جامعة السورية الخاصة كلية هندسة البترول

الحقن الأمثل للغازات غير هيدروكربونية

لزيادة عامل المردود النفطي في حقل سازابا

إعداد الطالبة : أسماء محمد الملحم

بإشراف الدكتور : أيمن شقوف

﴿وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ ۚ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ﴾

الحمد لله الذي مَنَّ عليّ بتمام السعي، وأكرمني ببلوغ الغاية، وأنار بصيرتي في دروب العلم حتى وصلت إلى هذه اللحظة. فلك الحمد ربي حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك أقف اليوم ممتنةً لكل لحظة صبر، ولكل يدٍ كانت عوناً لي في مسيرتي العلمية. واعترافاً بالفضل لأهله.

إلى ورثة الأنبياء.. ومنارات العلم والمعرفة

إلى الذين لم يقتصر دورهم على إعطاء المحاضرة، بل كانوا لنا القدوة والمُلهم في الصبر والبحث والعمل..

إلى أساتذتي ودكاترتي الأفاضل في رحاب جامعتي وفي قسم هندسة البترول تحديداً.

أهديكم ثمرة جهدي، تقديراً لكل حرفٍ غُرستِموه في عقولنا، ولكل نصيحةٍ صقلت شخصياتنا المهنية. شكرًا لعطائكم الذي لا ينضب، ولأمانتكم في نقل العلم، ولإيمانكم بنا كمهندسين يحملون أمل المستقبل.

بكم نعتز، ومن علمكم ننهل، وإليكم نرفع قبعات التخرج فخراً واعتزازاً.

... (إلى دكاترتي وأساتذتي الأفاضل) ...

المحتويات

المقدمة والفصل الأول

مقدمة ---------- 1

الصفات الجيولوجية والخزنية لحقل سازابا ---------- 3

الخصائص الجيولوجية للتشكيلات الأساسية في حقل سازابا ---------- 1-1

مقدمة عامة عن حقل سازابا ---------- 1-1-1

الوصف العام للتشكيلات الجيولوجية وأعمارها ---------- 2-1-1

الخصائص البتروفيزيائية لتشكيلة الشيرانيش ---------- 3-1-1

المواصفات الخزنية والإنتاجية لحقل سازابا ---------- 2-1

الصفات الفيزيائية والكيميائية لموائع حقل سازابا ---------- 3-1

المشاكل الإنتاجية في حقل سازابا وطرق المعالجة ---------- 4-1

المشاكل الإنتاجية ---------- 1-4-1

طرق المعالجة ---------- 2-4-1

مبررات استخدام طرق الاستثمار المدعم ---------- 5-1

الفصل الثاني: الخواص الأساسية للصخور والموائع

الخواص الأساسية للصخور والموائع المكمنية ---------- 21

الخواص الأساسية للصخور المكمنية ---------- 1-2

المسامية ---------- 1-1-2

خاصية التشبع بالموائع ---------- 2-1-2

درجة التشبع الحرجة بالنفط (soc)---------- 2-1-2

درجة التشبع بالنفط المتبقي (sor) ---------- 2-1-2-2

درجة التشبع بالنفط القابل للحركة (Som) ---------- 2-1-2-3

درجة التشبع الحرجة بالغاز (Sgc) ---------- 2-1-2-4
النفوذية المطلقة (K) والفعالة (Ko) والنسبية (Kr) ---------- 2-1-3
التوتر السطحي وخاصية التبلل والضغط الشعري ---------- 2-1-4 / 2-1-6
الخواص الأساسية للموائع المكمنية ---------- 2-2
خصائص الغازات الطبيعية ---------- 2-2-1
الخصائص الكيميائية والفيزيائية للنفط ---------- 2-2-2
خصائص المياه المكمنية ---------- 2-2-3

الفصل الثالث والرابع: تأثير CO2 والاستثمار المدعم

مخطط الطور والخصائص الفيزيائية لغاز (CO2)---------- 3-1
ذوبانية (CO2) في الماء والنفط ---------- 3-2 / 3-3
تأثير (CO2) على صخر المكمن وعملية الإزاحة ---------- 3-4 / 3-5
الاستثمار المدعم للنفط (EOR) ----------52
الغمر الامتزاجي وغير الامتزاجي بالغاز الطبيعي ---------- 4-1 / 4-2
آلية عملية الإزاحة باستخدام حقن الغاز ---------- 4-3
شروط ومساوئ استخدام حقن الغاز الطبيعي ---------- 4-4
الغمر الامتزاجي باستخدام CO2---------- 4-5
تحديد ضغط الامتزاج الأصغري MMP---------- 4-6
العوامل التي تؤثر على سلوك الامتزاجية ---------- 4-7

الفصل الخامس: القسم العملي والنتائج

تركيب العينة النفطية بشروط الفاصل ---------- 5-1
آلية إجراء القياسات على العينة النفطية ---------- 5-2
اختبارات انتفاخ النفط ---------- 5-3
دراسة تأثير الغاز الطبيعي و CO2 على خواص النفط ---------- 5-3-1 / 5-3-5
تحديد الصفات الفيزيائية للعينات الصخرية (حقل سازابا) ---------- 5-4

اختيار وتحضير النموذج الصخري والمياه والنفط ---------- 5-5 / 5-8
النتائج المخبرية للإزاحة عند فروق ضغط ومعدلات تدفق مختلف---------- 5-12 / 5-23
نتائج الحقن الدوري (التشرب) ---------- 5- 24
مقارنة بين نتائج عوامل الإزاحة النهائية ---------- 5-25 / 5-26
تحديد ضغط الامتزاجية الأصغري ---------- 5-27
الجدوى الاقتصادية لعمليات الإزاحة ---------- 5-28
النتائج والمقترحات ---------- 5-29
برنامج حسابات خصائص الغاز ---------- 5-30
المصطلحات العلمية ---------- 174
المراجع العلمية ---------- 179

المقدمة:

يعتبر النفط والغاز ، المصادر الأساسية للطاقة في كل دول العالم ، ولكنه بسبب تناقص إنتاج الفحوم الهيدروكربونية منذ السبعينات ، يواجه العالم مشكلة خطيرة في مجال الطاقة . لذلك تعتبر المهمة الرئيسية ، هي البحث عن طرق جديدة في استخراج النفط والغاز ، وذلك بهدف زيادة عامل المرود النفطي للمكامن المستثمرة ، بالإضافة إلى إدخال توضعات أخرى في الاستثمار ضمن الشروط الاقتصادية .

يعتبر حقن الغاز هو الأقدم في عمليات حقن الموائع في المكمن وكانت فكرة استخدام حقن الغاز للمحافظة على ضغط المكمن وإعادة الآبار إلى الإنتاج، وذلك بعد بضعة أعوام من حفر أول بئر للنفط، ومنذ ذلك الوقت استخدمت عملية حقن الغاز الطبيعي والغازات الأخرى في الكثير من المكامن حول العالم كطريقة من طرق التحسين الثانوية، وازداد استخدامه مؤخرا على الرغم من انتشار طرق استخدام الغازات غير الهيدروكربونية كالازوت و CO_2 .

تعتبر طرق الإستثمار المدعم للنفط إحدى أهم طرق زيادة عامل المردود النفطي والتي تشمل : الطرق الحرارية ، الطرق الجرثومية ، حقن مخفضات التوتر السطحي ، حقن غاز ثاني أوكسيد الكربون . . . إلخ .

كان المشروع الأول لحقن CO_2 في حقل ريتشي (Ritchie) عام 1964 وكان مشروعا صغيرا، والمشروع الأكبر لحقن CO_2 نفذ عام 1972، بعده نفذت بنجاح في عدة مناطق من العالم ، في الولايات المتحدة وخاصة في (Permian Basin)،في كندا، هنغاريا ، تركيا ، ترينيداد ، البرازيل ، ينفذ اليوم حوالي 78 عملية حقن حول العالم لـ CO_2 ، منها سبع وستون عملية في الولايات المتحدة ، اثنتان في كندا ، اثنتان في تركيا ، خمسة في ترينيداد ، واحدة في البرازيل .

إن استخدام الغمر بحقن غاز CO_2 لزيادة المردود تتزايد بسرعة في الولايات المتحدة الأمريكية، وقد تضاعف عدد المشاريع لغمر CO_2 من ثلاث مرات منذ عام 1980 إلى أكثر من سبعين مشروعا حتى نهاية عام 2004، وقد ساهم في عام 2004 بإنتاج نفط في أمريكا يقدر بـ (206000) برميل يوميا .

يعتبر CO_2 فعالا في عمليات الاستثمار المدعم للنفط (EOR) خصوصا عند الحقن من اجل الإزاحة الامتزاجية للنفط الذي سيبقى محجوزا في المكمن خلال عمليات الغمر بالمياه .

حقن الغاز القابل للامتزاج داخل أي مكمن نفطي، هو من أكثر تقنيات الاستثمار المدعم للنفط استخداما والتي تطبق بشكل واسع في إنتاج النفط بالعالم.

يعتبر ضغط الامتزاج الاصغري (MMP) المفهوم الهام والمساعد في وصف عمليات حقن الغاز الامتزاجية، وأحد أهم المؤشرات في عملية حقن CO_2 القابل للامتزاج ، والذي عنده يشكل كل من الغاز المحقون والنفط الأولي طور واحد مما يجعل عملية الإزاحة كفوءة.

يعتبر حقل سازابا النفطي من الحقول التي تحوي احتياطاً كبيرا من النفط , حيث أن عامل المردود الحالي فيه (% 3.43) فقط في طبقة الشيرانيش وعامل مردو نهائي لن يصل إلى أكثر من (% 7) وهذا يعني بقاء كميات كبيرة من النفط غير مستخرجة.

تهدف هذه الدراسة إلى إيجاد الغاز الأمثل الذي يحقق أعلى إنتاجية وأفضل كفاءة للمكمن.

الفصل الأول

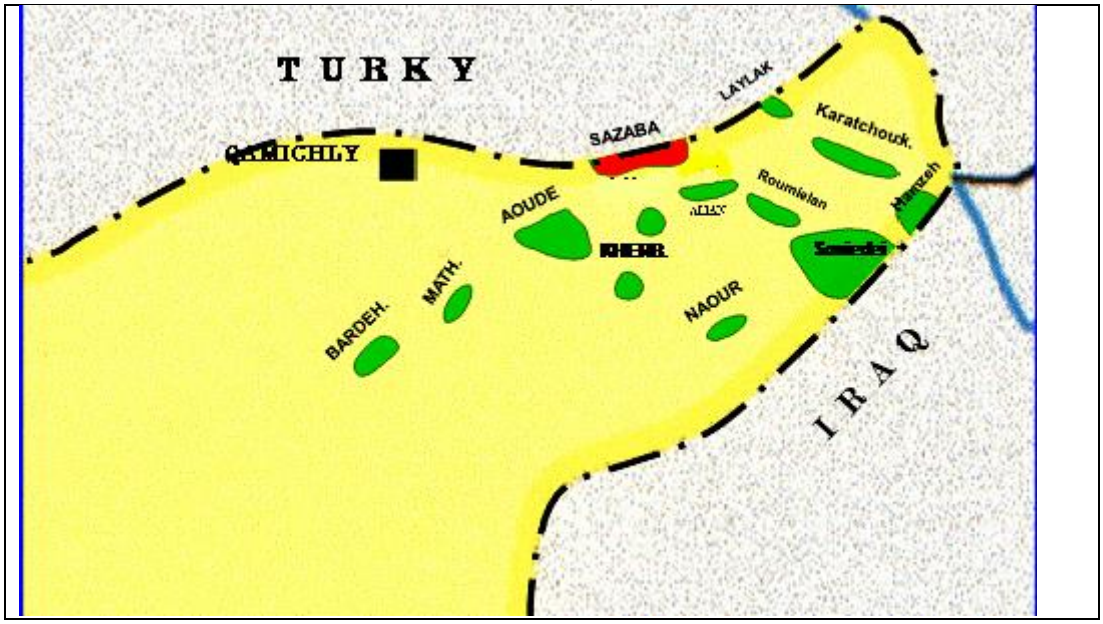
الصفات الجيولوجية والخزنية لحقل سازابا

1-1- الخصائص الجيولوجية للتشكيلات الأساسية في حقل سازابا :

1-1-1- مقدمة عامة عن حقل سازابا :

يقع حقل سازابا شمال شرق سوريا ويبعد حوالي 35 كم إلى الشرق من مدينة القامشلي على الحدود السورية – التركية. اكتشف الحقل عام 1975 ووضع بالإنتاج عام 1983.

يبين الشكل (1-1) خارطة مواقع الحقول الرئيسية في مديرية حقول الحسكة.



الشكل (1-1)خارطة مواقع الحقول الرئيسية في مديرية حقول الحسكة

1-1-2- الوصف العام للتشكيلات الجيولوجية وأعمارها:

تمت دراسة المقطع الليتولوجي في تركيب سازابا وكانت النتائج من الأعلى إلى الأسفل كما يلي:

1- الحقب الثالث: يتالف من :

أ- البليوسين والميوسين (0-465 m) : يتألف من التشكيلات التالية:

- البختياري + الفارس العلوي (0-465 m) : تتألف التشكيلة من الأعلى من البازلت ومن ثم تعاقب طبقات غضارية وحصى بحجوم مختلفة ورمل حبيبي وتعتبر حاملة للمياه الجوفية.
- الفارس السفلي (465-530 m): يتألف من تعاقب طبقات الانهدريت والغضار والحصى.
- الجريبي (530-565 m) : تتألف من تعاقب طبقات من الدولوميتوالانهدريت مع طبقات رقيقة جدا من الغضار.

ب- الايوسين (565-1270 m) : يتألف من التشكيلات التالية:

- الميديات (565-930 m) : تتألف هذه التشكيلة من حجر كلسي لاتتجاوز سماكته(30 m) في القسم العلوي ومن دولوميت كلسي لبقية المقطع.
- الجدالة + سنجار : (930-1270 m) تتألف هذه التشكيلة من الأعلى من صخور دولوميتية و يتألف بقية المقطع من صخور كلسية .

ج- الباليوسين (1270-1410 m) : يتضمن تشكيلة واحدة هي الكيرماف والتي تتألف من صخور غضارية تسيطر على النصف العلوي من المقطع وصخور كلسية تسيطر على جزئه السفلي.

