$$\phi_k - \phi_c = \frac{q}{2\pi} \ell n \frac{(R_k - \delta)\left(\frac{R_k^2 - \delta^2}{\delta}\right)}{\left[\frac{R_k^2 - \delta^2}{\delta}(R_k - \delta)\right] r_c} =$$

$$= \frac{q}{2\pi} \ell n \frac{R_k^2 - \delta^2}{R_k \cdot r_c} = \frac{q}{2\pi} \ell n \left[\frac{R_k}{r_c}\left(1 + \frac{\delta^2}{R_k^2}\right)\right] \qquad (٤٠-٧)$$

وبالتالي يمكن تحديد الإنتاجية q :

$$q = \frac{2\pi(\phi_k - \phi_c)}{\ell n \left[\frac{R_k}{r_c}\left(1 + \frac{\delta^2}{R_k^2}\right)\right]} \qquad (٤١-٧)$$

عندما يقع البئر A في مركز الدائرة المشكلة من قبل كونتور التغذية ، أي $\delta = 0$ فإن المعادلة (٤١-٧) ستصبح معادلة ديوبي . إن الكمون في أية نقطة (M) والواقعة على مسافة r_1 من البئر A وعلى مسافة r_2 من البئر 'A فيمكن كتابة ما يلي :

$$\phi_M = \frac{q}{2\pi} \ell n\, r_1 - \frac{q}{2\pi} \ell n\, r_2 + C =$$

$$= \frac{q}{2\pi} \ell n \frac{r_1}{r_2} + C \qquad (٤٢-٧)$$

وبأخذ المعادلات (٣٧-٧) ، (٣٨-٧) بعين الإعتبار يمكن كتابة ما يلي :

$$\phi_M = \phi_c + \frac{q}{2\pi} \ell n \left[\frac{r_1}{r_2} \frac{\left(R_k^2 - \delta^2\right)}{r_c^2 \cdot \delta}\right] \qquad (٤٣-٧)$$

كذلك يمكن حساب الكمون في النقطة M من المعادلة (٤٢-٧) مع الأخذ بعين الاعتبار المعادلتين (٣٥-٧) ، (٣٦-٧) :

$$\phi_M = \phi_k - \frac{q}{2\pi} \ell n \left(\frac{r_1}{r_2} \frac{\delta}{R_k}\right) \qquad (٤٤-٧)$$

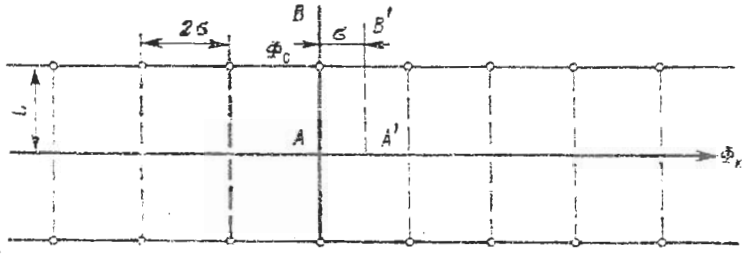
نلاحظ أن المعادلتين (٤٣-٧) ، (٤٤-٧) متماثلتان .

٧-٦- جريان السائل الى سلسلة غير منتهية وصف دائري من الآبار :

من أجل دراسة مثل هذا النوع من الجريان تستخدم طريقة المقاومات الارتشاحية المكافئة والتي تستخدم بشكل واسع عند تخطيط واستثمار المكامن النفطية . فقد

اقترحت هذه الطريقة من قبل الباحث يو. بي . باريسوف (U.P.BARESOV) . ومبدأ هذه الطريقة هو تشبيه حركة السائل في الوسط المسامي بمرور التيار الكهربائي في الأسلاك الكهربائية .

لنبحث جريان السائل إلى صف واحد من الآبار التي تبعد عن بعضها البعض مسافة 2σ ، وعن كونتور التغذية بمسافة L ،مع العلم أن الكمون عند كونتور التغذية ϕ_k وفي قاع البئر ϕ_c كما في الشكل (٧-٨) . والمطلوب تحديد إنتاجية كل بئر والإنتاج الكلي لـ n بئر في السلسلة .



