434
400	0.01350	0.967	30640.775	-400	45769.644	-18307857.42	-408567104	1437.808
800	0.01399	0.939	60898.512	-400	75209.509	-30083803.53	-390259246	1534.696
1200	0.01465	0.915	89520.506	-400	102485.93	-40994373.3	-360175443	1693.904
1600	0.01545	0.897	115451.36	-400	126666.71	-50666684.66	-319181069	1910.851
2000	0.01639	0.885	137882.06	-400	147087.25	-58834898.71	-268514385	2178.986
2400	0.01743	0.881	156292.43	-400	163424.97	-65369988.16	-209679486	2490.348
2800	0.01855	0.885	170557.51	-400	175786.32	-70314528.55	-144309498	2836.295
3200	0.01973	0.896	181015.13	-400	184987.42	-73994969.33	-73994969.3	3208.409
3600	0.02089	0.912	188959.71					3600.000



الشكل *(4.17)* يمثل $m(P)$ مقابل (P)

الشكل *(4.18)* يمثل (P_{Pn}) مقابل (P)

اعتمادا على المعادلة *(4.25)* تم حساب قيم P_{Pn} المقابلة لقيم (P_{ws})من الجدول رقم *(4.16)* والنتائج موضحة في الجدول رقم *(4.21)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل P_{Pn} مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$، الشكل *(4.19)*، والذي منه حصلنا على قيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $\overline{P}_R = 4127.3\ \ Psia$

اعتمادا على المعادلة *(4.24)* تم حساب قيم $m(P_{ws})$ المقابلة لقيم (P_{ws})من الجدول رقم *(6.60)* والنتائج موضحة في الجدول رقم *(4.21)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $m(P_{ws})$ مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$، الشكل *(4.20)*،والذي منه حصلنا على ما يلي:

قيمة الضغط الزائف المقابلة لقيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $m(\overline{P}_R) = 860\times10^6\ \ Psia^2/cp$

قيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $\overline{P}_R = 4127.62\ \ Psia$

قيمة الضغط الزائف عند الزمن $(\Delta t = 0)$كانت: $m(P_{1hr}) = 798\times10^6\ \ Psia^2/cp$

ميل الجزء المستقيم من منحني استعادة الضغط هو: $m = 92.245\times10^6\ \ Psia^2/cp.\log cycle$

قيمة الضغط الزائف المقابلة لقيمة ضغط قاع البئر الجرياني وكانت: $m(P_{wf}) = 29.5\times10^{6}\ Psia^2/cp$

باستخدام الحاسوب قمنا بحساب مايلي:

قيمة عامل انضغاط الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $Z = 0.945$

قيمة لزوجة الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $\mu_g = 0.0223\ cp$

قيمة انضغاطية الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_g = 2.7\times10^{-4}\ Psia^{-1}$

قيمة انضغاطية صخر المكمن عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_R = 16\times10^{-6}\ Psia^{-1}$

قيمة انضغاطية الماء عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_w = 8\times10^{-6}\ Psia^{-1}$

قيمة الانضغاطية الكلية عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_t = 294\times10^{-6}\ Psia^{-1}$

قيمة عامل حجم الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $B_g = 41.2\times10^{-4}$

قيمة كثافة الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $\rho_g = 183\ kg/m^3$

قيمة النفوذية الفعالة بالنسبة للغاز كانت: $K_g = 1.117\ md$

قيمة سعة الجريان كانت: $K_g.h = 84.27\ md.ft$

قيمة ناقلية الطبقة كانت: $K_g.h/\mu_g = 3778.91\ md.\ ft/cp$

قيمة معامل الاضطراب كانت: $D = 6.4\times10^{-5}\ (Mscfd)^{-1}$

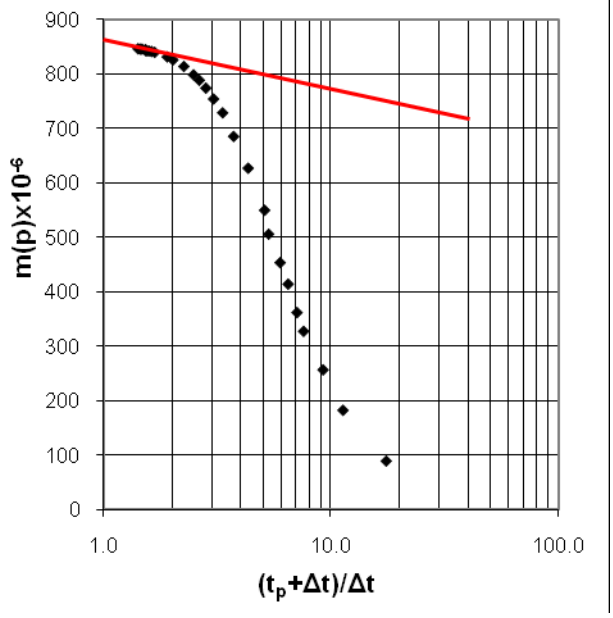
قيمة عامل الظاهرة السطحية الكلي كانت: $S' = +4.54$