2- الحقب الثاني : يتألف من الكريتاسي العلوي (1410-1600 m): الذي يتضمن تشكيلة واحدة هي الشيرانيش وتعتبر من أهم التشكيلات النفطية التي عثر عليها في هذا التركيب ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة نطاقات هي:

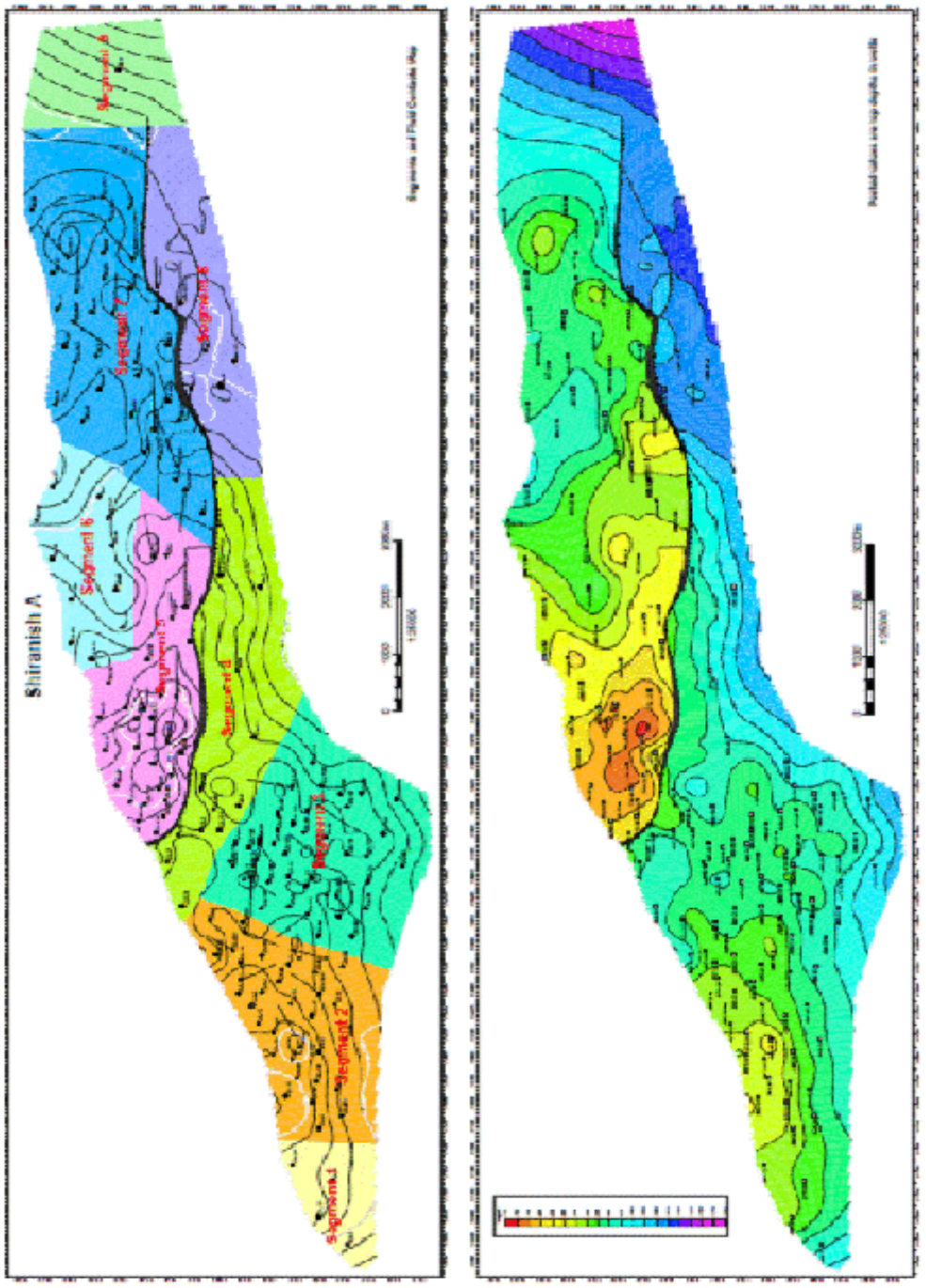
- النطاق الأول: يتألف من حجر كلسي متوسط القساوة لونه بني اكتسبه بسبب احتوائه على المواد الهيدروكربونية ،قابل للتفتت وذو مسامية متوسطة إلى جيدة مشبعة بنفط ثقيل، تتخلل هذا النطاق طبقات رقيقة من الحجر الكلسي الأبيض اللون القاسي والكتيم ولا يحوي شواهد نفطية.
- النطاق الثاني: يتألف من حجر كلسي ذو لون رمادي ، طري إلى متوسط القساوة، غير مسامي ،وأحيانا عالي الغضارية ، يلاحظ وجود بعض المجالات الرقيقة الحاوية على تكهفات ومسامات ممتلئة بالاسفلت والنفط الثقيل جدا.
- النطاق الثالث: يتألف من حجر كلسي مارلي ،لونه رمادي إلى اخضر، طري إلى متوسط القساوة، غير مسامي وكتيم ، تتداخل فيه أحيانا طبقات رقيقة من الحجر الكلسي الحواري ، لاتوجد آثار نفطية في هذا النطاق وإنما يعتبر حاملا للمياه الطبقية إذا كان متشققا.

الشكل (1-2) يبين خارطة تركيبية لتشكيلة الشيرانيش النطاق (A) والشكل (1-3) للنطاق (B) والشكل (1-4) للنطاق (C) .

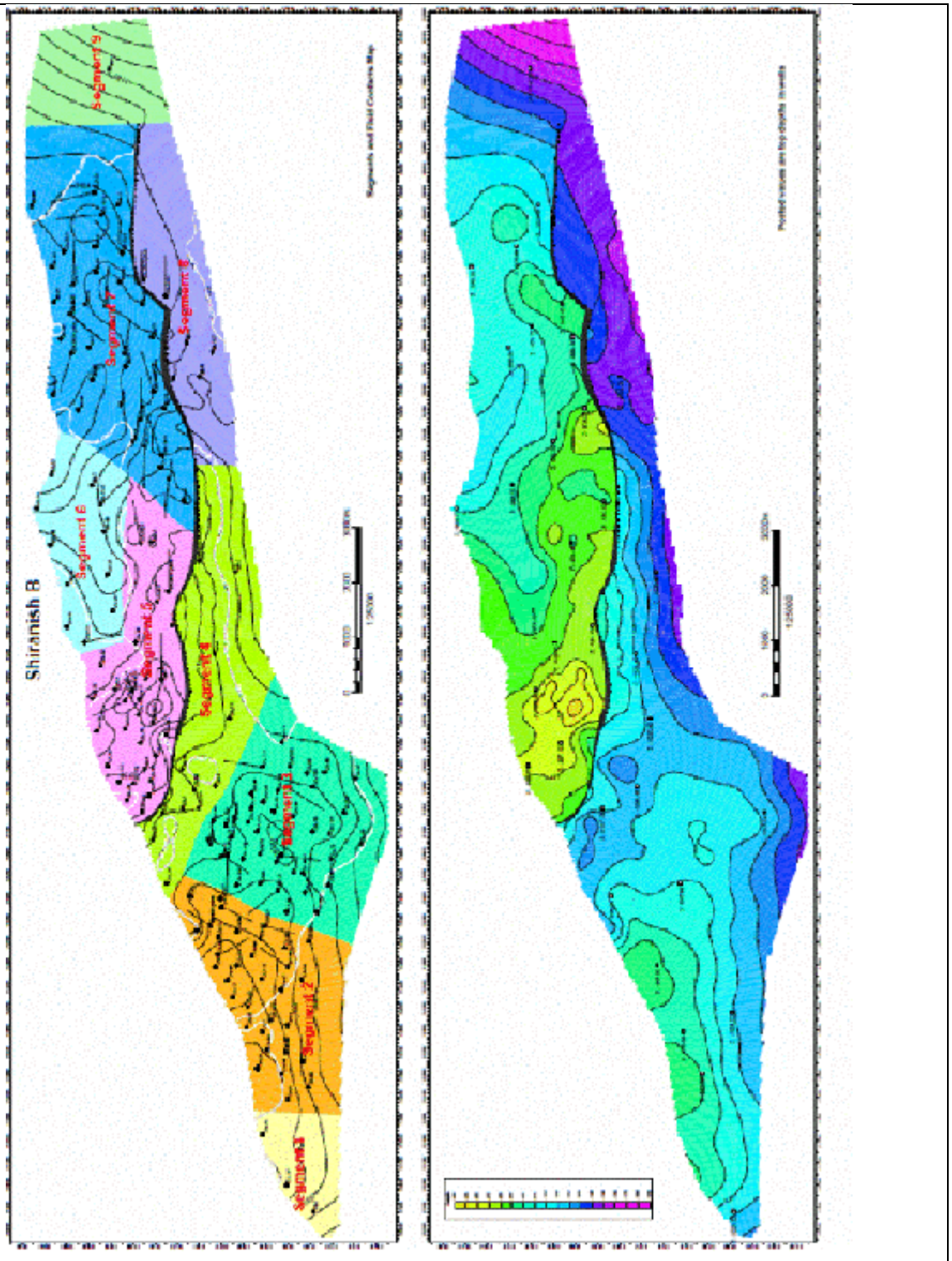
1-1-3- الخصائص البتروفيزيائية لتشكيلة الشيرانيش:

يمثل القسم العلوي من التشكيلة المكون من النطاقين (A,B) سحنة رصيفية مكونة بشكل أساسي من صخور كربوناتيةبيوكيميائية بنوعيها الحطامي - وهو الغالب - والمشيد مع وجود عملية دلمتة جزئية لاحقة لتكون الصخر تزداد شاقوليا باتجاه الأسفل وتبلغ ذروتها في منتصف النطاق (B)، تمتاز هذه السحنة الرصيفية بشكل عام بخصائص خزنية جيدة مرتبطة بالمسامية والنفوذية الأوليتان التي يتصف بهما الصخر منذ فترة الدياجينيز، حيث تكون المسامات الأولية موجودة بشكل أساسي ضمن هياكل العضويات وفيما بينها وكذلك فيما بين العناصر البيليتيةوالاشنيات المكونة للصخر أيضا وفي الدرجة الثانية فيما بين العضويات المشيدة للرصيف وفيما بين بلورات الملاط الصخري تزداد هذه الخصائص ويضاف عليها خصائص لاحقة لمرحلة الدياجينيز، عملية الدلمتة- عملية التشقق نتيجة النشاط التكتوني الذي يزيد في خاصية النفوذية وفي هذه التشكيلة أعطت شقوق كبيرة من مرتبة (0.2-0.4 mm) في

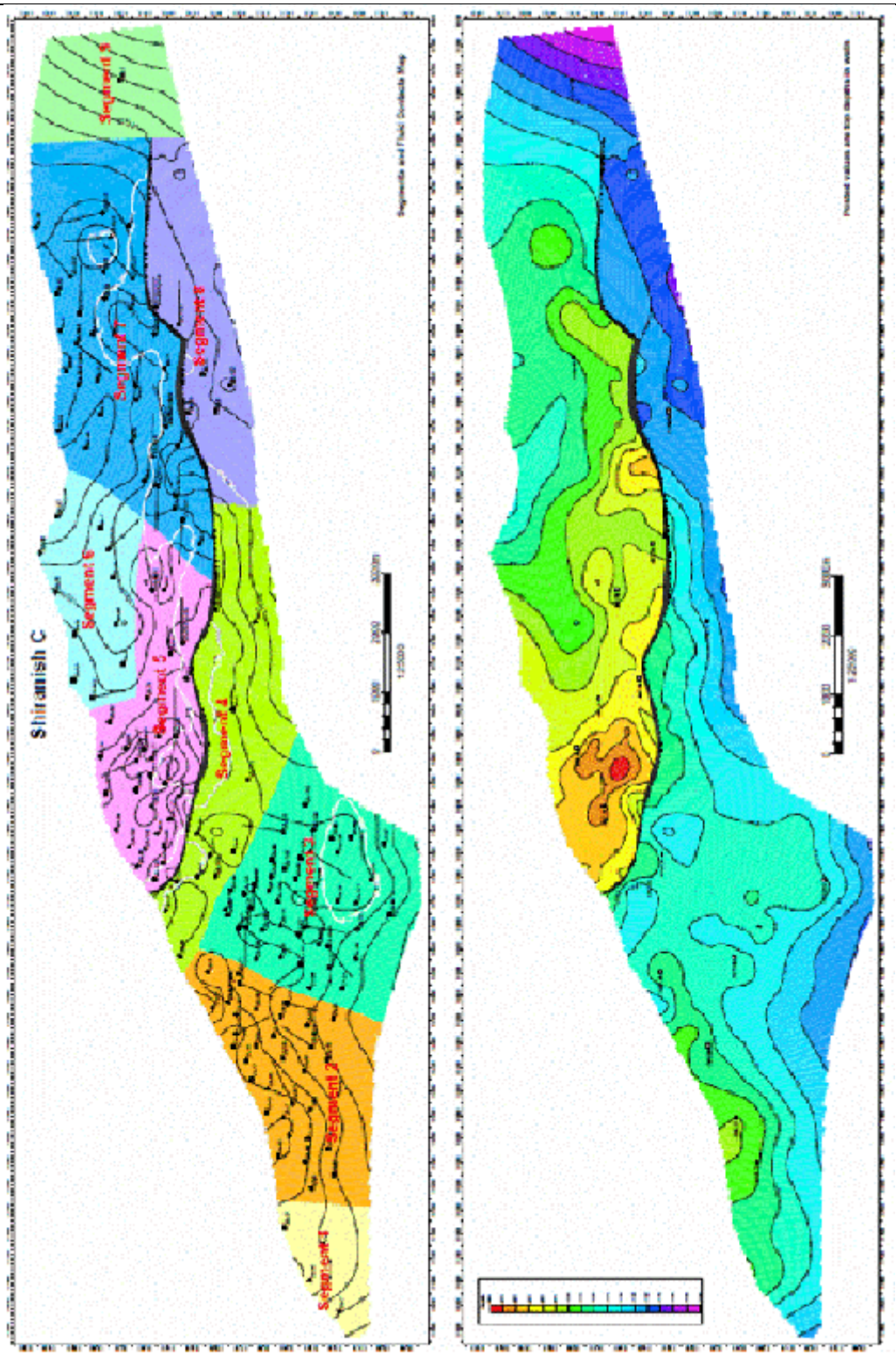
أعلى التشكيلة خاصة النطاق (A) إضافة إلى شقوق صغيرة في النطاق (B) وشقوقا مجهرية في النطاقين (C,D)، تصل المسامية في النطاقين (A,B) إلى (20 %) والنفوذية الوسطية (1-70 md) ، كما أثبتت الدراسة المجهرية وجود فراغات وشقوق مملوءة بالنفط وهي ذات أبعاد تتراوح بين (0.02-0.04 mm) بالنسبة للفراغات المسامية و ذات عرض يتراوح بين (0.01-0.08 mm) بالنسبة إلى الشقوق .