شكل (٧-٨) مخطط جريان السائل إلى سلسلة من الآبار

إن صف الآبار الإنتاجية ينعكس من خلال مرآة منطبقة على كونتور التغذية على شكل آبار حقن وسنبحث تداخل صفين متجاورين من الآبار ضمن طبقة ذات امتداد غير محدود .

ستتحرك جزيئات السائل التي تمر من خلال الآبار المتوضعة على الخط المستقيم AB (على طول الجبهة الرئيسية للتيار) ، بسرعة أكبر . والخط A'B' وأمثاله الذي يبعد عن AB بمقدار نصف المسافة بين الآبار (σ) ، يمكن أن يعتبر حدوداً كتيمة ، حيث سيكون السائل أكثر بطئاً . هذه الخطوط تسمى الخطوط المحايدة للجريان . إن طبيعة توزع الكمونات على طول هذه الخطوط المستقيمة AB ، A'B' موضحة على الشكل (٧-٩) . كذلك يمكن حل هذه المسألة باستخدام طريقة التراكب .

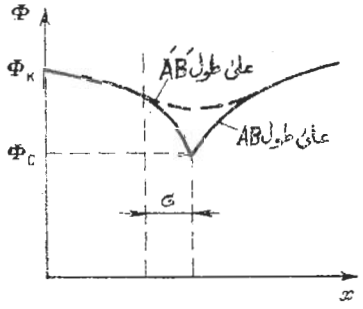
تشير النتائج إلى أنه على مسافة عن كونتور التغذية بمقدار نصف المسافة مابين

الآبار (σ) ، تكون حركة السائل عملياً خطية منتظمة وأن انخفاض الكمون في هذا الجزء سيحدث حسب قانون الارتشاح الخطي .

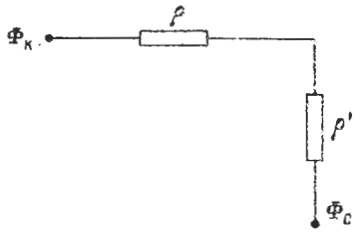
أما الانخفاض الأساسي في الكمون سيحدث بجانب البئر ، حيث ستصبح الحركة شعاعية عندئذ يمكن الحصول على إنتاجية كل بئر من الصف بالمعادلة التالية:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{2\pi(\phi_k - \phi_c)}{\ell n\ 2sh\ \frac{\pi L}{\sigma} + \ell n\ \frac{\sigma}{\pi r_c}}$$

حيث إن : $sh\frac{\pi L}{\sigma} = \frac{1}{2}\left(e^{\frac{\pi L}{\sigma}} - e^{-\frac{\pi L}{\sigma}}\right)$ الجيب القطعي .



شكل (٧-٩) مخطط توزع الكمون على طول خط الجريان



شكل (٧-١٠) مخطط المقاومات الارتشاحية المكافئة عندجريان السائل إلى صف من الآبار

وعندما يكون $L > \sigma$ فإن قيمة $e^{-\frac{\pi L}{\sigma}}$ ستكون صغيرة جداً أي أن :

$$\ell n\ 2sh\ \frac{\pi L}{\sigma} \cong \ell n\ e^{\frac{\pi L}{\sigma}} = \frac{\pi L}{\sigma}$$

أي أن :

$$q = \frac{2\pi(\phi_k - \phi_c)}{\frac{\pi L}{\sigma} + \ell n\ \frac{\sigma}{\pi r_c}} = \frac{\phi_k - \phi_c}{\frac{L}{2\sigma} + \frac{1}{2\pi}\ell n\ \frac{\sigma}{\pi r_c}} \qquad (٤٥-٧)$$

لنفرض مايلي :

$$\frac{L}{2\sigma} = \rho \quad ; \quad \frac{1}{2\pi}\ell n\ \frac{\sigma}{\pi r_c} = \rho'$$

ستصبح المعادلة (٤٥-٧) على الشكل التالي :

$$q = \frac{(\phi_k - \phi_c)}{(\rho + \rho')} \qquad (٤٦-٧)$$

وهذه المعادلة تشبه قانون أوم .