قيمة عامل الظاهرة السطحية كانت: $S = +4.06$

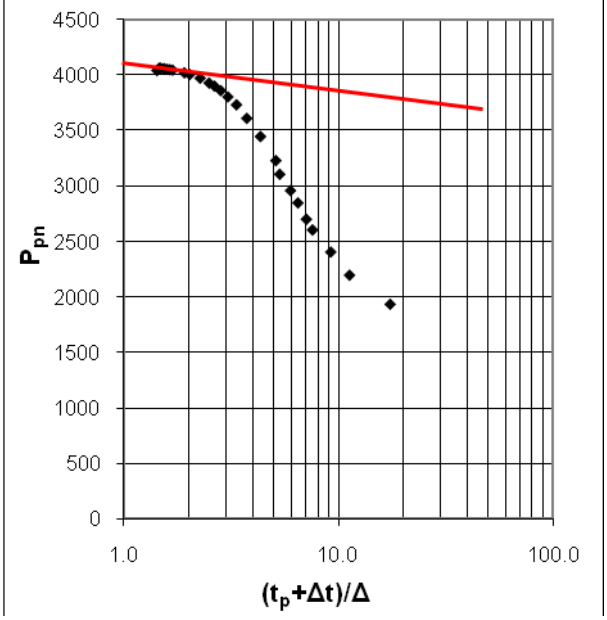
الجدول *(4.21)* نتائج حساب كل من (P_{Pn}) و $m(P_{ws})$

$\Delta t, hr$	$P_{ws}, Psia$	$(t_p+\Delta t)/\Delta t$	$m(P_{ws})\times10^{-6}$	$P_{Pn}, Psia$
0.0000	1679.181		29.4882	1763.02618
0.2434	1856.61	17.4309	89.6721	1932.39991
0.3894	2131.5	11.2710	182.9148	2194.8099
0.4869	2350.53	9.2145	257.2098	2403.89594
0.6086	2559.27	7.5723	328.0144	2603.15914
0.6572	2660.7	7.0862	362.4194	2699.98422
0.7303	2815.05	6.4774	414.7750	2847.32673
0.8033	2931.18	5.9793	454.1663	2958.18443
0.9250	3085.53	5.3243	506.5218	3105.52694
0.9739	3214.89	5.1072	550.4007	3229.01399
1.2022	3442.74	4.3272	627.6874	3446.5196
1.4608	3614.73	3.7382	686.0264	3610.70126
1.7042	3742.62	3.3472	729.4067	3732.78505
1.9475	3817.59	3.0539	754.8365	3804.35141
2.1911	3876.39	2.8256	774.7815	3860.48189
2.4344	3919.02	2.6431	789.2416	3901.17649
2.6781	3948.42	2.4936	799.2141	3929.24173
3.1650	3993.99	2.2638	814.6714	3972.74285
3.8953	4029.27	2.0269	826.6384	4006.42114
4.3822	4045.44	1.9128	832.1232	4021.85702
5.8428	4070.43	1.6846	840.5999	4045.71248

6.3297	4074.84	1.6319	842.0957	4049.92226
6.8167	4077.78	1.5868	843.0930	4052.72879
7.3231	4077.78	1.5462	843.0930	4052.72879
7.4739	4085.13	1.5352	845.5861	4059.7451
8.2772	4088.07	1.4833	846.5833	4062.55162
8.7642	4088.07	1.4564	846.5833	4062.55162
9.4167	4089.54	1.4248	847.0820	4042.01136



الشكل *(4.20)* يمثل $m(P_{ws})$ مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$



الشكل *(4.19)* يمثل P_{Pn} مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$

٤-١-٢-٢- تحليل الاختبارات الإنتاجية لبئر أبو رباح -٣:

قمنا برسم المنحني الذي يمثل $(P_{ws}^2-P_{wf}^2)$ مقابل (q_{sc})وتمثيل النقطةالمستقرة على ذات المنحني والتي تمثل $(\overline{P}_R^2-P_{wf}^2)$ مقابل (q_{sc}) وذلك اعتمادا على الجدول رقم *(4.17)* ، الشكل *(4.22)*، والذي حصلنا منه على قيمة الأس (n) وكانت $(n=0.53)$.

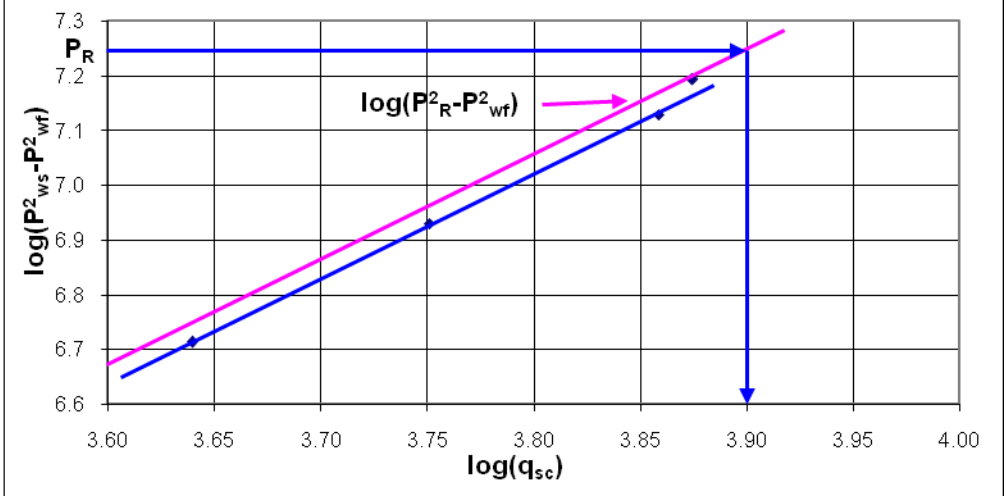
كما حصلنا على قيمة أقصى معدل للجريان المفتوح وكانت: $AOF=7943.28\ \ Mscfd$