الشكل (1-2) يبين خارطة تركيبية لتشكيلة الشيرانيش النطاق (A)



الشكل (1–3) يبين خارطة تركيبية لتشكيلة الشيرانيش النطاق (B)



الشكل (1–4) يبين خارطة تركيبية لتشكيلة الشيرانيش النطاق (C)

1-2- المواصفات الخزنية والإنتاجية لحقل سازابا:

يمكن أن نجمل المواصفات الخزينة لحقل سازابا في الجدول (1-1) :

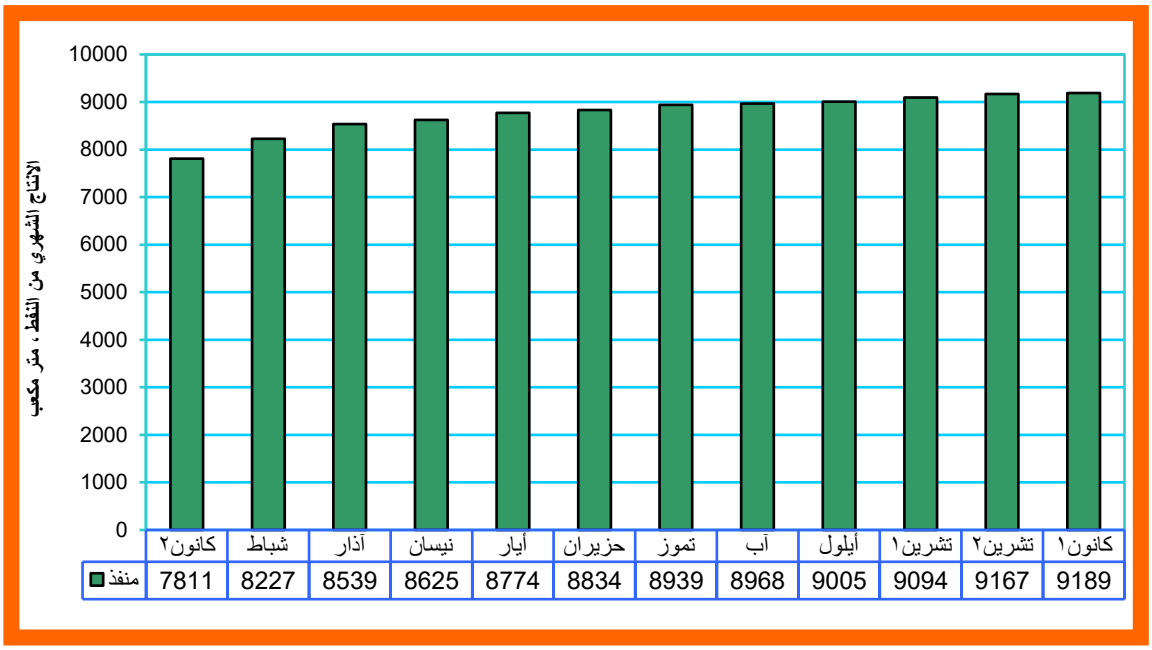
جدول (1-1) المواصفات الخزينة لحقل سازابا

الوحدة المدروسة	القيمة
عمق الطبقة المنتجة، m	1400
مساحة المكمن، Km^2	78
سماكة المكمن، m	200
السماكة الفعالة، m	27
المسامية ، %	20
النفوذية بالشروط الطبقية ، md	0.684
درجة التشبع بالنفط ، %	76
الاحتياطي الجيولوجي من النفط , مليون م3	253.6
الاحتياطي القابل للإنتاج من النفط , مليون م3	17.75
الاحتياطي الجيولوجي من الغاز , مليار م3	0.073
الاحتياطي المتبقي القابل للإنتاج من النفط , مليون م3	9.059
المردود النهائي المتوقع، %	7

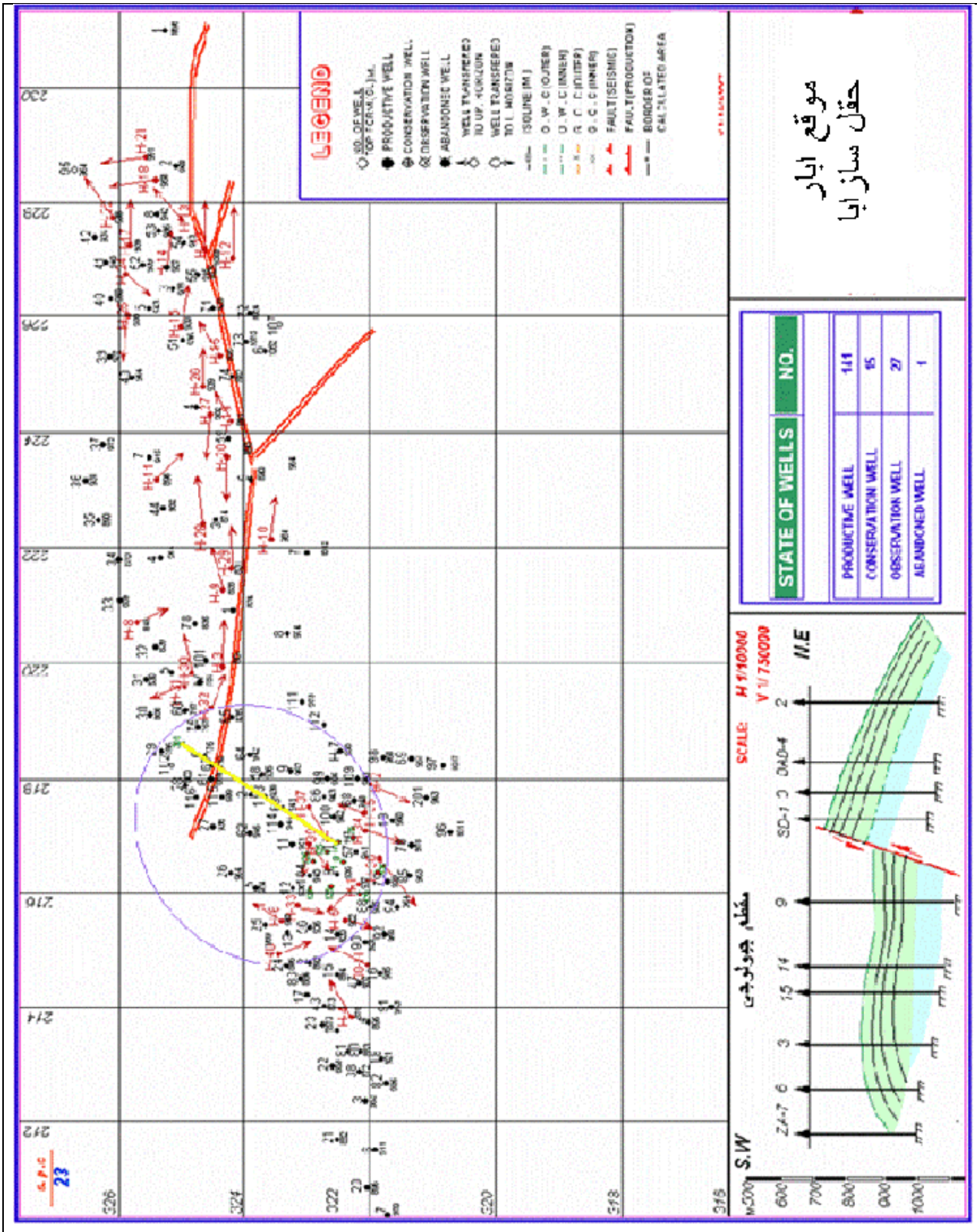
بلغ عدد الآبار المحفورة في حقل سازابا حتى نهاية شهر شباط عام (2011) ما مقداره 222 بئراً منها 57 بئراً أفقياً و 165 بئراً عمودياً، حيث أن 53 بئراً متوقفة عن الإنتاج و 169 بئرا منتجة، ويبين الجدول (1-2) المؤشرات الإنتاجية لحقل سازابا حتى نهاية شهر كانون الأول من عام 2010 والشكل(1-5) يوضح المؤشرات الإنتاجية الشهرية لحقل سازابا، أما الشكل (1-6) يبين توزع آبار حقل سازابا.

الجدول (1–2) المؤشرات الإنتاجية لحقل سازابا حتى 2011/12/31

المؤشرات	القيمة
معدل إنتاج البئر من السائل، م3/يوم	12
معدل إنتاج البئر من النفط، م3/يوم	9.4
نسبة الماء في نهاية العام %	21.6
عدد الآبار العاملة في نهاية العام	169
عدد الآبار المحفورة	222



الشكل (1–5) الانتاج الشهري من النفط لحقل سازابا– تشكيلة الشيرانيش



الشكل (1–6) يبين توزع الآبار على تشكيلة الشيرانيش في حقل سازابا

1-3- الصفات الفيزيائية والكيميائية لموائع حقل سازابا :

يعتبر النفط المنتج من حقل سازابا من النوع الثقيل, حيث يوضح الجدول رقم (1-3) نتائج تحليل عينات نفطية من هذا الحقل.

الجدول (1-3) يبين نتائج تحليل عينات نفط من حقل سازابا

المواصفات و الواحدة	القيمة
الضغط الطبقي الأولي , Kgf/Cm^2	142
الضغط الطبقي الحالي, Kgf/Cm^2	128.6
ضغط الإشباع, Kgf/Cm^2	60
درجة حرارة الطبقة ,C	56
عامل حجم النفط	1.13
نسبة غاز/نفط (GOR), m^3/m^3	36
كثافة النفط في الشروط السطحية, g/Cm^3	0.9861-0.9659
درجة الجودة الأمريكية ، API	12-15
لزوجة النفط بالشروط الطبقية , Cp	30
عمق التقاء النفط مع الماء ، m	-980

فيما يلي نتائج تحليل عينة غاز مرافق للنفط في حقل سازابا في الشروط السطحية

الجدول(1-4) يبين نتائج تحليل عينة غاز مرافق للنفط في حقل سازابا

المركبة	% حجما
C_1	75.04
C_2	6.74
C_3	5.31
C_4	0.9
n-C_4	2
i-C_5	0.56
n-C_5	0.58
C_6	0.58
H_2S	0.02
CO_2	6.76
N_2	1.51
الكثافة النسبية للغاز (Air=1)	0.787
كثافة الغاز عند الدرجة 15.5 $^oCg/L$	0.9643

فيما يلي نتائج تحليل عينة مياة طبقية من حقل سازابا.

الجدول (1-5) يبين نتائج تحليل عينة مياه من حقل سازابا

المركبة	القيمة ،mg/l
شوارد الكالسيوم	1002
شوارد المغنيزيوم	365
شوارد الصوديوم و البوتاسيوم	750
شوارد الحديد	0.9
الكلور	2938
البيكربونات	355
النترات	28
درجة الحموضة ، PH	7.5
الكثافة النسبية للمياه, d_4^{20}	1.005
المجال الذي أخذت منه العينة	1409-1387 m

1-4- المشاكل الإنتاجية في حقل سازابا وطرق المعالجة:

1-4-1- المشاكل الإنتاجية:

1- عامل المردود النهائي المتوقع بطريقة الإنتاج الحالية منخفض جداً مع العلم أن الاحتياطي الجيولوجي الأولي لحقل سازابا كبيرا وهو (253.6 مليون م3).

2- انخفاض معدل إنتاج البئر من السائل.

3- تكرار توقف بعض الآبار بسبب أعطال في المضخات الجوفية الذي يعزى إلى لزوجة النفط العالية.

4- تعمل معظم مضخات الآبار بعامل امتلاء منخفض.

5- تعمل معظم الآبار بمستوى سائل ديناميكي منخفض.

6- صعوبات في نقل النفط وارتفاع ضغط خطوط نقل النفط لبعض الآبار وخاصة عند انخفاض درجات الحرارة في فصل الشتاء.

7- صعوبة قياس الضغط الطبقي بواسطة جهاز الأميرادا بسبب لزوجة النفط العالية وبالتالي عدم معرفة طاقة المكمن الحقيقية بشكل دقيق.

1-4-2- طرق المعالجة:

تم إجراء عمليات إصلاح وتحسين على آبار حقل سازابا النفطي وكانت النتائج غير مرضية بسبب عدم ازدياد كمية النفط المنتجة بالشكل المأمول منها، ونفذت /52/ عملية تحسين على آبار الحقل خلال عام 2010 وكان مجموع كميات النفط المنتجة بفعلها هي فقط 16337 $م^3$ كما هو مبين بالجدول (1-6).

الجدول رقم (1–6) عمليات الإصلاح والتحسين المنفذة على آبار حقل سازابا خلال عام 2010

نوع العملية	عدد العمليات	الزيادة النفطية المحققة m^3	نسبة الزيادة النفطيةإلى الزيادة الكلية %
تحسين بالمذيب	22	3615	22.1
تحسين نوعي	16	8688	53.2
تحسين	4	787	4.8
عزل كامل	1	1588	9.7
إضافة مجال	2	1139	7.0
إصلاح مواسير التغليف	4	385	2.4
دوران بالنفط	2	135	0.8
اختبار مواسير التغليف تحت ضغط	1	0	0.0
المجموع	52	16337	100

1–5– مبررات استخدام طرق الاستثمار المدعم :

توصل القائمون على العمل في مديرية حقول الحسكة إلى أن استثمار حقل سازابا بشكل أمثل ورفع عامل المردود النفطي يحتاج إلى استخدام إحدى طرق الاستثمار المدعم للنفط EOR بعد دراستها بشكل علمي ووضع مشروع تكنولوجي خاص لهذا الغرض من خلال دراسة خزنية متكاملة للمكمن، كما اقترحوا استخدام طريقة حقن غاز ثاني أكسيد الكربون والغاز الطبيعي كأفضل طريقة لزيادة عامل المردود النفطي لهذا الحقل. كما أوصى معهد بيسيب – فرانلاب بإجراء دراسة مخبرية تتضمن تحاليل PVT لتحديد عامل انتفاخ النفط ومقدار انخفاض لزوجته مع نسب مختلفة من غاز CO2 في الغاز المحقون.