إن قيمة ρ تسمى المقاومة الارتشاحية الخارجية لمجموعة الآبار ، أما ρ' فتسمى المقاومة الارتشاحية الداخلية ، وهكذا فإنه يمكن أن يعبر عن جريان السائل إلى صف من الآبار بمقاومات ارتشاحية مكافئة كما في الشكل (٧-١٠) ويعبر عن الإنتاجية الحجمية بشدة التيار . أما الفرق مابين الكمونات الارتشاحية يعبر عن الفرق مابين الكمونات الكهربائية .

تعطى إنتاجية كافة صفوف الآبار المؤلفة من عدد n من الآبار بالمعادلة التالية:

$$Q = Q.n = q.b.n = \frac{\phi_k - \phi_c}{\frac{L}{2\sigma nb} + \frac{1}{2\pi nb}\ell n\frac{\sigma}{\pi r_c}} =$$

$$= \frac{P_k - P_c}{\frac{\mu L}{kb2\sigma n} + \frac{\mu}{2\pi kbn}\ell n\frac{\sigma}{\pi r_c}} \qquad (٤٧-٧)$$

حيث إن : $\phi = \frac{P.k}{\mu}$

ومن المعادلة (٧-٤٧) يمكن حساب المقاومة الخارجية :

$$\rho = \frac{\mu.L}{kb2\sigma n} = \frac{\mu L}{kbB} \qquad (٤٨-٧)$$

وهي تعبر عن مقاومة جريان السائل من كونتور التغذية وحتى حدود المسافة $B = 2\sigma n$ ، والمتوضعة على مسافة L عن كونتور التغذية. أما المقاومة الداخلية فهي:

$$\rho' = \frac{\mu}{2\pi kbn}\ell n\frac{\sigma}{\pi R_c} \qquad (٤٩-٧)$$

وهي تعبر عن المقاومة التي تظهر عند اقتراب السائل إلى الآبار في المنطقة التي تبعد بمقدار $r = \frac{\sigma}{\pi}$ والتي عندها يصبح الجريان دائرياً شعاعياً .

ليكن لدينا طبقة ذات كونتور تغذية مستقيم تستثمر بثلاثة صفوف متوازية من الآبار ، عددها في كل صف n_1 ، n_2 ، n_3 . وأقطار هذه الآبار في كل صف r_{c1} ، r_{c2} ، r_{c3} ،

وذات ضغوط قاعية P_{c1} ، P_{c2} ، P_{c3} ومجموع إنتاجيات كل صف Q'_1 ، Q'_2 ، Q'_3 .

سنشرح مخطط المقاومة الارتشاحية المكافئة الموضحة بالشكل (٧-١١) . حيث يتم الحساب بشكل مشابه للدارات الكهربائية التفرعية حسب قانون أوم وكيرخوف (KERKHOV) التي تتألف من معادلات جبرية خطية (إما للإنتاجية Q'_1 ، Q'_2 ، Q'_3 أو للضغوط القاعية P_{c1} ، P_{c2} ، P_{c3}) ، عندئذ فإن المقاومة الخارجية سوف تعطي سوف بالمعادلات التالية :

$$\rho_1 = \frac{\mu L_1}{k.bB} \ , \ \rho_2 = \frac{\mu L_2}{k.bB} \ , \ \rho_3 = \frac{\mu L_3}{k.bB} \qquad (٥٠-٧)$$

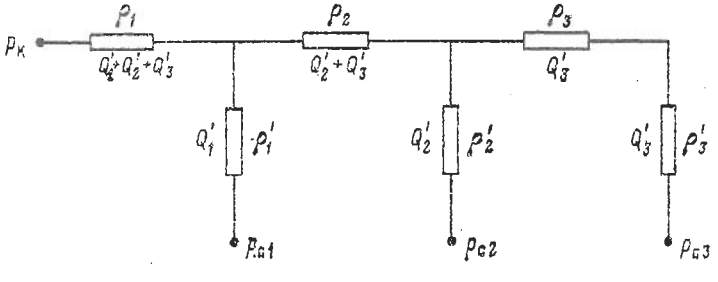
حيث إن : L_1 ـ بعد الصف الأول عن كونتور التغذية ، L_2 ـ المسافة مابين الصف الأول والثاني ، L_3 ـ المسافة مابين الصف الثاني والثالث .