حسبنا قيمة AOF باستخدام المعادلة *(2.9)* وكانت:$(n=0.53\ \ ,C=1.154)$: $AOF=7849.72\ \ Mscfd$

$$\Leftrightarrow q_{opt}=2616.573\,Mscfd \Leftrightarrow P_{wf}=3859.204\,Psia \Leftrightarrow P_{tf}=3291.45\,Psia \Leftrightarrow P_{sep}=3291.26\,Psia$$

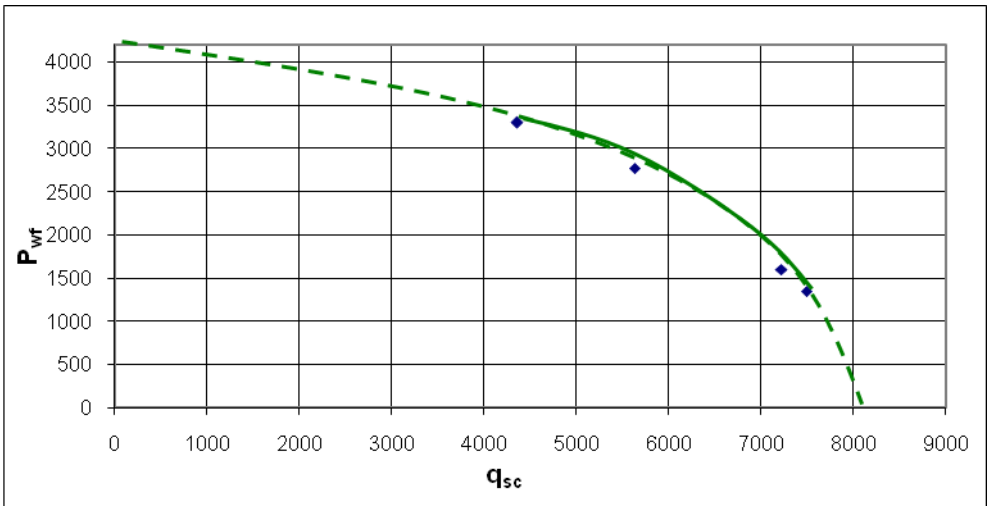
قمنا بحساب قيمة (C) وذلك اعتمادا على المعادلة رقم*(2.8)* وكانت: $C=1.154 Mscfd/Psia^{2n}$

ومما تقدم نستنتج معادلة التصريف المستقرة للبئر وهي: $q_{sc}=1.154(\overline{P}_R^2-P_{wf}^2)^{0.53}$ *(4.26)*



الشكل *(4.22)* يمثل $(P_{ws}^2 - P_{wf}^2)$ مقابل (q_{sc})

اعتمادا على الجدول رقم *(4.17)* تم رسم المنحني الذي يمثل أداء البئر ،الشكل*(4.23)*.



الشكل *(4.23)* يمثل (P_{wf})مقابل (q_{sc})

٤-١-٢-٣- حساب الزمن اللازم لاستقرار البئر:

قمنا بحساب الزمن اللازم لاستقرار البئر فكان: $t_s = 14654.75hr = 610.614day = 1.678year$

٤-١-٣-١- المعطيات المتوفرة من اختبارات بئر أبو رباح -٤:

الجدول *(4.24)* يبين نتائج اختبار استعادة الضغط لبئر أبو رباح -٤

$\Delta t, hr$	$P_{ws, Psia}$	P_{ws}^2	$(t_p + \Delta t)/\Delta t$	$P_{ws}^2 \times 10^{-6}$
0.0000	3140.87	9865064.357	---	9.865
0.0036	3160.553	9989095.27	1112.1110	9.989
0.0080	3418.72	11687646.4	499.7531	11.688
0.0125	3631	13184161	321.5128	13.184
0.0191	3930.486	15448720.2	209.9864	15.449
0.0244	3938.196	15509387.7	164.7331	15.509

0.0506	3945.89	15570047.9	80.00454	15.570
0.0755	3951.011	15610487.9	53.98013	15.610
0.1026	3956.126	15650932.9	39.98635	15.651
0.1263	3961.234	15691374.8	32.67063	15.691
0.1480	3966.335	15731813.3	28.02703	15.732
0.1739	3971.43	15772256.2	24.00173	15.772
0.2000	3973.975	15792477.3	21.0000	15.792
0.2220	3976.518	15812695.4	19.01802	15.813
0.2450	3981.6	15853138.6	17.32653	15.853
0.2670	3984.138	15873355.6	15.98127	15.873
0.3000	3985.407	15883469	14.33333	15.883
0.3330	3989.21	15913796.4	13.01201	15.914
0.3750	3991.744	15934020.2	11.66667	15.934
0.3930	3992.251	15938068	11.17812	15.938
0.4290	3992.757	15942108.5	10.32401	15.942
0.4440	3993.264	15946157.4	10.00901	15.946
0.4550	3996.807	15974466.2	9.791209	15.974

الجدول *(4.25)* يبين نتائج الاختبارات الإنتاجية التي تم إجراءها لبئر أبو رباح -٤

قطر الفالة inch	t, hr	$P_{wf}, Psia$	$P_{ws}, Psia$	$q_{sc}, Mscfd$	$(P_{ws}^2 - P_{wf}^2)\times 10^{-3}$
16/64	4.3	3527.412	4138.932	3991.8664	4688.1227
24/64	4	2596.461	4114.971	6337.8208	10191.377
32/64	4	1728.132	4091.451	7381.1736	13753.531
28/64	15.3	2315.397		5952.1264	10938.97