بهدف تامين الغاز اللازم للحقن تم حفر البئر رقم 301 في طبقة البطما كبئر منتجة للغاز والذي أنتج غازا ومكثفات غازية.

- تم حفر البئر(1) في طبقة الشيرانيش كبئر حاقنة للغاز.
- تم حفر تسعة آبار عمودية ضمن الحلقة الأولى والثانية حول بئر حقن الغاز وسيتم حفر خمسة آبار أخرى بالإضافة إلى الآبار القديمة المحفورة .
- تم تمديد خط الغاز من البئر 301 زاربة إلى البئر (1) بئر حقن الغاز.

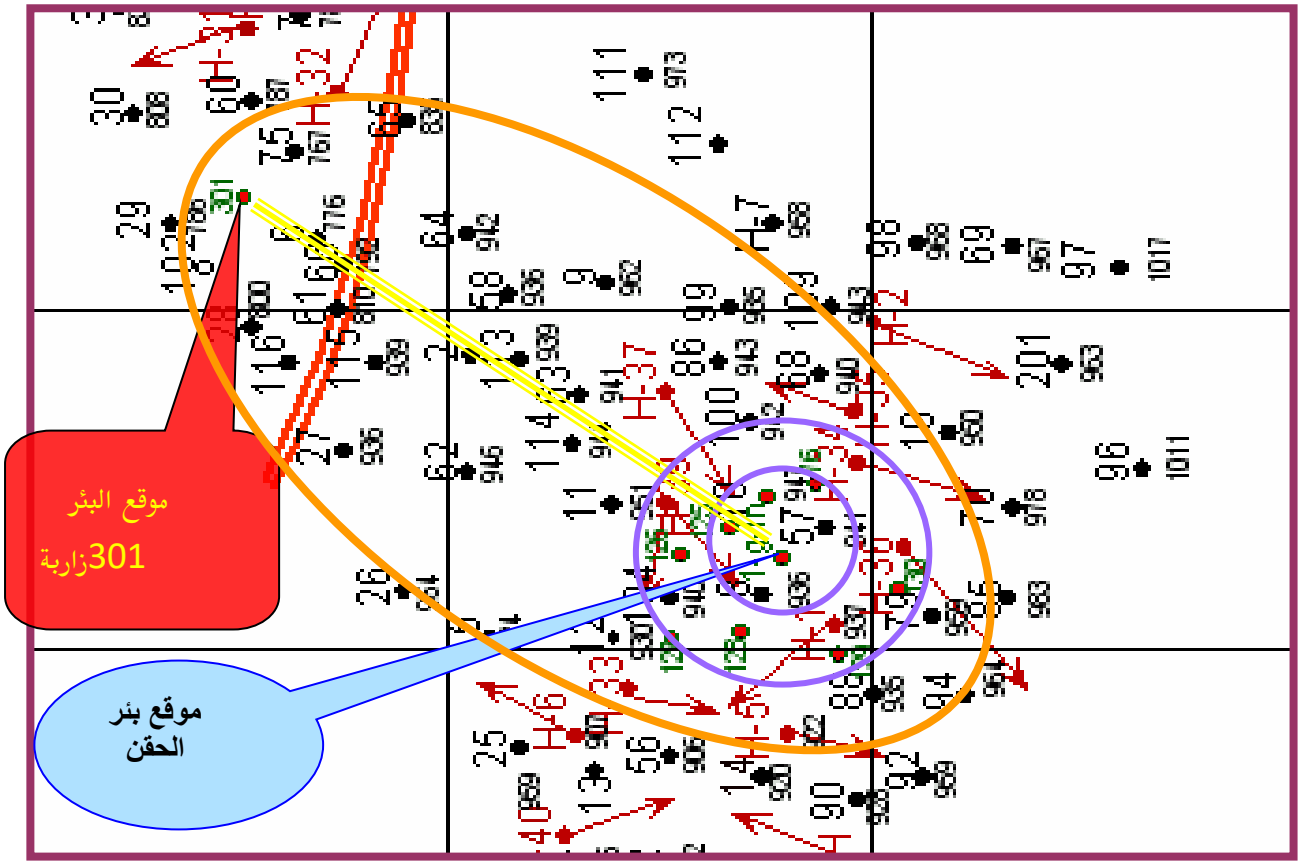
و يبين الشكل (1–7) موقع هذه الابار في حقل سازابا.

تم تقييم البئر على أنظمة عمل مختلفة وجرى إعادة تثقيب المجال المنتج من قبل شلمبرجير بطلقات عالية الاختراق وتحميض المجال وإعادة تقييم البئر مع إجراء تحاليل للغاز المنتج.

وفيما يلي نتائج تقييم البئر 301 الغازي:

الجدول رقم (1-7) يبين الاحتياطي الجيولوجي من الغاز الحر والكوندنسيت

الاحتياطي الجيولوجي من الغاز الحر، مليون م^3	364
الاحتياطي القابل للإنتاج من الغاز الحر، مليون م^3	328
الاحتياطي الجيولوجي من الكوندنسيت، مليون م^3	0.038
الاحتياطي القابل للإنتاج من الكوندنسيت، مليون م^3	0.034



الشكل (1-7) يبين موقع البئر 301 الغازي وبئر الحقن (1) في حقل سازابا

أما نتائج تقييم البئر 301 الغازي باستخدام فالات مختلفة القياس فكانت كما يلي:

الضغط الطبقي يساوي (207.6 atm =3051.72 Psia = 21.035 MPa)

الجدول رقم (1–8) يبين نتائج تقييم البئر 301 الغازي

المؤشرات	ضغط رأس البئر atm		الإنتاج اليومي من الغاز m^3	الإنتاج اليومي من السائل m^3	نسبة الماء %	الضغط الديناميكي atm	فرق الضغط atm	درجة الجودة الامريكية API
الفالة أنبوب	tubing	casing						
64/32	71	71	100000	15	0	128.3	79.3	51.59
64/20	82	82	50000	10	0	172.9	34.7	51
64/12	87	87	22000	-	-	191.5	16.1	51
64/24	80	80	59000	11	0	160.1	47.5	52
64/16	85	85	44000	3	0	181.3	26.3	51

وفيما يلي نتائج تحليل عينة غاز من البئر 301 :

الجدول رقم (1–9) نتائج تحليل عينة غاز من البئر 301

المركبة	% وزنا	% حجما
C_1	9.3	21.62
C_2	0.96	1.19
C_3	0.6	0.51
i-C_4	0.09	0.06
n-C_4	0.22	0.14
i-C_5	0	0
n-C_5	0	0
C_6	0	0
H_2S	0.11	0.12
CO_2	86.4	73.27
N_2	2.32	3.09
1.2882		الكثافة النسبية للغاز (Air=1)
1.5767 g/liter		كثافة الغاز عند (60 ^oFو 14.7 Psia)

الفصل الثاني

الاستثمار المدعم للنفط (EOR)

باستخدام طرق حقن الغاز

الفرق بين (IOR) و (EOR):

يتم استخدام هذين المصطلحين كثيرا في هندسة المخزون.

(IOR) يعني الاستثمار (الاستخلاص) المحسن للنفط وهو مصطلح عام يعني تحسين استخلاص النفط باستخدام أي وسيلة فعلى سبيل المثال: حفر آبار افقية، تحسين كفاءة الكسح الافقي والعمودي، والتي تؤدي إلى زيادة استخراج (مردود) النفط.

(EOR) يعني الاستثمار المدعم للنفط وهو أكثر دقة في المفهوم ويمكن اعتباره مجموعة فرعية من الـ ((IOR))والذي يعني تقليل درجة التشبع بالنفط المتبقي (S_{or}).

استعادة النفط المجوز ضمن القنوات المسامية بسبب القوى الشعرية (بعد الغمر بالماء في مكامن النفط الخفيف) والنفوط غير المتحركة أو ضعيفة الحركة بسبب اللزوجة العالية (النفوط الثقيلة)، يمكن تحقيقه فقط عن طريق خفض درجة التشبع بالنفط المتبقي (S_{or}).تعتبر العمليات الامتزاجية والغمر الكيميائي والطرق القائمة على البخار فعالة في تقليل درجة التشبع بالنفط المتبقي ،

يختلف هدف الاستثمار المدعم للنفط بشكل كبير باختلاف أنواع الهيدروكربونات.

بالنسبة لمكامن النفط الخفيف، يكون الاستثمار المدعم للنفط عادةً قابل للتطبيق بعد عمليات الإنتاج الثانوية و الاستثمار المدعم للنفط يؤدي الى استخلاص 45 % من الاحتياطي النفطي، بينما تستجيب النفوط الثقيلة بشكل سيئ إلى طرق الاسترداد الأولية والثانوية ،

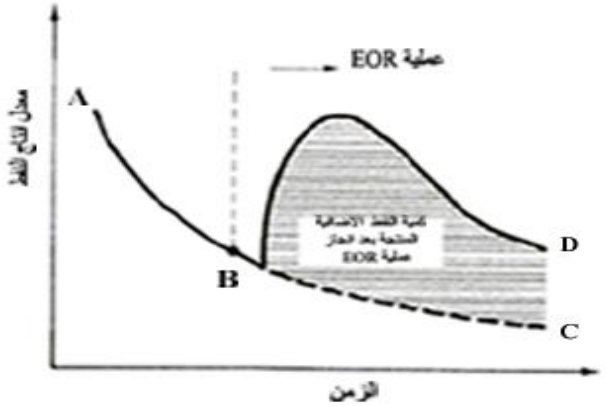
يتضمن تطوير وإنتاج النفط في الحقول النفطية ثلاثة طرق رئيسية: أولية – ثانوية –ثالثية(EOR).

يتم استخراج النفط بالطرق الأولية بواسطة الضغط الطبقي للمكمن ودفع الجاذبية التي تقوم بدفع النفط إلى قاع البئر بالإضافة إلى طرق الرفع الصناعي التي تقوم بسحب النفط إلى السطح، عامل المردود النفطي بهذه الطرق يتراوح بين 5–20% فقط من نفط المكمن بالطرق الأولية.

يتم استخراج النفط بالطرق الثانوية بحقن الماء أو الغاز لإزاحة النفط ودفعه إلى قاع البئر، عامل المردود النفطي بهذه الطرق يتراوح بين 20–40 % من النفط بالطرق الثانوية.

الاستثمار المدعم للنفط EOR كطريقة إنتاج ثالثية ، هو عملية حقن مواد في المكمن لاستخراج كمية النفط المتبقية بعد عمليات الإنتاج الأولية والثانوية غير القابلة للاستخراج بالطرق التقليدية(الأولية – الثانوية) ويعتبر المقياس التقني العام لنجاح مشروع EOR هو تزايد كمية النفط المستخرجة من المكمن كما هو موضح بالشكل (2–1)، لنتخيل حقلا أو مكمنا أو بئرا حيث يهبط معدل الإنتاج ابتداء من (B →A) ويبدأ مشروع (EOR) عند النقطة (B) فإذا كان ناجحا فان كمية النفط التي تم استعادتها بشكل

حقيقي هي من (B→D) وبذلك المنطقة المظللة تحت منحني زمن – معدل تمثل كمية النفط الإضافية المستخرجة وإلا ستكون كمية النفط المستخرجة هي من(B→C).



الشكل رقم (2–1) يبين تزايد إنتاج النفط نتيجة الاستجابة النموذجية لعملية EOR

عامل المردود النفطي بهذه الطرق يتراوح بين 45–65 % أو أكثر من النفط بطرق EOR ويبين الجدول رقم (2–1) طرق EOR.

يعتمد نجاح مشروع الاستثمار المدعم للنفط على العوامل التالية:

1– الآلية التي يزيح فيها المائع المحقون النفط (كفاءة الإزاحة).

2– الحجم من المكمن الذي يتصل مع السائل المحقون (كفاءة الكسح) .

الجدول (2–1) طرق الاستثمار المدعم (EOR) باستخدام حقن الغازات

3 – حقن الغازات Gas injection	1 – حقن الغاز الطبيعي	natural gas injection
	2 – حقن غاز ثاني أكسيد الكربون	Carbon dioxide injection
	3 – حقن غاز الازوت	Nitrogen gas injection
	4 – حقن الهواء	air injection

2–1– السلوك الطوري لمنظومة نفط خام – CO_2 :

إن سلوك الطور أكثر تعقيدا من اجل منظومة CO_2– نفط خام والتي تقسم إلى عدة نماذج هي:

1– نموذج سلوك الطور I: المؤلف من طورين سائل – بخار والشكل (2–2) يبين مخططات ثلاثية طورية زائفة افتراضية ومخطط تركيب – ضغط (P-X) لنموذج سلوك الطور (I) والتي تبين عدد ونماذج الأطوار وحجم السائل كنسبة مئوية.

يلاحظ من مخطط (P-X) انه إذا كان ضغط المكمن مساوي للضغط عند النقطة الحرجة C فان CO_2 يمكن ان يحقق الامتزاجية تماما عند التماس الأول (FCM) ويبين المخطط الثلاثي أن سلوك الطور مشابه جدا لعملية التبخير عند الضغط العالي، فإذا تم ملاحظة هذا النموذج لسلوك الطور فانه لتحقيق الامتزاجية يجب أن يكون ضغط المكمن أعلى من ضغط الامتزاجية الاصغري.

2– نموذج سلوك الطور II(a): يبين الشكل(2–3) مثال لتعدد الأطوار لمزيج نفط –CO_2 ،حيث يتواجد في هذا النموذج لسلوك الطور المناطق التالية: سائل – سائل و سائل – بخار و سائل – سائل – بخار،

ويمكن انجاز الامتزاجية عند التماس الأول تماما بواسطة CO_2 عند النقطة الحرجة كون منطقة سائل – سائل تحدث تحت النقطة الحرجة ،ويتصف هذا النموذج لسلوك الطور بما يلي:

أ- وجود منطقة ثلاثية الطور عند الانخفاض التدريجي للضغط وذلك عند زيادة الكسر المولي لـ CO_2 كما يظهر على مخطط (P-X).

ب- يلاحظ سلوك تراجعي(رجعي) في منطقة سائل – سائل.

3- نموذج سلوك الطور II(b): يبين الشكل(2-4) المخططات الثلاثية الزائفة ومخطط (P-X) لهذا النموذج، حيث يتضمن أطوار متعددة وتختلف الخصائص كما يلي:

أ- وجود المنطقة ثلاثية الطور عند ارتفاع الضغط بشكل تدريجي وإضافة CO_2.