أما المقاومة الداخلية فتحدد بالمعادلات التالية :

$$\rho'_1 = \frac{\mu}{2\pi k b n_1} \ell n \frac{\sigma_1}{\pi r_{c1}} \ , \ \rho'_2 = \frac{\mu}{2\pi k b n_2} \ell n \frac{\sigma_2}{\pi r_{c2}}$$

$$\rho'_3 = \frac{\mu}{2\pi k b n_3} \ell n \frac{\sigma_3}{\pi r_{c3}} \qquad (٥١-٧)$$

وهنا يجب الإشارة إلى جريان السائل إلى ثلاثة صفوف دائرية من الآبار والتي تتغذى من كونتور تغذية دائري يحسب بنفس مخطط المقاومات الارتشاحية المكافئة كما في الشكل (٧-١١) .



شكل (٧-١١)مخطط المقاومات الارتشاحية المكافئة لدى جريان السائل إلى ثلاث صفوف من الآبار

يمكن أن تحسب المقاومات الخارجية بالمعادلات التالية :

$$\rho_1 = \frac{\mu}{2\pi kb} \ell n \frac{R_k}{R_1} \quad , \quad \rho_2 = \frac{\mu}{2\pi kb} \ell n \frac{R_k}{R_2}$$

$$\rho_3 = \frac{\mu}{2\pi kb} \ell n \frac{R_k}{R_3} \qquad (٥٢-٧)$$

حيث إن : R_1 ، R_2 ، R_3 ـ أقطار الدوائر المشكلة لصفوف الآبار .

أما المقاومة الارتشاحية الداخلية فتحسب بالمعادلة (٧-٥١) .

الفصل الثامن

الجريانات الارتشاحية للغاز في الوسط المسامي

سندرس في هذا الفصل الجريانات الارتشاحية للغازات المثالية (Z = 1) في الوسط المسامي ، وسنتبع الطريقة نفسها التي استخدمت من أجل السوائل . وقبل أن نبدأ الدراسة التفصيلية سنعطي بعض المفاهيم التي تدخل فيها .

لقد تم التوصل فيما سبق إلى المعادلتين التاليتين :

$$\rho = \rho_{at} \frac{P}{P_{at}} \qquad (٨-١)$$

ومنه :

$$\frac{P}{\rho} = \frac{P_{at}}{\rho_{at}} = R \cdot T \qquad (٨-٢)$$

حيث إن : R ـ ثابت الغازات العامة ، T ـ درجة الحرارة المطلقة والتي سنعدها ثابتة .

وفيما يلي سنقوم بالدراسة المفصلة للجريان الأحادي المنتظم والدائري الشعاعي المستقر وغير المستقر للغازات المثالية .

٨-١- الجريان الأحادي المنتظم المستقر للغاز حسب قانون الارتشاح الخطي :

إن سرعة الارتشاح الوزنية للغاز حسب قانون الارتشاح الخطي ، بحيث يتجه المحور x بعكس اتجاه حركة الغاز ، تعطى بالمعادلة التالية :

$$\rho . v = - \frac{k}{\mu} \rho \frac{dP}{dx} \qquad (٨-٣)$$

حيث إن : ρ ـ كثافة الغاز ، μ ـ لزوجة الغاز والتي نعدها ثابتة .

أما بقية الرموز فهي معروفة سابقاً .

نعوض قيمة ρ من المعادلة (٨-١) في المعادلة (٨-٣) فنحصل على :

$$\rho . v = - \frac{k}{\mu} \frac{\rho_{at}}{P_{at}} . P \frac{dP}{dx} \qquad (٨-٤)$$

أما علاقة حساب الكمية الوزنية المصروفة Q_m فتعطى بالمعادلة التالية :

$$Q_m = \rho.v.F = Q \cdot \rho \qquad (٥-٨)$$

حيث إن Q ـ الكمية الحجمية المصروفة من الغاز ،

F ـ سطح الارتشاح العمودي من الطبقة .