الجدول*(4.26)* يبين نتائج تحليل عينة غاز مأخوذة من أبو رباح -٤

اسم المركب	الصيغة الكيميائية	الوزن الجزيئي M_i	الكسر المولي للمركب	درجة الحرارة الحرجة $T_C, {}^\circ R$	الضغط الحرج $P_C, Psia$
الميتان	CH_4	16.04	0.92068	343.37	667.8
الايتان	C_2H_6	30.07	0.03404	550.09	707.8
البروبان	C_3H_8	44.09	0.00741	666.01	616.3
ايزو-بوتان	$i-C_4H_{10}$	58.12	0.00321	734.98	529.1
ن-البوتان	$n-C_4H_{10}$	58.12	0.00454	765.65	550.7
ايزو-بنتان	$i-C_5H_{12}$	72.15	0.00364	829.1	490.4
ن-بنتان	$n-C_5H_{12}$	72.15	0.00056	845.7	488.6
الهكسان	C_6H_{14}	86.17	0.005442	913.7	436.9
الهبتان وما فوق	C_7^+	108.017	0.000158	1021	385.58
ثاني اكسيد الكربون	CO_2	44.01	0.00699	547.9	1071
النتروجين	N_2	28.02	0.01333	227.6	493
كبريت الهيدروجين	H_2S	34.08	0	673	1073

تم تحليل عينة مياه مأخوذة من هذا البئر وكانت كمية(*NACL*) تساوي *PPM140000*

٤-١-٣-٢- تحليل اختبار استعادة الضغط لبئر أبو رباح -٤ باستخدام طريقة الضغط الزائف:

تم حساب قيم الضغط الزائف المقابلة لقيم الضغط الحقيقي للغاز باستخدام المعادلة*(2.42)* والنتائج موضحةبالجدول رقم *(4.26)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $m(P)$ مقابل (P)، الشكل *(4.17)*، ومنه حصلنا على العلاقة بين $m(P)$ و (P) وهي التالية:

$$m(p) = (0.2947P - 387.02)\times 10^6 \quad (4.27)$$

تم حساب قيم الضغط الزائف المعدل المقابلة لقيم الضغط الحقيقي للغاز باستخدام المعادلة*(2.40)* والنتائج موضحةبالجدول رقم *(4.27)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل (P_{Pn}) مقابل (P)، الشكل *(4.18)*، ومنه حصلنا على العلاقة بين (P_{Pn}) و (P) وهي التالية:

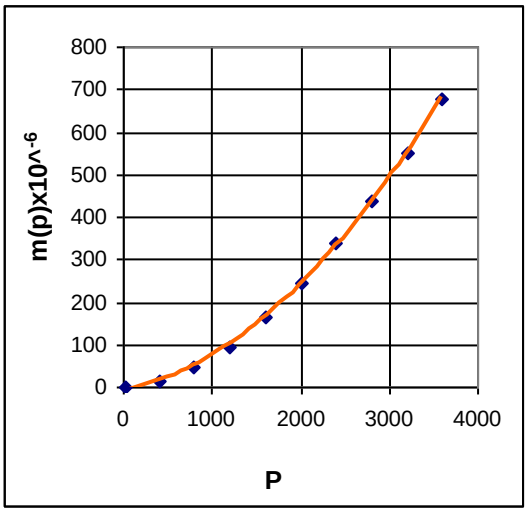
$$P_{Pn} = 0.8605P + 497.33 \quad (6.28)$$

الجدول *(4.26)* نتائج حساب الضغط الزائف للغاز الحقيقي

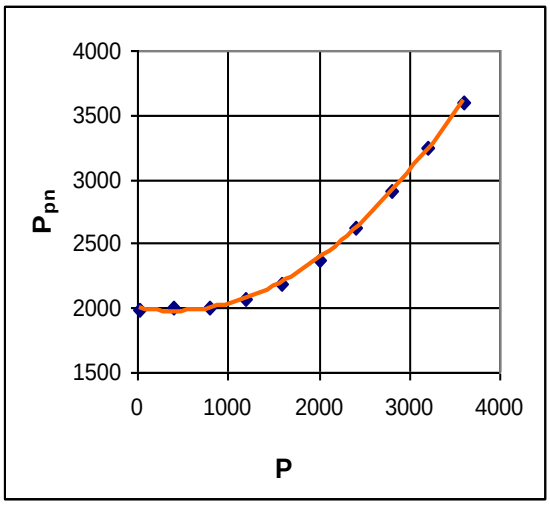
$P, Psia$	μ, cp	Z	$2P/\mu.Z$	ΔP	$2\overline{P}/\mu.Z$	$\frac{2\overline{P}}{\mu.Z}\times\Delta P$	$m(p) = \Sigma(\frac{2\overline{P}}{\mu.Z})\times\Delta P$	$m(p)\times 10^{-6}$ $Psia^2/cp$
14.7	0.01336	0.999	2198.3982	385.3	1099.1991	423521.4139	423521.4139	0.4235
400	0.01364	0.969	56832.845	400	29515.621	11806248.56	12229769.97	12.2298
800	0.01413	0.943	106779.9	400	81806.373	32722549.1	44952319.07	44.9523
1200	0.01477	0.921	149654.71	400	128217.3	51286921.28	96239240.35	96.2392
1600	0.01555	0.904	186032.15	400	167843.43	67137371.96	163376612.3	163.3766
2000	0.01645	0.894	217386.02	400	201709.09	80683634.52	244060246.8	244.0602
2400	0.01746	0.891	244948.45	400	231167.24	92466894.37	336527141.2	336.5271
2800	0.01855	0.896	270490.57	400	257719.51	103087803.9	439614945.1	439.6149
3200	0.01968	0.906	294634.15	400	282562.36	113024942.5	552639887.6	552.6399
3600	0.02082	0.922	318847.26	400	306740.7	122696281.7	675336169.3	675.3362