ب- لا يلاحظ سلوك تراجعي (رجعي) في منطقة سائل – سائل.

ت- الضغط الحرج على خط 100% سائل هو عند ضغط عال جدا.

4- نموذج سلوك الطور II(c): يبين الشكل(2-5) المخططات الثلاثية الزائفة ومخطط (P-X) لهذا النموذج والذي يتصف بما يلي:

أ- وجود منطقة ثلاثية الطور ذات انحدار إلى اليمين.

ب- لايلاحظ سلوك تراجعي(رجعي) في منطقة سائل – سائل عند الضغوط موضع الدراسة.

الخلاصة : عند الضغوط المنخفضة ولجميع تراكيز CO_2 يكون المزيج مؤلف من طورين بخار وسائل أما عند الضغوط العالية والتراكيز المنخفضة لـ CO_2 يكون المزيج أحادي الطور.

عند تراكيز لـ CO_2 أعلى من 60% يمر من خلال النقطة الحرجة حدود طورين أحاديين وتركيب CO_2 عند هذه النقطة الحرجة هو التركيب الحرج عند درجة حرارة ثابتة والضغط المقابل.

يمكن ان تشكل المنظومة طورا سائلا كالمكون الخفيف والذي يزداد تركيزه عند ضغط ثابت ليصبح اكبر بكثير من التركيز الحرج وهذا التغير هو نموذج للسلوك التراجعي (الرجعي).

ان الفرق الرئيسي بين السلوك الطوري عند درجات الحرارة المنخفضة والمرتفعة مبين بالشكل (2-5) من خلال المنطقة الصغيرة الثلاثية الطور فقط والتي تقع أسفل ويمين النقطة الحرجة وهذه الأطوار هي سائلين طور خفيف أو أعلى وطور ثقيل أو ادنى وطور بخار ومثل هذا السلوك لايشاهد بشكل عام عند درجات الحرارة العالية ،علاوة على ذلك وعند درجات الحرارة المنخفضة فان كمية قليلة من الراسب الصلب يمكن ان توجد فوق نفس مجال التركيب والضغط والتي تتألف بالدرجة الأولى من الاسفلتين وجزء من نظامي الهيبتان عديم الذوبان من النفط الخام ومجال تشكيل الراسب يمكن ان يتخطى المجال ثلاثي الطور ، حيث يشكل هذا السلوك تعقيدا لعملية الازاحة ويمكن ان يؤدي الى مشاكل بالعمل وبذلك يمكن ان يؤدي هذا الراسب الصلب إلى سد الفراغات المسامية للتشكيل.

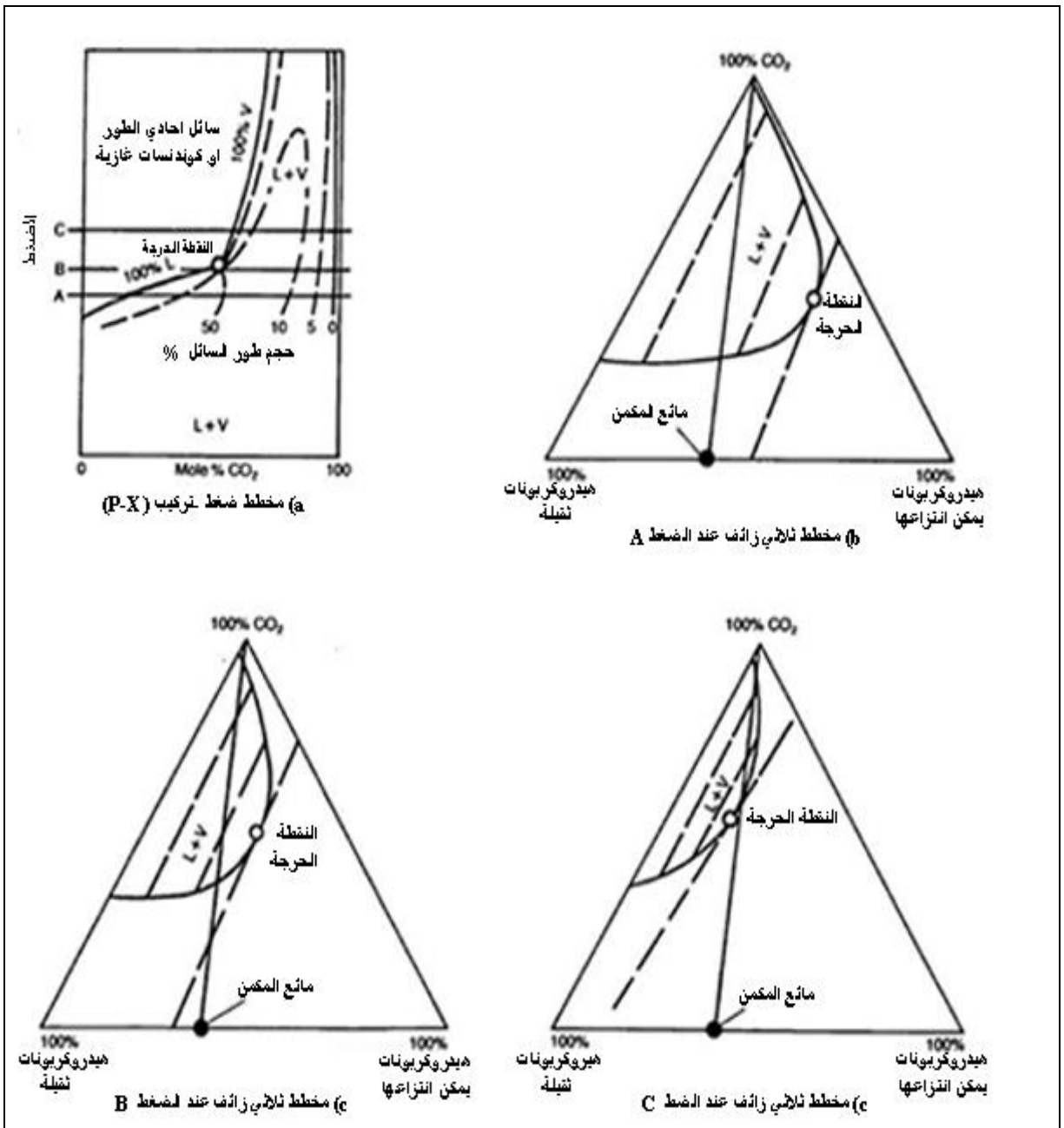
يمكن أيضا تمييز الامتزاجية بمساعدة مخطط (P-X) كما هو مبين بالشكل (2-6) حيث يلاحظ ان ضغط الإشباع يزداد بازدياد كمية المذيب في مزيج مذيب – نفط الذي يبدأ عند قيمة ضغط الإشباع

للنفط و يزداد ضغط الإشباع للمزيج مع اضافة المذيب حتى قيمة عظمى(P_{bmax})،وبعد النقطة الحرجة فان منحني الإشباع هو منطقة نقاط التكثيف وضغوط نقاط التكثيف يمكن ان تكون اقل أو أعلى من (P_{bmax}) وذلك اعتمادا على تراكيب النفط والمذيب حيث يوجد نموذجين لمخططات (P-X) هما:

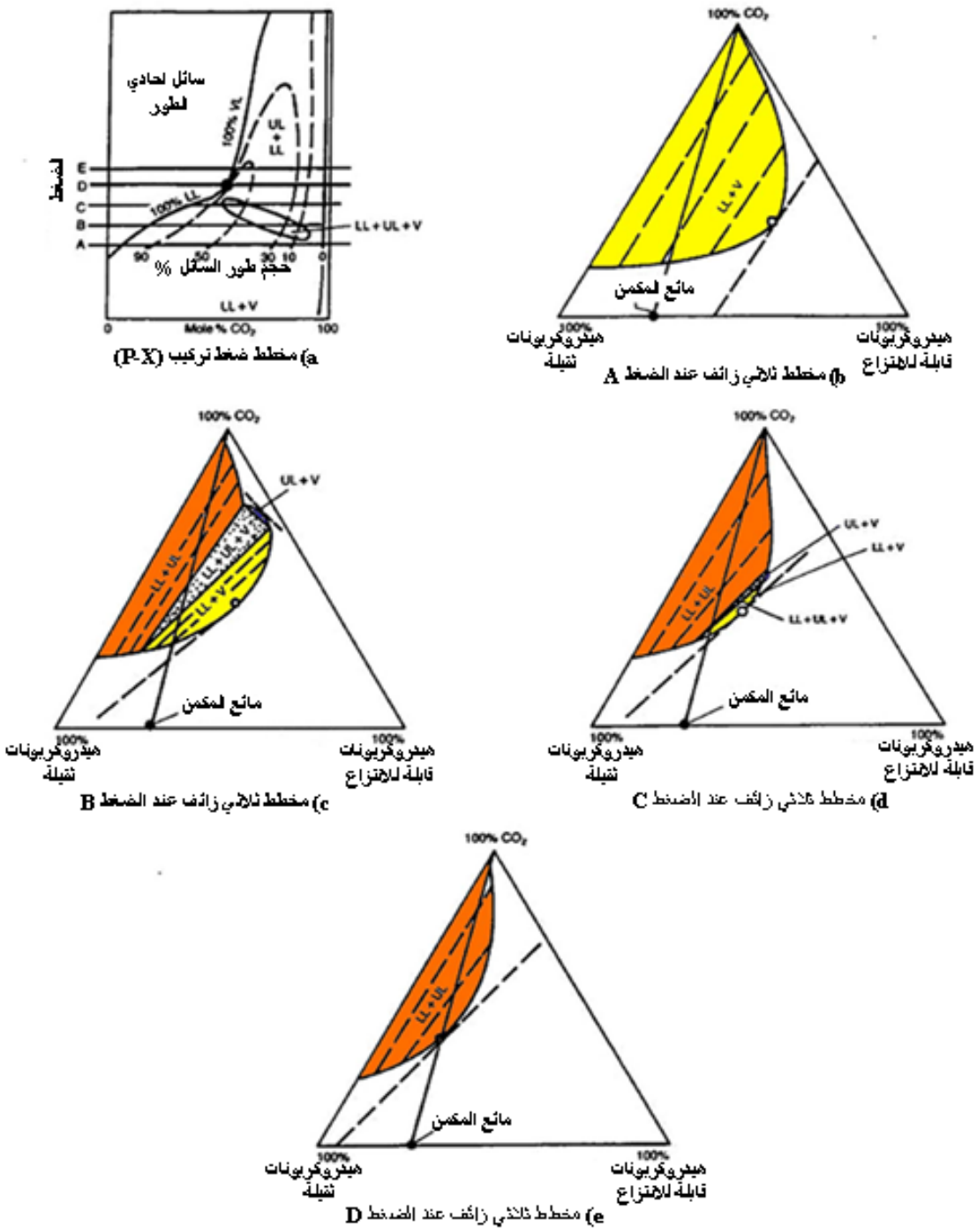
أ- النموذج I: هو منحني (P-X) ذو ضغط اشباع أعظمي والذي ينخفض حتى النقطة الحرجة.

ب- النموذج II: هو منحني (P-X) ذو ضغط اشباع يزداد روتينيا حتى النقطة الحرجة.

نظريا ان ضغط الامتزاجية عند التماس الأول هو ضغط الإشباع الاعظمي ، وفيزيائيا ان(P_{bmax}) يمكن ان يعتبر كضغط الامتزاجية عند التماس الأول لذلك المزيج مذيب – نفط.



الشكل (2-2) سلوك الطور الافتراضي لمنظومات النموذج I عند درجة حرارة أعلى من 120 ºF