وبالتعويض في المعادلة(٨-٤) نحصل على :

$$Q_m = -\frac{k.F.\rho_{at}}{\mu P_{at}} P. \frac{dP}{dx} \qquad (٦-٨)$$

يمكن كتابة هذه المعادلة كما يلي :

$$P.dP = \frac{Q_m.\mu.P_{at}}{k.F\rho_{at}} dx \qquad (٧-٨)$$

وبإجراء تكامل لهذه المعادلة عند الحدود $[P \leftarrow P_g]$ ، $[0 \rightarrow x]$ ، نحصل على المعادلة التالية :

$$P = \sqrt{P_g^2 + \frac{2 P_{at} Q_m}{k . F . \rho_{at}} x} \qquad (٨-٨)$$

نكامل المعادلة (٨-٧) عند الحدود المعروفة والثابتة $[P_g \rightarrow P_k]$ ، $[0 \rightarrow L_k]$ من أجل الحصول على الكمية المصروفة عند الضغط الجوي Q_{at} :

$$Q_{at} = \frac{k . F . \rho_{at}}{2 \mu P_{at}} \cdot \frac{P_k^2 - P_g^2}{L_k} \qquad (٩-٨)$$

حيث إن : $Q_{at} = \frac{Q_m}{\rho_{at}}$ ، L_k ـ بعد كونتور التغذية عن قناة الإنتاج .

نعوض المعادلة (٨-٩) في المعادلة (٨-٨) فنحصل على قيمة الضغط في أية نقطة من الطبقة :

$$P = \sqrt{P_g^2 + \frac{P_k^2 - P_g^2}{L_k} x} \qquad (١٠-٨)$$

وللحصول على تدرج الضغط نقوم بتعويض المعادلة (٨-٩) في المعادلة (٨-٧)

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_k^2 - P_g^2}{2 L_k} \frac{1}{P} \qquad (١١-٨)$$

حيث إن P ـ تحسب بالمعادلة (٨-١٠) .

يتم تحديد سرعة ارتشاح الغاز في الوسط المسامي بتعويض قيمة تدرج الضغط من المعادلة (٨-١١) في المعادلة (٨-٣) مع اختصار الكثافة من الطرفين :

$$v = \frac{k}{2\mu}\frac{P_k^2 - P_g^2}{L_k}\frac{1}{P} \qquad (٨-١٢)$$

لنعين الضغط الطبقي الوسطي ضمن الفراغات المسامية للوسط المسامي والمشغولة بالغاز :

$$\tilde{P} = \frac{1}{V_p}\int P\, dV_p \qquad (٨-١٣)$$

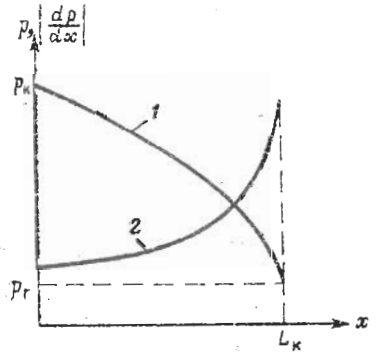
حيث إن : $V_p = B\, b\, L_k .\, m$, $dV_p = B\, b\, m\, dx$

وبالتعويض في المعادلة السابقة هذه القيم وقيمة الضغط من المعادلة (٨-١٠) نحصل على المعادلة النهائية التالية :

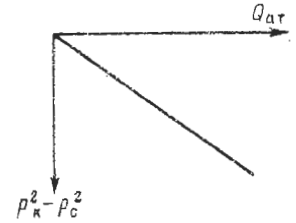
$$\tilde{P} = \frac{2}{3}\frac{P_k^3 - P_g^3}{P_k^2 - P_g^2} \qquad (٨-١٤)$$

ولدى تحليل المعادلات التي تم التوصل إليها يمكن صياغة الاستنتاجات التالية :

١) نلاحظ من المعادلة (٨-١٠) أن الضغط يتغير حسب معادلة قطع مكافئ كما في الشكل (٨-١) المنحنى (1) ، أما العلاقة $P^2 = f(x)$ فتعد علاقة خطية .