الجدول *(4.27)* نتائج حساب الضغط الزائف المعدل للغاز الحقيقي

$P, Psia$	μ, cp	Z	$P/\mu.Z$	ΔP	$\overline{P}/\mu.Z$	$\frac{\overline{P}}{\mu.Z}\times\Delta P$	$\int_{p_i}^{p}\frac{p.dp}{\mu_g.Z}$	$p_{pn}, Psia$
14.7	0.01336	0.999	1101.4008	-385.3	550.7004	-212184.865	-301081142	1994.565
400	0.01364	0.969	30263.688	-400	1101.4008	-440560.321	-300868958	1995.697
800	0.01413	0.943	60039.371	-400	30263.688	-12105475	-300428397	1998.046
1200	0.01477	0.921	88214.732	-400	60039.371	-24015748.3	-288322922	2062.595
1600	0.01555	0.904	113820.68	-400	88214.732	-35285892.9	-264307174	2190.652
2000	0.01645	0.894	135996.14	-400	113820.68	-45528270.2	-229021281	2378.805
2400	0.01746	0.891	154272.78	-400	135996.14	-54398455.1	-183493011	2621.572
2800	0.01855	0.896	168463.61	-400	154272.78	-61709111	-129094556	2911.638
3200	0.01968	0.906	179471.99	-400	168463.61	-67385444.7	-67385445	3240.685
3600	0.02082	0.922	187538.68		179471.99			3600.000



الشكل *(4.18)* يمثل (P_{Pn}) مقابل (P)



الشكل *(4.17)* يمثل $m(P)$ مقابل (P)

اعتمادا على المعادلة *(4.28)* تم حساب قيم P_{Pn} المقابلة لقيم (P_{ws})من الجدول رقم *(4.23)* والنتائج موضحة في الجدول رقم *(6.75)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل P_{Pn} مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$، الشكل *(6.66)*، والذي منه حصلنا على قيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $\overline{P}_R = 4068.18\ \ Psia$

اعتمادا على المعادلة *(4.27)* تم حساب قيم $m(P_{ws})$ المقابلة لقيم (P_{ws})من الجدول رقم *(4.23)* والنتائج موضحة في الجدول رقم *(4.28)*، ثم رسمنا المنحني الذي يمثل $m(P_{ws})$ مقابل $(t_p+\Delta t)/\Delta t$، الشكل *(4.29)*،والذي منه حصلنا على ما يلي:

قيمة الضغط الزائف المقابلة لقيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $m(\overline{P}_R) = 812\times10^6\ \ Psia^2/cp$

قيمة متوسط ضغط المكمن وكانت: $\overline{P}_R = 4068.612\ \ Psia$

قيمة الضغط الزائف عند الزمن $(\Delta t = 0)$كانت: $m(P_{1hr}) = 797\times10^6\ \ Psia^2/cp$

ميل الجزء المستقيم من منحني استعادة الضغط هو: $m = 15.584\times10^6\ \ Psia^2/cp.\log cycle$

قيمة الضغط الزائف المقابلة لقيمة ضغط قاع البئر الجرياني: $m(P_{wf}) = 538.594\times10^6\ \ Psia^2/cp$

باستخدام الحاسوب قمنا بحساب مايلي:

قيمة عامل انضغاط الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $Z = 0.947$

قيمة لزوجة الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $\mu_g = 0.02215\ \ cp$

قيمة انضغاطية الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_g = 3.1\times10^{-4}\ \ Psia^{-1}$

قيمة انضغاطية صخر المكمن عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_R = 14\times10^{-6}\ \ Psia^{-1}$

قيمة انضغاطية الماء عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_w = 10\times10^{-6}\ \ Psia^{-1}$

قيمة الانضغاطية الكلية عند متوسط ضغط المكمن كانت: $C_t = 294\times10^{-6}\ \ Psia^{-1}$

قيمة عامل حجم الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $B_g = 42.4\times10^{-4}$

قيمة كثافة الغاز عند متوسط ضغط المكمن كانت: $\rho_g = 179.5\ \ kg/m^3$

قيمة النفوذية الفعالة بالنسبة للغاز كانت: $K_g = 17.8\ 1md$

قيمة سعة الجريان كانت: $K_g.h = 350.49 \ \ md.ft$

قيمة ناقلية الطبقة كانت: $K_g.h/\mu_g = 15823.342 \ \ md.\ ft/cp$

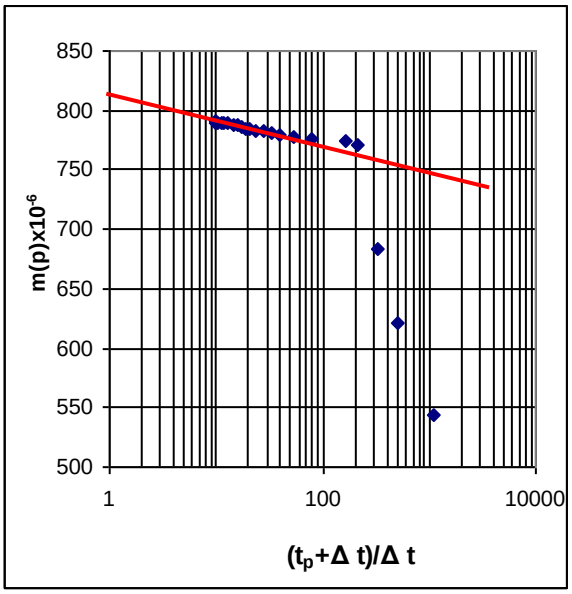
قيمة معامل الاضطراب كانت: $D = 14.2\times10^{-5} \ \ (Mscfd)^{-1}$