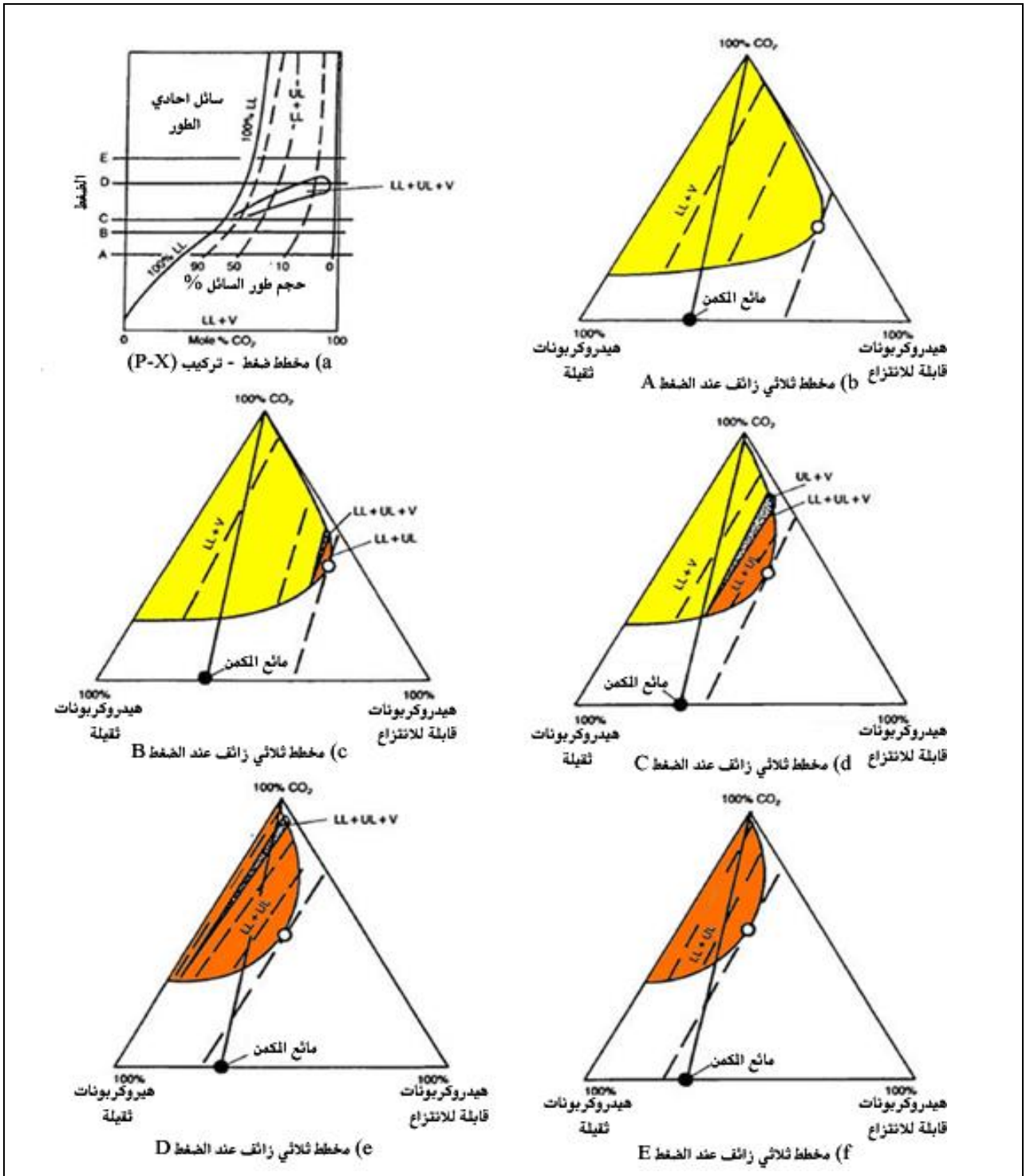


L L=Liquid Light or Upper Phase = طور سائل خفيف أو أعلى

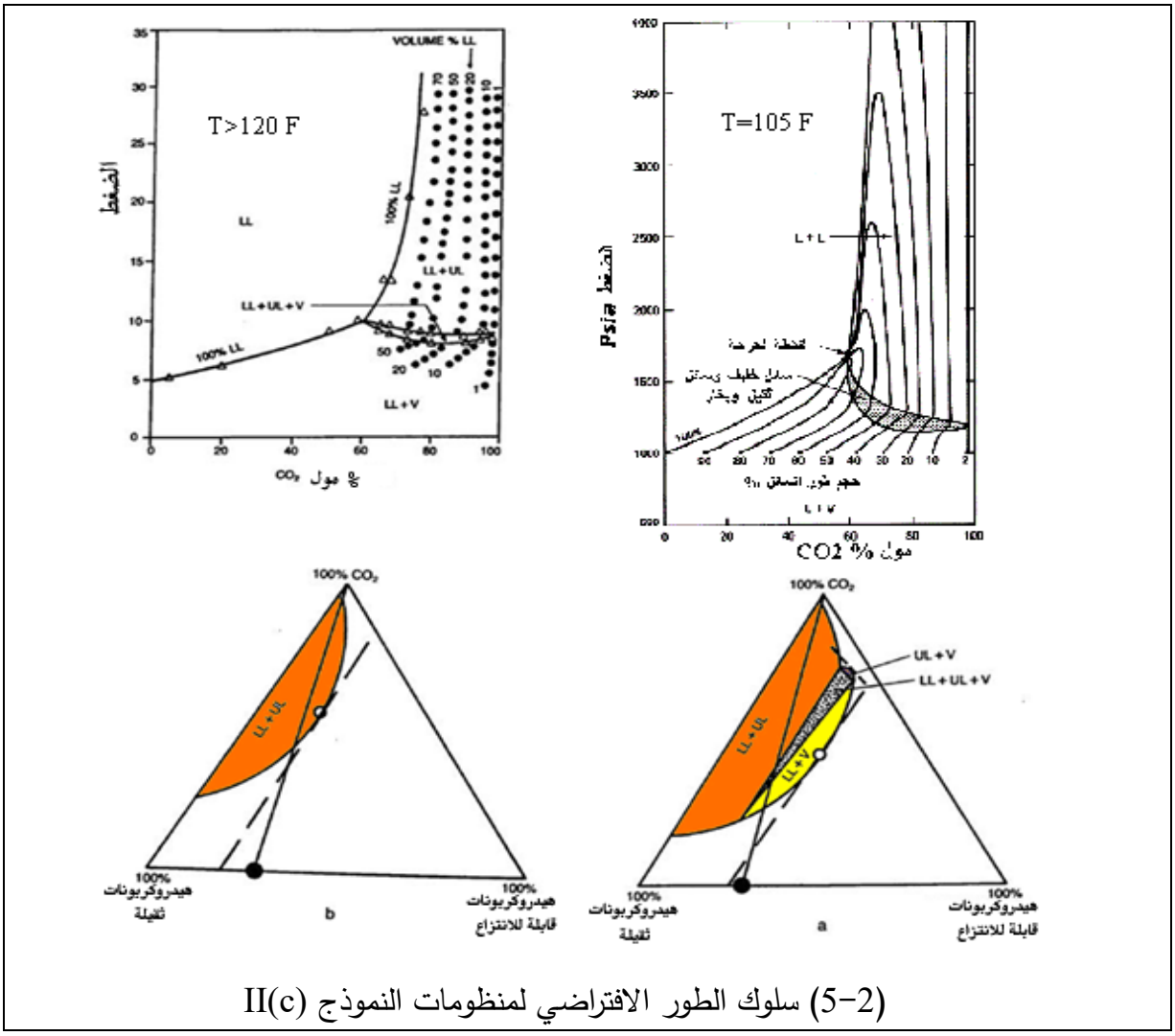
U L= Liquid Heavy or Lower Phase = طور سائل ثقيل أو أدنى

V= Vapor Phase = طور بخار

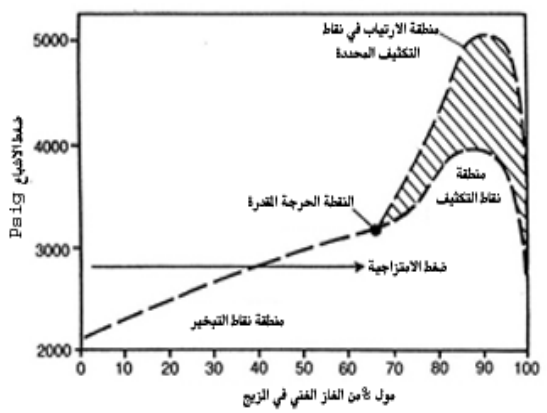
الشكل (2–3) سلوك الطور الافتراضي لمنظومات النموذج II(a) عند درجة حرارة اعلى من 120 ^{o}F



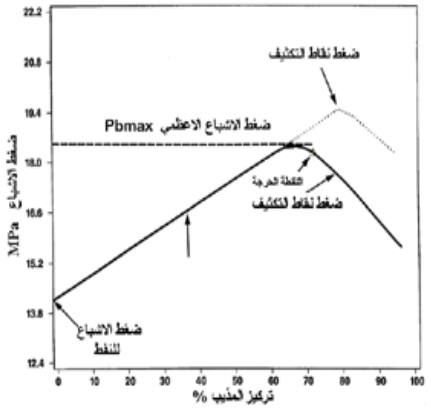
الشكل (2–4) سلوك الطور الافتراضي لمنظومات النموذج II(b) عند درجة حرارة أعلى من 120 ºF



(2–5) سلوك الطور الافتراضي لمنظومات النموذج II(c)



للنموذج II



للنموذج I

الشكل (2–6) يبين مخطط ضغط – تركيب (P-X)

2-2- آلية عملية الإزاحة باستخدام حقن الغاز :

- حدوث امتزاجية في دفع غاز التبخير والتكثيف.
- يساعد على انتفاخ النفط الخام وبالتالي زيادة حجمه.
- يخفض لزوجة النفط.

2-3- الغمر الامتزاجي باستخدام CO_2 :

يمكن ان يحدث نموذجين من الامتزاجية باستخدام غمر CO_2 هما:

1- الامتزاجية عند التماس الأول (FCM).

2- الامتزاجية المتعددة التماس (MCM) (الامتزاجية الديناميكية) وتتضمن:

دفع غاز التبخير- دفع غاز التكثيف- آلية الدفع المشترك لغاز التبخير والتكثيف.

2-3-1- الامتزاجية عند التماس الأول (FCM):

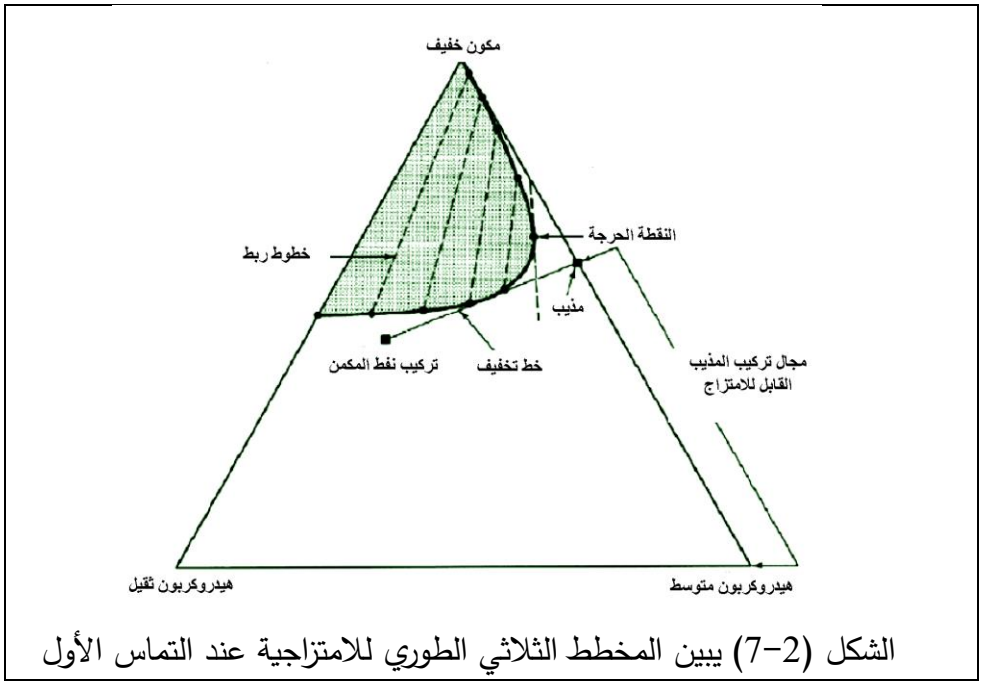
ليتم الوصول إلى الامتزاجية عند التماس الأول بين المذيب والنفط يجب أن يكون الضغط فوق الكريكوندينبار (وهو الضغط الاعظمي الذي يتواجد عنده الغاز والسائل في حالة توازن) وفوق هذا الضغط فان كل خلائط مذيب – نفط هي أطوار أحادية.

إذا كان المذيب سائلا عند ضغط ودرجة حرارة المكمن – على سبيل المثال – مزيج من البروبان والبوتان فان ضغط الإشباع لمزيج نفط – مذيب سيتراوح بين ضغط الإشباع للنفط وضغط الإشباع للمذيب وفي هذه الحالة يكون الكريكوندينبار أعلى من ضغطي الإشباع هذين.

أما إذا كان المذيب غازا عند ضغط ودرجة حرارة المكمن عندها يصبح سلوك الطور أكثر تعقيدا وفي هذه الحالة يمكن أن يحدث الكريكوندينبار عند المزائج المتوسطة بين النفط النقي والمذيب النقي .

تُمثل الإزاحة الأحادية للنفط الخام بالمذيب على المخطط الثلاثي الطوري كما في الشكل (2-7) حيث يكون تركيب الخام الواقع ضمن المثلث أوليا يحتوي على جزء من المكون الخفيف وإذا لم يمر الخط المستقيم (خط التخفيف) الواصل بين المذيب والخام من خلال المنطقة ثنائية الطور فان الإزاحة ستمثل طور وحيد يتغير تركيبه من النفط الخام حتى المذيب خلال منطقة المزيج مذيب – خام وذو مسار تخفيف خطي.

بما أن الآلية الوحيدة للمزج هي التشتت (التبعثر) مع عدم وجود ماء أو تأثيرات تدفق جزيئية مترافقة مع طور الهيدروكربون الأحادي فان الإزاحة التي تحدث كليا في هذه الحالة هي الامتزاجية عند التماس الأول مع النفط الخام عند درجة الحرارة والضغط المحددين.



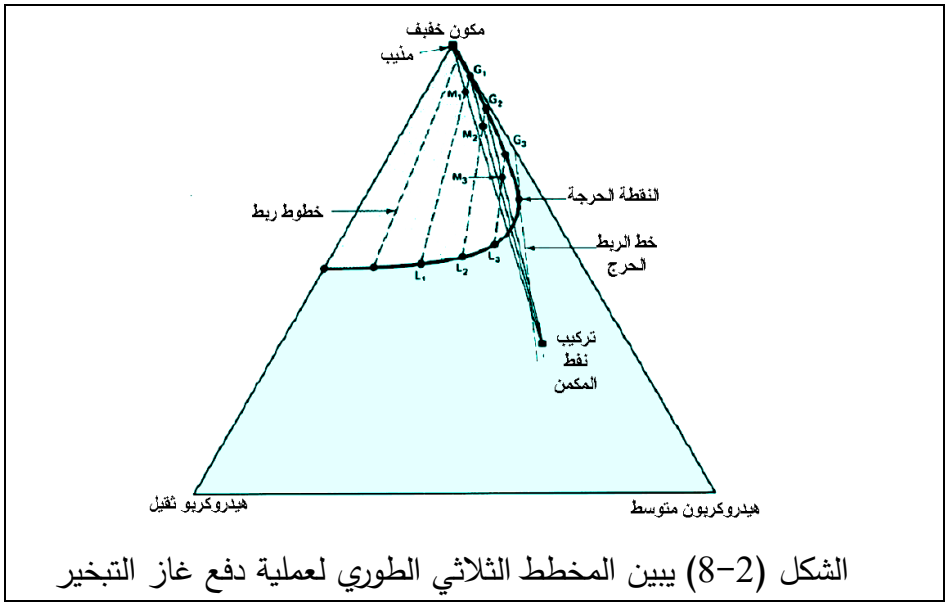
الشكل (2–7) يبين المخطط الثلاثي الطوري للامتزاجية عند التماس الأول

2–3–2– الامتزاجية المتعددة التماس (MCM) (الامتزاجية الديناميكية):

لنفترض أن المذيب يتضمن كليا المكون الخفيف فان الإزاحة في هذه الحالة هي متعددة التماس وليست امتزاجية عند التماس الأول لان مسار التخفيف يمر من المنطقة ثنائية الطور كما يظهر في الشكل (2–8) لنتخيل سلسلة مؤلفة من مجموعة خلايا للمزج تمثل الوسط النفوذ في الازاحة الأحادية البعد وتحتوي الخلية الأولى بشكل أولي على النفط الخام ثم نضيف إليها كمية من المذيب والتركيب العام معطى بالنقطة M_1 عندها سينفصل هذا المزيج إلى طورين غاز G_1 وسائل L_1 المحددة بواسطة خط الربط المار من النقطة M_1 وسيكون للغاز G_1 قابلية حركة أعلى بكثير من السائل L_1 ثم يتحرك الغاز إلى خلية المزج الثانية بعد ان يكون قد انتزع بعض الكسور الخفيفة والمتوسطة من طور النفط ليشكل المزيج M_2 ويبقى السائل L_1 مع الغاز الأكثر نقاء خلف المزيج،وفي خلية المزج الثانية فان التركيب العام المتمثل بالنقطة M_2 سينفصل إلى الغاز G_2 والسائل L_2حيث يتدفق الغاز G_2 إلى الخلية الثالثة ويصبح أكثر غنى بالكسور المتوسطة لتشكيل الخليط M_3 وهلم جرا.