شكل (٨-١)منحنيات توزع الضغط (1) وتدرج الضغط (2) في الجريان الأحادي المنتظم للغاز



شكل (٨-٢) الدليل البياني لدى ارتشاح الغاز حسب قانون دارسي

٢) إن منحني توزع تدرج الضغط من أجل الجريان الارتشاحي للغاز موضح بالشكل (٨-١) المنحني رقم (2) ومن الواضح أن تدرج الضغط لن يكون ثابتاً كما هو الحال من أجل السائل غير القابل للانضغاط ، بل يتزايد بالاقتراب من قناة الإنتاج حسب المعادلة (٨-١١) .

٣) إن الدليل البياني عند جريان الغاز حسب قانون الارتشاح الخطي الذي يمثل العلاقة $Q_{at} = f\left(P_k^2 - P_g^2\right)$ سيمثل علاقة خطية وبالتالي سيكون على شكل خط مستقيم . وهذا موضح بالشكل (٨-٢) .

٤) نلاحظ من المعادلة (٨-٣) أن سرعة الارتشاح تتناسب طرداً مع تدرج الضغط ، لذلك ستكون علاقة سرعة الارتشاح مع المسافة شبيهة بعلاقة تدرج الضغط معها ، وبالتالي يمكن تمثيل هذه العلاقة بالشكل (٨-١) ، المنحني (2) وتفسر زيادة سرعة الارتشاح على امتداد الطبقة الغازية بتمدد الغاز لدى انخفاض الضغط .

٥) بمقارنة المعادلات المحصول عليها من أجل جريان الغاز الأحادي المنتظم مع المعادلات نفسها لجريان السائل غير القابل للانضغاط ذات السطح الحر ، نجد أنها متشابهة ، وبالتالي يمكن القول إن المعادلات التفاضلية للحركة بالنسبة للحالتين متشابهة .

٨-٢- الجريان الدائري الشعاعي المستقر للغاز حسب قانون الارتشاح الخطي:

لنفرض أن لدينا طبقة مقطعها الأفقي دائري ، نصف قطره R_k ، يخترقها بئر تام هيدروديناميكياً ، نصف قطره R_c كما في الشكل (٤-١٠) ، تحتوي غازاً مثالياً يتم جريانه دائرياً شعاعياً مستقراً حسب قانون الارتشاح الخطي. يمكن الحصول على خصائص هذا الجريان بمعرفة خصائص الجريان المشابه له للسائل غير القابل للانضغاط .

يكتب قانون الجريان بعد إدخال عامل كثافة الغاز كما يلي :

$$\rho . v = - \frac{k}{\mu} \rho . \frac{dP}{dr} \qquad (٨-١٥)$$

نعوض المعادلة (٨-١) في المعادلة (٨-١٥) ثم نأخذ المعادلة (٨-٥) بعين الاعتبار فنجد :

$$P\,dP = \frac{Q_m \cdot \mu \cdot P_{at}}{2\pi b k \rho_{at}} \frac{dr}{r} \qquad (٨-١٦)$$

نكامل المعادلة عند الحدود $[r \rightarrow R_k]$ ، $[P \rightarrow P_k]$ فنحصل على :

$$P = \sqrt{P_k^2 - \frac{Q_m \cdot \mu \cdot P_{at}}{\pi b k \rho_{at}} \ell n \frac{R_k}{R_c}} \qquad (٨-١٧)$$

نكامل المعادلة (٨-١٦) عند الحدود $[R_c \rightarrow R_k]$ ، $[P_c \rightarrow P_k]$ من أجل الحصول على الكمية المصروفة عند الضغط الجوي Q_{at} مع الأخذ بعين الاعتبار :

$$: Q_{at} = \frac{Q_m}{\rho_{at}}$$

$$Q_{at} = \frac{\pi b k}{\mu P_{at}} \frac{P_k^2 - P_c^2}{\ell n \frac{R_k}{R_c}} \qquad (٨-١٨)$$