قيمة عامل الظاهرة السطحية الكلي كانت: $S' = +12.83$

قيمة عامل الظاهرة السطحية كانت: $S = +12.2$

الجدول *(4.28)* نتائج حساب كل من (P_{Pn}) و $m(P_{ws})$

$\Delta t, hr$	$P_{ws}, Psia$	$(t_p + \Delta t)/\Delta t$	$m(P_{ws})\times10^{-6}$	$P_{Pn}, Psia$
0.0000	3140.87	---	538.6	3200.05
0.0036	3160.553	1112.111	544.3950	3216.986
0.0080	3418.72	499.753	620.4768	3439.139
0.0125	3631	321.513	683.0357	3621.806
0.0191	3930.486	209.986	771.2942	3879.513
0.0244	3938.196	164.733	773.5664	3886.148
0.0506	3945.89	80.005	775.8338	3892.768
0.0755	3951.011	53.980	777.3429	3897.175
0.1026	3956.126	39.986	778.8503	3901.576
0.1263	3961.234	32.671	780.3557	3905.972
0.1480	3966.335	28.027	781.8589	3910.361
0.1739	3971.43	24.002	783.3604	3914.746
0.2000	3973.975	21.000	784.1104	3916.935
0.2220	3976.518	19.018	784.8599	3919.124
0.2450	3981.6	17.327	786.3575	3923.497
0.2670	3984.138	15.981	787.1055	3925.681
0.3000	3985.407	14.333	787.4794	3926.773
0.3330	3989.21	13.012	788.6002	3930.045
0.3750	3991.744	11.667	789.3470	3932.226
0.3930	3992.251	11.178	789.4964	3932.662
0.4290	3992.757	10.324	789.6455	3933.097
0.4440	3993.264	10.009	789.7949	3933.534
0.4550	3996.807	9.791	790.8390	3936.582



الشكل *(4.29)* يمثل $m(P_{ws})$ مقابل $(t_p + \Delta t)/\Delta t$

٤-١-٣-٣- تحليل الاختبارات الإنتاجية لبئر أبو رباح -٤:

قمنا برسم المنحني الذي يمثل $(P_{ws}^2 - P_{wf}^2)$ مقابل (q_{sc})وتمثيل النقطةالمستقرة على ذات المنحني والتي تمثل $(\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2)$ مقابل (q_{sc}) وذلك اعتمادا على الجدول رقم *(4.24)* ، الشكل *(4.30)*، والذي حصلنا منه على قيمة الأس (n) وكانت $(n = 0.58)$.

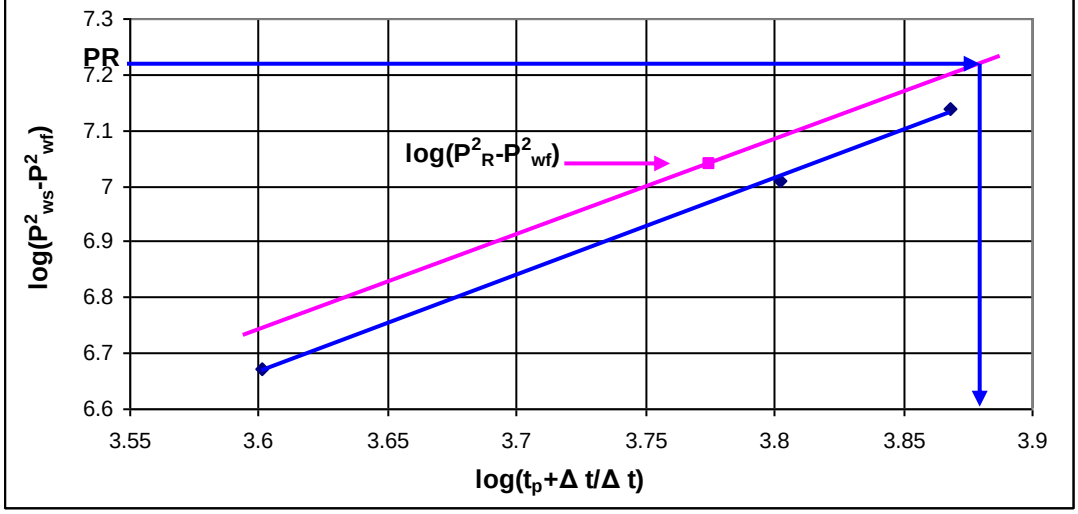
كما حصلنا على قيمة أقصى معدل للجريان المفتوح وكانت: $AOF=7585.8\ \ Mscfd$

حسبنا قيمة AOF باستخدام المعادلة *(2.9)* وكانت:*(n=0.58 ,C=0.579)* : $AOF=8905.05\ \ Mscfd$

$$\Leftrightarrow q_{opt} = 2968.35\ Mscfd \Leftrightarrow P_{wf} = 3750.1\ Psia \Leftrightarrow P_{tf} = 2154.52\ Psia \Leftrightarrow P_{sep} = 3154.25\ Psia$$