عند النقطة الحرجة وما بعد فان طور الغاز لن يشكل طورين عند المزج مع الخام ومن هذه النقطة والى الأمام ستكون كل التراكيب في الازاحة على مسار التخفيف المستقيم الواصل بين النفط الخام والنقطة الحرجة(خط المماس في النقطة الحرجة) والإزاحة هي امتزاجية عند التماس الأول وتركيب المذيب معطى بواسطة النقطة الحرجة، ثم تتطور العملية الامتزاجية باغناء المذيب بالكسور المتوسطة ويكون بذلك قابلا للامتزاج مع النفط وبما ان الكسور المتوسطة قابلة للتبخير من النفط تسمى العملية دفع غاز التبخير وستتطور الامتزاجية في هذه العملية طالما ان المذيب المحقون والخام على جهتين متقابلتين من خط المماس في النقطة الحرجة.

ان دفع غاز التبخير الامتزاجي للنفط يتحقق بواسطة رفع الضغط بشكل كاف على سطح التماس بين النفط والغاز ويدعى اصغر ضغط لازم لتتحقق هذه الامتزاجية ضغط الامتزاج الاصغري (MMP) والذي عنده يصبح النفط والغاز ممتزجين بكل النسب.



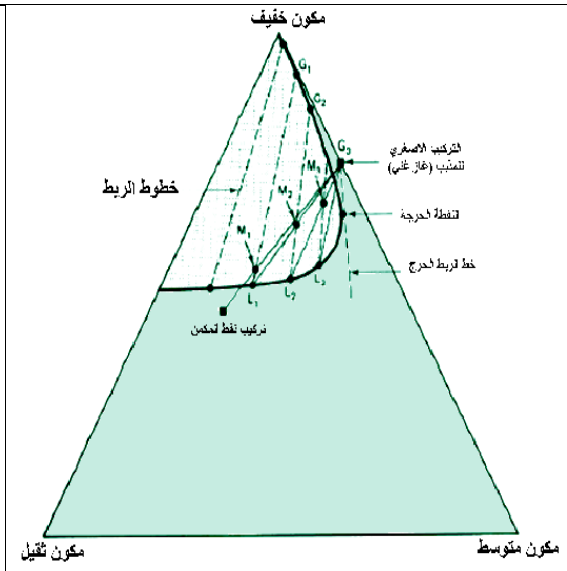
الشكل (2–8) يبين المخطط الثلاثي الطوري لعملية دفع غاز التبخير

لنفترض الآن أن تراكيب الخام والمذيب لا تقعان على جهتين متقابلتين من خط الربط الحرج وإنما يقع تركيب النفط على الجهة الأخرى المقابلة لخط الربط الحرج كما في الشكل (2–9) فانه في خلية المزج الأولى ينفصل التركيب العام M_1 إلى غاز G_1 وسائل L_1 ثم يتحرك الغاز إلى خلية المزج الثانية كما مر سابقا أما السائل L_1 فانه يمتزج مع مذيب نقي ليشكل المزيج M_2 ثم يمتزج السائل L_2 مع مذيب نقي وهلم جرا وفي النهاية ستؤدي عملية المزج هذه في خلية المزج الأولى إلى الحصول على مزيج أحادي الطور وبما ان الغاز يمر من خلال الخلية الأولى فان الامتزاجية ستتطور الآن عند مؤخرة منطقة المزيج مذيب – خام كنتيجة لاغناء طور السائل بالمكونات المتوسطة هناك.

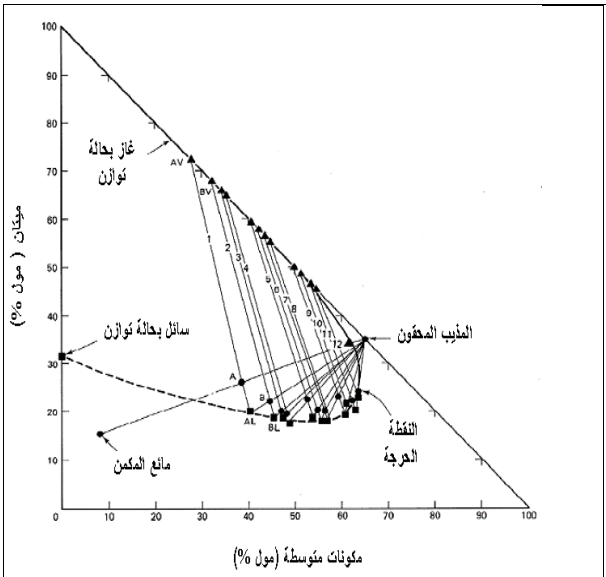
ان جبهة منطقة المزيج هي منطقة تدفق غير قابل للامتزاج بسبب الاتصال المستمر لأطوار الغاز G_1 ,G_2, …etc مع الخام (وهي تحصل أيضا عند مؤخرة منطقة المزيج في عملية دفع غاز التبخير)

إن العملية المبينة في الشكل (2–9) هي عملية دفع الغاز الغني لان المكونات المتوسطة أضيفت لاغناء المذيب المحقون والتي تتكثف في طور السائل وتدعى العملية أيضا دفع غاز التكثيف.

يبين الشكل (2–10) بان أكثر من اثنتي عشر تماسا ضرورية لتطوير الامتزاجية في منظومة حقيقية حيث تعتمد توازنات أطوار هذه المنظومات مذيب – خام بقوة على ضغط ودرجة حرارة المكمن ورغم ذلك عند الضغط الأعلى من الكريكوندينبار للمخطط الثلاثي للمكونات المتوسطة – الخفيفة فان هذين المكونين قابلان للامتزاج في كل النسب .



الشكل (2–9) يبين المخطط الثلاثي الطوري لعملية دفع غاز التكثيف



الشكل (2–10) يبين مخطط ثلاثي طوري ميتان – نفط خام

2–3–3– آلية الدفع المشترك لغاز التبخير والتكثيف:

بينت الملاحظات التجريبية والحسابات بمعادلة الحالة انه يمكن إرجاع الإزاحة الامتزاجية بحقن الغاز الغني إلى اشتراك آليتين هما دفع غاز التبخير وغاز التكثيف.

كما بينت الدراسات المخبرية لعمليات الازاحة ظهور منطقة انتقالية شبه امتزاجية (امتزاجية زائفة) مسبوقة بمنطقة من النفط الأولي الموجودة في حالة توازن مع الغاز والتي فقدت كسورها المتوسطة (نموذج من دفع غاز التكثيف), ولكن النفط الثقيل المتبقي يظل محجوزا في المنطقة الخلفية (نموذج من دفع غاز التبخير) وتم الاستنتاج بأنه لايمكن استخدام المخطط الثلاثي الطوري لشرح آلية الامتزاج لنفط المكمن – المذيب عند حدوث الآليتين بشكل مشترك.

والاستنتاجات الأساسية من تلك الآلية هي:

1– ان آلية الدفع المشترك لغاز التبخير والتكثيف أكثر توافقا مع آلية دفع غاز التكثيف النقي عند حقن الغاز الغني داخل مكمن النفط.

2– تتطور منطقة الامتزاجية الزائفة المتشكلة بشكل مشابه تماما لحالة دفع غاز التكثيف.

3– يظل بعض النفط المتبقي محجوزا خلف منطقة الازاحة كما في دفع غاز التبخير.

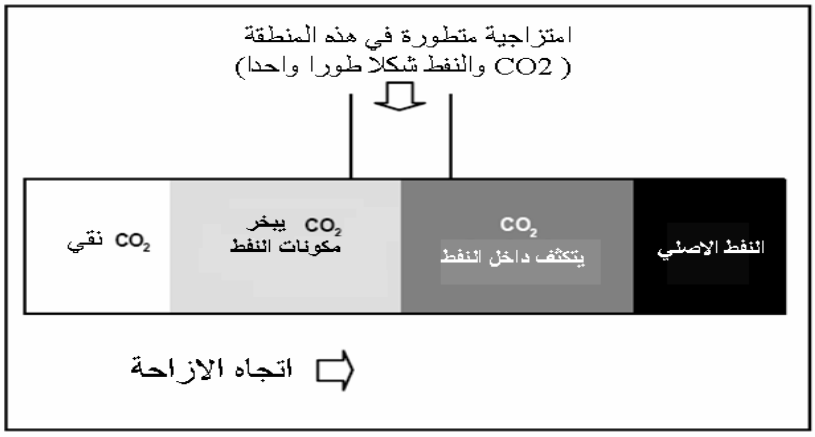
يمكن انجاز الغمر الامتزاجي باستخدام CO_2 بإحدى الطرق الأساسية التالية :

1– الحقن المستمر: يتم بحقن غاز CO_2 في الطبقة بشكل مستمر حتى تصبح نسبة الغاز المنتج مع النفط عالية جدا وبحيث تبقى العملية اقتصادية.

2- الحقن المتناوب: يتم حقن غاز CO_2 على دفعات صغيرة وبنسبة معينة من حجم المسامات وذلك بالتناوب مع دفعات مائية حيث تنخفض حركية CO_2 بشكل كبير ويتم حجز كميات كبيرة منه في الماء وأخيرا يتم دفع كل السدادات الغازية والمائية بواسطة الماء.

3- التحفيز باستخدام CO_2 أو الحقن الحلقي(الدوري): وهو تنشيط او تحريض النفوط الثقيلة على الحركة من خلال حقن CO_2 في البئر ثم يُغلق حتى يذوب قسم كبير من غاز CO_2 في النفط.

يمتزج الغاز المحقون أولا بالذوبان في النفط حتى ضغط الإشباع بعد ذلك تظهر منطقة مزيج ($HC + CO_2$ غاز) مع (نفط في توازن مع الغاز)، منطقة المزيج فيها مساحة واسعة للتبادل وخلال مسار الغاز في الوسط المسامي يحصل تبادل مادي سريع بين الغاز وأجزاء من النفط ويصبح الجزء الأمامي من جبهة المزيج أكثر غنى تدريجيا بالأجزاء الخفيفة من المركبات الهيدروكربونية حتى يختفي الحد الفاصل بين النفط والغاز وهنا يصبح الطورين ممتزجان تماما.



الشكل (2-11) مخطط أحادي البعد يبين عملية الإزاحة الامتزاجية باستخدام CO_2

2-4- آلية عملية الإزاحة باستخدام حقن غاز CO_2:

1- انتفاخ النفط (زيادة حجمه).

2- تخفيض لزوجة النفط.

3- يمكن ان يبخر وينتزع اجزاء من النفط.

4- يمكن ان يحقق الامتزاجية عند ضغوط من (1500-4500 Psi).

5- يخفض التوتر السطحي بين الماء والنفط مما يؤدي الى ازاحة اكثر فعالية.

6- يخفض الفرق بين كثافة الماء (يخفض كثافة الماء) والنفط (يزيد كثافة النفط) مما يؤدي الى تخفيض عملية الفصل بينهما بفعل الجاذبية.

2-4-1- شروط استخدام طريقة حقن غاز CO_2:

لتطبيق طريقة حقن CO_2 فانه ينصح بما يلي:

1- أن يكون عمق الطبقات المراد معالجتها بهذه الطريقة أكثر من 600 متر (2000 قدم) بحيث يمكن الوصول إلى ضغط الامتزاج الاصغري لغاز CO_2 مع النفط .

2- كثافة النفط اكبر من 900 كغ/م^3.

3- درجة التشبع بالنفط اكبر من 25%.

4- المسامية اكبر من 15 %.

5- عدم تجانس مقبول.

6- عدم وجود قبعة غازية وبتركيز عال للغاز الحر.

7- وجود مصدر لغاز CO_2 لايزيد بعده 700 كم عن مكان الحقن لتقليل الكلفة الاقتصادية.

8- تامين عملية تخزين غاز CO_2 لايؤثر على البيئة.

9- تجهيز آبار الحقن وآبار الإنتاج بتجهيزات خاصة لهذه العملية.

10- ألا يكون تجهيز وتامين غاز CO_2 مكلف وغير اقتصادي .

11- سماكة الطبقة الفعالة m (2-280).

2-4-2- حسنات ومساوئ استخدام طريقة حقن CO_2 :

أ- حسنات الطريقة:

1- ان CO_2 قابل للامتزاج مع النفط عند ضغوط اقل من النمتروجين والميتان.

2- اكثر وفرة واقل ثمنا بكثير من LPG و الغازات الهيروكربونية الغنية.

3- يمكن ان ينتزع المكونات الاثقل حتى C_{30}.

4- كثافته في طور التكثيف اقرب الى موائع المكمن (ماء- نفط) وبالتالي نسبة قابلية حركة افضل.

5- قابل للذوبان بشكل كبير في النفوط الثقيلة.

ب- مساوئ الطريقة:

1- نسبة قابلية الحركة العالية لغاز CO_2 والتي تؤدي الى عبور قسم من الغاز في الفراغات المسامية.

2- الكثافة واللزوجة المنخفضتين نسبيا لغاز CO_2 مقارنة مع نفط المكمن والتي تؤدي الى تشكل السنة الجاذبية والاصابع اللزجة.

3- - تآكل المعدات المعدنية المستخدمة في الحقن وكذلك معدات آبار الإنتاج وذلك بسبب تشكل حمض الكربون ويمكن تلافي التآكل باستخدام موانع التآكل.

4- ضرورة فصل CO_2 عن النفط المنتج.

5- تجميع وضغط CO_2 من اجل اعادة تدويره.

6- فقدان كمية من غاز CO_2 تبقى محجوزة ضمن الفراغات المسامية الضيقة وضمن المجالات المعزولة وقد تصل هذه النسبة إلى 75 % من الكمية الكلية المحقونة من غاز CO_2 وهذا يزيد من كلفة استخراج الطن الواحد من النفط باستخدام هذه الطريقة.