نعوض المعادلة (٨-١٨) في المعادلة (٨-١٧) فنجد :

$$P = \sqrt{P_k^2 - \frac{P_k^2 - P_c^2}{\ell n \frac{R_k}{R_c}} \ell n \frac{R_k}{r}} \qquad (٨-١٩)$$

ولتعيين تدرج الضغط نقوم بتعويض المعادلة (٨-١٨) في المعادلة (٨-١٦) فنحصل على :

$$\frac{dP}{dr} = \frac{P_k^2 - P_c^2}{2\ell n \frac{R_k}{R_c}} \frac{1}{r} \frac{1}{P} \qquad (٨-٢٠)$$

نعوض قيمة تدرج الضغط من المعادلة (٨-٢٠) في المعادلة (٨-١٥) مع اختصار كثافة الغاز ρ من الطرفين فنحصل على قيمة سرعة ارتشاح الغاز :

$$v = \frac{k}{\mu} \frac{P_k^2 - P_c^2}{2\ell n \frac{R_k}{R_c}} \frac{1}{r} \frac{1}{P} \qquad (٨-٢١)$$

يتم تحديد الضغط الوسطي في الفراغات المسامية للطبقة من أجل الجريان الدائري الشعاعي للغاز بالمعادلة (٨-١٣) مع الأخذ بعين الاعتبار مايلي :

$$V_p = \pi m b \left(R_k^2 - R_c^2\right)$$

$$dV_p = 2\pi r b m\, dr$$

وبتعويض هذه القيم وقيمة الضغط المحددة بالمعادلة(٨-١٩)في المعادلة(٨-١٣)

نحصل على المعادلة التالية :

$$\bar{P} = \frac{2\,P_k}{P_k^2 - R_c^2} \int_{R_c}^{R_k} \sqrt{1 - \frac{1 - \left(\frac{P_c}{P_k}\right)^2}{\ell n \frac{R_k}{R_c}} \ell n \frac{R_k}{r}} \; . \; r\,dr \qquad (٢٢-٨)$$

لنعتبر أن :

$$x = \frac{1 - \left(\frac{P_c}{P_k}\right)^2}{\ell n \frac{R_k}{R_c}} \ell n \frac{R_k}{r} \qquad (٢٣-٨)$$

وعندما $R_c \le r \le R_k$ يكون $0 \le x \le 1$ ويمكن كتابة الحد $\sqrt{1 - x}$ عندما $x < 1$ على النحو التالي :

$$\sqrt{1 - x} = (1-x)^{1/2} = 1 - \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} - \frac{x^3}{16} - \ldots\ldots \qquad (٢٤-٨)$$

وبأخذ الحدين الأول والثاني فقط يمكننا كتابة مايلي :

$$\sqrt{1-x} = 1 - \frac{1 - \left(\frac{P_c}{P_k}\right)^2}{2\ell n \frac{R_k}{R_c}} \ell n \frac{R_k}{r} \qquad (٢٥-٨)$$

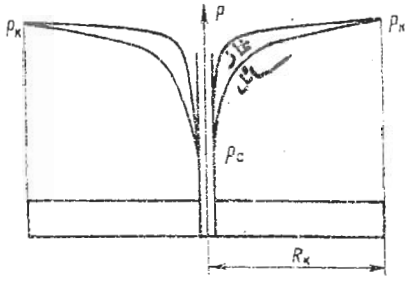
وبتعويض هذه القيمة في المعادلة (٨-٢٢) وإجراء تكامل لها نحصل على معادلة حساب الضغط الوسطي بشكل تقريبي :

$$\bar{P} = P_k \left[1 - \frac{1 - \left(\frac{P_c}{P_k}\right)^2}{4\ell n \frac{R_k}{R_c}} \right] \qquad (٢٦-٨)$$

مما سبق يمكن استنتاج مايلي :

١) بمقارنة معادلة توزع الضغط (٨-١٩) للجريان الدائري الشعاعي المستقـــــر

بالنسبة للغاز مع المعادلة نفسها بالنسبة للسائل غير القابل للانضغاط يلاحظ انخفاض الضغط بشكل مفاجئ في المنطقة المجاورة للبئر وهذا الانخفاض سيكون أسرع منه بالنسبة للسائل غير القابل للانضغاط . أما في المناطق الأبعد فيكون الإنخفاض أبطأ بكثير أو الشكل (٨-٣) يوضح هذه الخاصية .