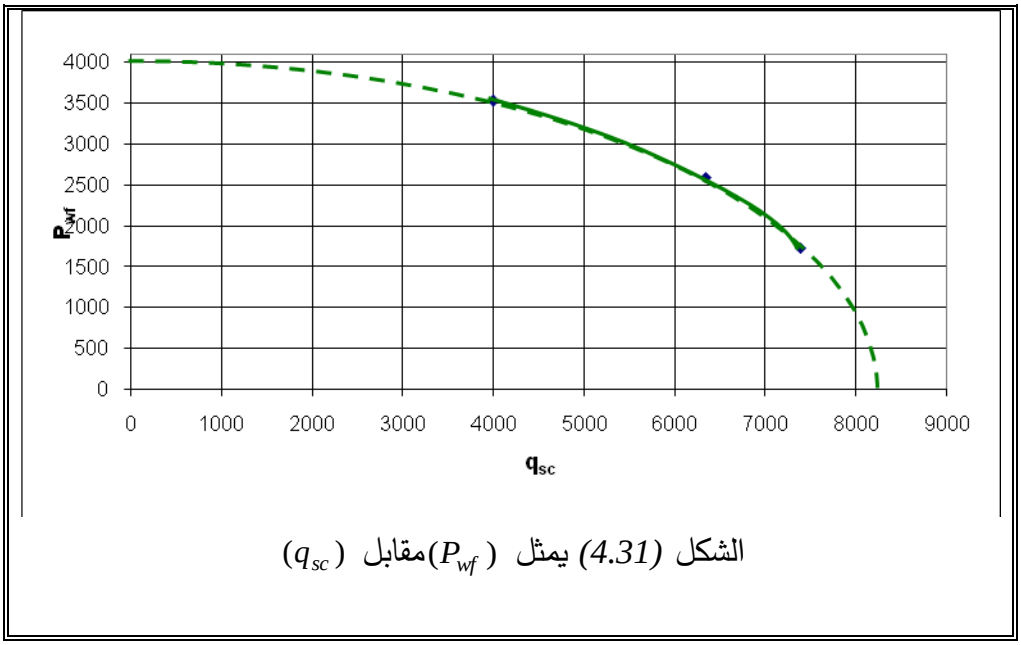
قمنا بحساب قيمة (C) وذلك اعتمادا على المعادلة رقم*(2.8)* وكانت: $C = 0.579\ \ Mscfd/Psia^{2n}$

ومما تقدم نستنتج معادلة التصريف المستقرة للبئر وهي: $q_{sc} = 0.579(\overline{P}_R^2 - P_{wf}^2)^{0.58}$ *(4.29)*



الشكل *(4.30)* يمثل $(P_{ws}^2 - P_{wf}^2)$ مقابل (q_{sc})

اعتمادا على الجدول رقم *(4.24)* تم رسم المنحني الذي يمثل أداء البئر ،الشكل*(4.31)*.



الشكل *(4.31)* يمثل (P_{wf})مقابل (q_{sc})

المصطلحات العلمية

A	
Area	مساحة
Absolute Permeability	النفوذية المطلقة
Approach	تقريب
Average	متوسط
Absolute Open Flow	أقصى معدل للجريان المفتوح
Abandonment Pressure	الضغط النهائي (ضغط الهجر)
Average Temperature	متوسط درجة الحرارة
Average Pressure	متوسط الضغط
Absolute Open Flow Potential	أقصى معدل للجريان المفتوح
Analytical Expression	التعبير التحليلي
Apparent Molecular Weight	الوزن الجزيئي الظاهري
Average of reservoir pressure	متوسط ضغط المكمن
B	
Bottom-Hole Pressures	ضغوط قاع البئر
C	
Compressor	ضاغط
Composition	التركيب
Compressibility	الانضغاطية
Connate Water	المياه المترابطة
Closed Reservoir	مكمن مغلق
Compressibility Factor	عامل الانضغاط
Corresponding States Law	قانون الحالات المقترنة
Critical	الحرجة
Correction for non hydrocarbon Impurities	التصحيح لأجل المركبات غير الهيدروكربونية
Correction Factor	عامل التصحيح
Constant	ثابت
Condensate	المكثفات

Critical Pressure	الضغط الحرج
Critical Temperature	درجة الحرارة الحرجة
Cumulative Gas Production	الإنتاجية التراكمية من الغاز
Consolidated Sandstone	حجر رملي متماسك
Consolidated Limestone	حجر كلسي متماسك
D	
Diffusivity Equation	معادلة الانتشارية
Dimensionless	بدون أبعاد
Degrees Rankin	درجات رانكين
Depletion	استنزاف
Depth	العمق
Diameter	قطر
E	
Extended Flow	الجريان الموسع
Expression	مقدار جبري
F	
Flowing Bottom Hole Pressure	ضغط قاع البئر الجرياني
Flow	جريان
Flow-After-Flow Testing	اختبار معدلات الجريان المتعاقبة
Fluid	مائع
Flow Rate	معدل الجريان
Figure	شكل
Factor	عامل
Forces Friction	قوى الاحتكاك
Flowing Tubing Pressure	الضغط الجرياني لمواسير الإنتاج
Flowing Tubing Temperature	درجة حرارة مواسير الإنتاج الجريانية
Friction Factor	عامل الاحتكاك
G	
Gas field Development	تطوير حقل الغاز
Gas Saturation	درجة التشبع بالغاز
Gas Formation Volume Factor	عامل حجم الغاز

Gas Production System	منظومة إنتاج الغاز
Gas Water Level	خط التقاء النفط بالماء
Gradient	تدرج
Gas Initial in Place	الغاز الأولي في مكان تواجده
H	
Horizontal	أفقي
Hydraulic Resistance	المقاومة الهيدروليكية
I	
Inflow Performance	أدائية التدفق
Infinite acting	غير محدود
Interference	التداخل
Isochronal Testing	اختبار الفترات الزمنية المتساوية
Ideal	مثالي
L	
Law	قانون
Laminar	خطي (صفائحي)
Layer	طبقة
Liquid	سائل
Length	الطول
M	
Manometer	مقياس
Multipoint Testing	الاختبار متعدد النقاط
Molecular Weight	الوزن الجزيئي
Mole Fraction	الكسر المولي
Mixture	خليط
Map	خارطة
Medis	وسط
Method	طريقة
N	
Nodal Analysis	التحليل العقدي
Numerical Integration	التكامل العددي