شكل (٨-٣) توزع الضغط في الجريان الدائري الشعاعي للسائل القابل للانضغاط والغاز

٢) من الواضح في المعادلة (٨-٢٠) ، أن تدرج الضغط بالقرب من قاع البئر سيزداد بشكل مفاجئ وذلك نتيجة لانخفاض نصف القطر r والضغط P ، وهذا موضح بالشكل (٤-١٤) .

٣) يرسم الدليل البياني بالعلاقة $Q_{at} = f\left(P_k^2 - P_c^2\right)$ ، حيث إن هذه العلاقة ستأخذ الشكل الخطي كما الشكل (٨-٢) .

٤) إن علاقة سرعة الضغط مشابهة لعلاقة تدرج الضغط ، لذلك سنأخذ المنحني نفسه والتفسير نفسه كما في الشكل (٤-١٤) .

٥) عند حساب الضغط الوسطي بالمعادلة (٨-٢٦) من أجل قيم مختلفة لـ P_k ، P_c ، R_k ، R_c ، يمكن ملاحظة تقارب قيم $\bar{P}$ من قيمة P_k أي أن $\bar{P} \cong P_k$ ، ويفسر هذا فيزيائياً بالانخفاض السريع للضغط عند جدران البئر فقط ، بينما يكون هذا الانخفاض في المناطق الأبعد صغيراً جداً وذلك عند جريان الغاز باتجاه البئر .

ويستخدم الضغط الوسطي في تحديد احتياطي الغاز في الطبقة وأثناء إجراء الحسابات

التقريبية للخصائص الهيدروديناميكية ، حيث إن استعاضة الضغط الوسطي بضغط الكونتور يبسط هذه الحسابات .

٨-٣- الطرق التقريبية لدراسة الجريان الدائري الشعاعي غير المستقر للغاز:

يكون الضغط الطبقي للمكمن الغازي ثابتاً ومساوياً للضغط الطبقي الأولي P_k قبل فتح الطبقة ، حيث يمكن تصور المكمن الغازي خزان مغلق ولاتوجد تغذية خارجية له ، لذلك فإن الضغط سينخفض لدى اختراق البئر للطبقة واستخراج الغاز منها على عكس الجريان المستقر للغاز ، وبالتالي يمكن القول إنه يحدث خمود للمكمن الغازي .

إن هبوط الضغط نتيجة لاستخراج الغاز من الطبقة سيتوزع من البئر وحتى حدود المكمن ، كما هو الحال في الجريان الدائري غير المستقر للسائل القابل للانضغاط (انظر البند ٦-٣) . لقد قام الباحث ليبنزون (LEBENZON) بوضع نظرية جريان الغاز في الوسط المسامي ، حيث كان قد حصل على المعادلات التفاضلية التي تحدد الضغط في الطبقةعندوجود حركة غير مستقرة للغاز المثالي .وهناك طرق متعددة من أجل الحصول على الحلول التقريبية حول جريان الغاز سنذكر منها اثنتين .

٨-٣-١- طريقة التبديل المتتالي للمجالات المستقرة :

تعتمد هذه الطريقة كما ذكرنا سابقاً على الافتراضات التالية :

١) يوجد في كل لحظة مجال مضطرب نهائي يتحرك فيه الغاز إلى البئر .

٢) إن الحركة داخل المجال المضطرب مستقرة .

٣) تحدد أبعاد المجال المضطرب باستخدام معادلة الموازنة المادية .

سندرس في هذه الفقرة الجريان غير المستقر للغاز إلى البئر عند ثبات إنتاجيته ، وسنفترض أن نصف قطر البئر النهائي يساوي لـ R_c .

يعتبر المجال المضطرب في كل لحظة منطقية دائرية ذات نصف قطر (R (t ، ويكون توزع الضغط فيها حسب القانون المستقر :