Noncircular Reservoir	مكامن غير دائرية
O	
Organic Compounds	مركبات عضوية
P	
Pseudo Time	الزمن الزائف
Pseudo Pressure	الضغط الزائف
Modified Pseudo Time	الزمن الزائف المعدل
Modified Pseudo Pressure	الضغط الزائف المعدل
Pressure at the External Boundary	الضغط عند الحدود الخارجية
Initial Pressure	الضغط الأولي
Pseudo Critical Pressure	الضغط شبه الحرج (الحرج الزائف)
Pseudo Reduced Pressure	الضغط شبه المصغر (المصغر الزائف)
Pseudo Critical Temperature	درجة الحرارة شبه الحرجة (الحرجة الزائفة)
Pseudo Reduced Temperature	درجة الحرارة شبه المصغرة(المصغرة الزائفة)
Modified Isochronal Testing	اختبار تساوي الزمن (الاختبار المعدل)
Pressure Drawdown Testing	اختبار انخفاض الضغط
Pressure Buildup Testing	اختبار استعادة الضغط
Perforating Density	كثافة التثقيب
Production by Water Drive	الإنتاج بالدفع المائي
Physical Properties	الصفات الفيزيائية
Porosity	المسامية
Practical	عملي
Permeability	النفوذية
Pseudo Steady State Flow	جريان الحالة المستقرة الزائفة
Paraffin Hydrocarbons	هيدروكربونات بارافينية
Pseudo Critical	شبه حرجة (حرجة زائفة)
Production	إنتاج
Porous Media	الوسط المسامي
R	
Radial Flow	الجريان الشعاعي
Real Gas Pseudo Pressure Analysis	التحليل باستخدام الضغط الزائف للغاز الحقيقي

Reserve	الاحتياطي
Reservoir Performance	أدائية المكمن
Rocks	صخور
Real Gas	الغاز الحقيقي
Reduced Value	القيمة المصغرة
Reservoir and Piping System	منظومة المكمن والأنابيب
Reduced Pressure	الضغط المصغر
Reduced Temperature	درجة الحرارة المصغرة
Reynolds Number	عدد رينولدز
Relative Roughness	الخشونة النسبية
S	
Salinity	الملوحة
Static Bottom Hole Pressure	ضغط قاع البئر الساكن
Static Tubing Pressure	الضغط الساكن لمواسير الإنتاج
Separator Pressure	ضغط الفاصل
Semi-Steady	شبه مستقر
Semi-Log	نصف لوغاريتمي
Stabilization Time	زمن الاستقرار
Steady State Flow	جريان الحالة المستقرة
Skin Factor	عامل الظاهرة السطحية
Stabilized Deliverability Curve	منحني التصريف المستقر
Standard Conditions	الشروط القياسية
Solid	صلب
Static Tubing Temperature	درجة حرارة مواسير الإنتاج الساكنة
Slope	الميل
T	
Total System	المنظومة الكلية
Tubing	مواسير الإنتاج
Transient Tests	الاختبارات الانتقالية
Turbulence Coefficient	معامل الاضطراب
Table	جدول

Test	اختبار
Thickness	السماكة
U	
Unsteady State	الحالة غير المستقرة
Limits	حدود
Unconsolidated Sandstone	حجر رملي غير متماسك
Unlaminar	غير خطي
V	
Volumetric Method	الطريقة الحجمية
Viscosity	اللزوجة
Velocity Coefficient	معامل السرعة
Valve	صمام
Vertical	عمودي
W	
Well Head Pressure	ضغط رأس البئر
Water Encroachment	التعدي المائي
Water Drive	دفع الماء
Water Injection	حقن الماء
Water Coning	تقمع الماء

المراجع العلمية

باللغة العربية:

١- تقارير الشركة السورية للنفط – وثائق دائرة المخزون ودائرة الجيولوجيا ودائرة الإنتاج.

٢- **تقارير شركة Jason fugro (BELAAS field modeling –geological setting and facies analysis)**

٣- عبد الأحد، جورج – نوفل،عماد، 1995- **هيدروليك الموائع الجوفية.** مديرية الكتب والمطبوعات – جامعة البعث، حمص، (190) صفحة.

٤- عبد الأحد، جورج، 1998- **فيزياء الطبقة النفطية والغازية، الجزء الأول.** مديرية الكتب والمطبوعات- جامعة البعث، حمص، (202) صفحة.

باللغة الإنكليزية:

5- L.p.Dake, 1988- **Fundamentals of Reservoir Engineering.** Amsterdam, Netherlands,(438)P.

6- CHI U.Ikoku, 1992- **Natural Gas Reservoir Engineering.** Krieger Publishing Company Malbar, Florida,(503)P.

7- Roland.N.Horne,1995- **Modern Well Test Analysis.** Second Edition , Published by Petroway.Ins "Society of Petroleum Engineers" ,Dallas, TX, USA,(255)P.

8- John Wiley-Sons, 1998- **Well Testing.** Third Edition, Sclumberger Educational Services,(865)P.

9- Michael J.Economides-Kenneth G.Nolte, 2000-**Reservoir Stimulation.** First Edition, Sclumberger Educational Services,(710)P.

10- Schlumbeger ,**Well Test Interpretation**,2002- Schlumbeger website: http://www.slb.com

11-Amanat U.Chaudhhry,2003- **Gas Well Testing.** ……,(841)P

Syrian Arab Republic