7- ترسب الأملاح في الطبقة ونقصان نفوذيتها بسبب وجود حمض الكربونكما ان البيكربونات المتشكلة تنحل في الماء وتنتقل معه. بالإضافة إلى ما سبق فإن حمض الكربون قد يقوم بحل جزئي لبعض أنواع الصخور غير القابلة للانحلال وتصبح بعض جزيئات الصخر حرة, وتعمل هذه الجزيئات على سد الفراغات المسامية والتقليل من النفوذية.

2-5- الغمر الامتزاجي باستخدام غاز النتروجين :

وصف العملية:

تعتبر عملية الغمر بالنيتروجين من طرق استخلاص النفط التي تستخدم هذه الغازات غير الهيدروكربونية الرخيصة الكلفة لتحل محل النفط في الأنظمة التي قد تكون إما قابلة للامتزاج أو غير قابلة للامتزاج اعتمادًا على الضغط وتركيب النفط.

بسبب تكلفتها المنخفضة ، يمكن حقن كميات كبيرة من هذه الغازات.

يمكن استخدام النيتروجين أيضًا كغازات امتزاجية مع الهيدروكربونات وأيضا أكسيد الكربون .

الآلية:

1- تبخير المكونات الأخف من النفط الخام وحدوث الامتزاجية إذا كان الضغط عالياً بدرجة كافية.

2- توفير دفع الغاز حيث يتم ملء جزء كبير من حجم المكمن بغازات منخفضة التكلفة.

3- تعزيز التصريف بنظام الجاذبية في المكامن ذات الطبقات المائلة (الامتزاجة أو غير القابلة للامتزاج)

محددات العملية :

يستحسن	**النفط الخام**
$> 24°API$	الكثافة
< 10 cp	اللزوجة
نسبة عالية من الهيدروكربونات الخفيفة (C_1 - C_7)	التركيب
يستحسن	**المكمن**
> 30 % PV	درجة التشبع بالنفط
الحجر الرملي أو الكربونات مع بعض الشقوق عالية النفوذية	نوع التشكيل

رقيق نسبيًا ما لم يكن التشكيل ذو ميل شديد	سماكة المكمن
لا يوجد قيم محددة	متوسط النفوذية
> 4000 ft	العمق
لا يوجد قيم محددة	درجة الحرارة

شروط تطبيقها:

1- لا يمكن تحقيق تطور للامتزاجية إلا بالنفوط الخفيفة وفي ضغوط عالية ؛ لذلك ، هناك حاجة لمكامن عميقة.

2- من المطلوب ميل حاد للسماح بتأثير الجاذبية بشكل فعال من اجل ان تتم الإزاحة التي لها نسبة قابلية حركة ضعيفة.

مساوئ الطريقة:

1- ينتج عن تشكل الاصابع اللزجة (التصبع اللزج) ضعف كفاءة الكسح العمودي والأفقي.

2- يجب فصل الغازات غير الهيدروكربونية عن الغاز المنتج القابل للبيع.

2-6- تحديد ضغط الامتزاج الاصغري MMP :

يعتبر ضغط الامتزاج الاصغري (MMP) المفهوم الهام والمساعد في وصف عمليات حقن الغاز الامتزاجية، وأحد أهم المؤشرات في عملية حقن CO_2 القابل للامتزاج ، والذي عنده يشكل كل من الغاز المحقون والنفط الأولي طور واحد مما يجعل عملية الإزاحة كفوءة

الاختلاف في النظرات التقريبية التجريبية والعددية عند تحديد MMP أدت إلى وجود بعض الاختلاف في القيم ، ومن اجل التقدير الدقيق لقيمة MMP نحن بحاجة في بعض العلاقات التجريبية إلى معرفة التركيب الدقيق للنفط والذي يتضمن كل المكونات الثقيلة، وهناك علاقات تجريبية أخرى تعتمد فقط على قيمة درجة الحرارة.

يعتبر جهاز الأنبوب البسيط الامتزاجي لقياس قيمة ضغط الامتزاج الاصغريMMP ، ذو دقة عالية فهو معتمد في الصناعة النفطية ، ومعيار لتحديد دقة العلاقات التجريبية المستخدمة لتحديد قيمة MMP

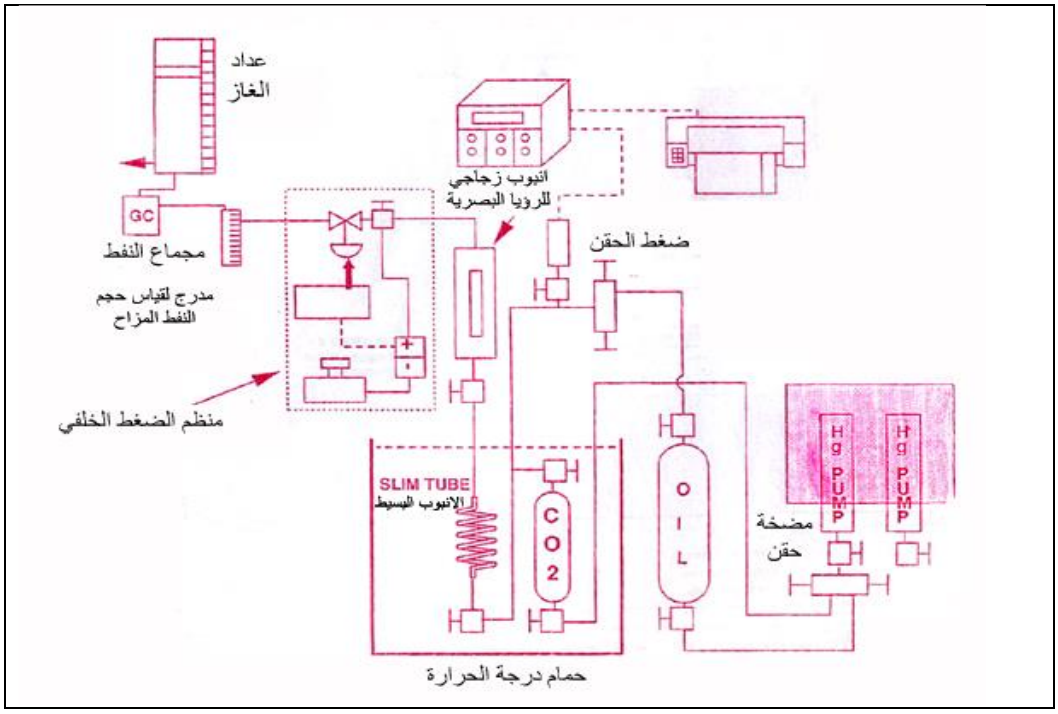
2-6-1- جهاز الأنبوب البسيط الامتزاجي :

هو أنبوب ضيق بطول بين (5-40 m) مليء بالرمل ، ويجب أن يكون قطر الأنبوب صغيرا بما فيه الكفاية لقمع ظاهرة تشكل الأصابع اللزجة، القطر الأصغر هو (0.25 in) ،وقطر حبيبات الرمل يجب أن تكون أقل من (0.1) من القطر الداخلي للأنبوب وهو مزود بأنبوب زجاجي شفاف يسمح بالرؤيا البصرية للتدفق من خلاله من خلال تغير تدرج اللون للطور المتدفق .

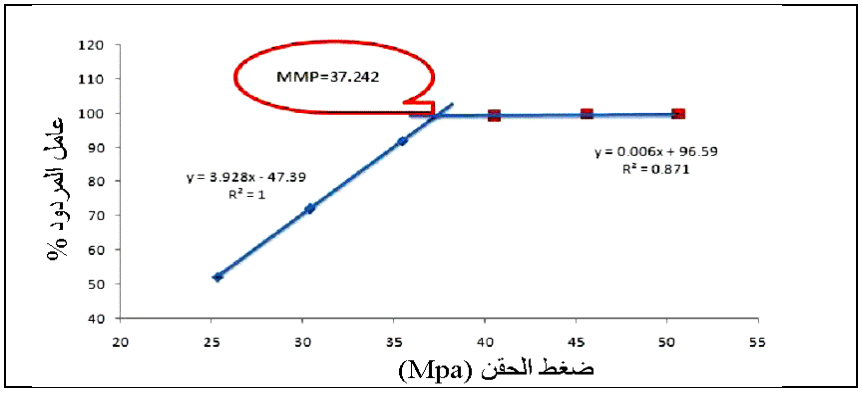
يبين الشكل (2-12) مخطط جهاز الأنبوب البسيط الامتزاجي والشكل (2-13) يمثل المردود مقابل ضغط الحقن لتجارب الأنبوب البسيط، يُشبع الأنبوب البسيط -المُنظف مسبقا- بالنفط بواسطة مضخة عالية الضغط عند درجة حرارة المكمن وفوق ضغط الإشباع، ثم يزاح النفط بحقن الغاز داخل الأنبوب عند ضغط ثابت، يُحافظ منظم الضغط الخلفي على ضغط ثابت داخل المنظومة ، وسرعة حقن الغاز عموما هي بين (1.5-2.5 m/h)، تنتهي الإزاحة بعد حقن 1.2 من حجم المسامات بالغاز(1.2 pv) والمردود عند هذه النقطة يشار إليه بالمردود النهائي

تتم مراقبة حجم النفط المتدفق بشكل مستمر باستخدام تدريجات قياس الحجم على مِجْماع النفط ، والغاز المتدفق يُقاس بعداد الغاز الرطب، ثم تكرر التجربة عند ضغوط مختلفة متزايدة ويتم في كل تجربة قياس حجم النفط المسترجع مقابل الضغط المطبق، تمثل القيم على منحني بياني والذي يُظهر انكسار للخط الواصل بين النقاط ، حيث تمثل قيمة الضغط عند نقطة الانكسار قيمة MMP.

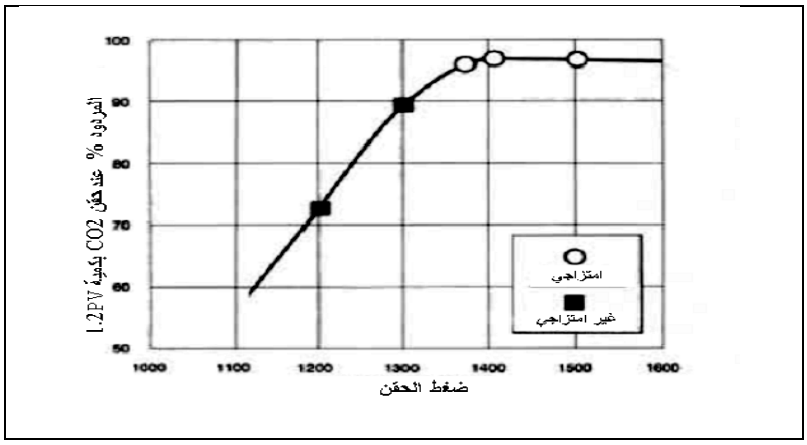
الشكل (3-14) يبين نتائج اختبار الامتزاجية عند استخدام حقن CO_2



الشكل رقم (2-11) جهاز الأنبوب البسيط الامتزاجي



الشكل رقم (2–12) يمثل المردود مقابل ضغط الحقن لتجارب الأنبوب البسيط



الشكل (2–13) نتائج اختبار الامتزاجية عند استخدام حقن CO_2

2–6–2– طرق حساب MMP :

تؤثر على قيمة MMP العوامل التالية :

1- درجة حرارة المكمن فبازديادها تزداد قيمة MMP .

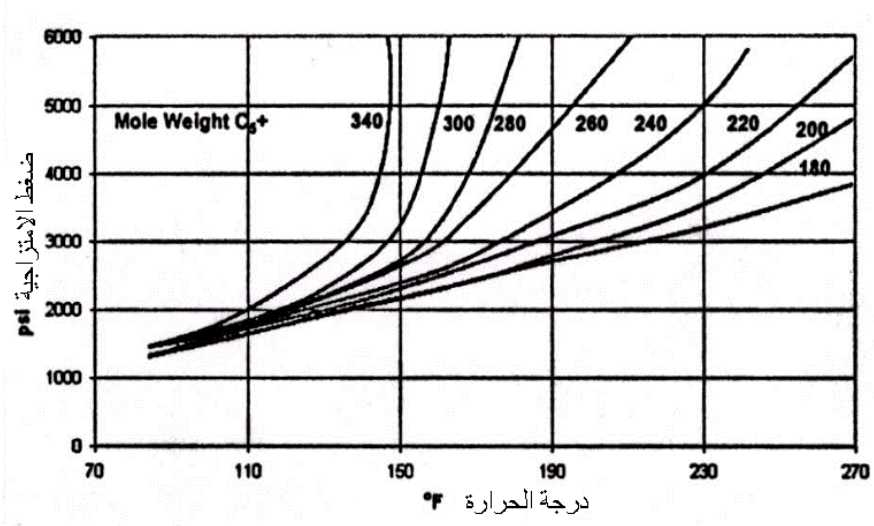
2- خصائص النفط ومواصفاته:

- بازدياد قيمة المكونات C_{7+} في تركيب النفط تزداد قيمة MMP .
- تزداد قيمة MMP مع زيادة الوزن الجزيئي للنفط واحتواء النفوط على نسبة تراكيز أعلى من C_1و N_2 .
- تقل قيمةMMP بزيادة النسبة المئوية للمكونات المتوسطة (C_2–C_6) في النفط.

3– تركيب الغاز المحقون:

- بازدياد نسبة تراكيز C_1و N_2 في الغاز المحقون تزداد قيمة MMP .
- وجود غاز كبريت الهيدروجين في الغاز المحقون يخفض قيمة ضغط الامتزاجية ولكن بمقدار صغير.

الشكل رقم (2–14) يبين ضغط الامتزاجية الأصغري كتابع لتركيب النفط ودرجة الحرارة.



الشكل رقم (2-14) يبين ضغط الامتزاجية الأصغري كتابع لتركيب النفط ودرجة الحرارة

نستعرض فيما يلي وباختصار العلاقات التجريبية المستخدمة في تحديد قيمةMMP :

1- علاقة Orr and Metcalfe : تعتمد فقط على مؤشر ربط وحيد لتحديد MMP للمكونات النقية هو درجة الحرارة بالعلاقة التالية:

$$MMP_{pure} = 1833.7217 + 2.2518055\,(T-460) + 0.01800674\,(T-460)^2 - \frac{103949.93}{T-460} \quad (2\text{-}1)$$

حيث أن:

T = درجة الحرارة بـ $^{\circ}R$

MMP= ضغط الامتزاجية الاصغري بـ Psia .

2- معهد استعادة البترول , كندا : Petroleum Recovery Institute

تعتمد العلاقة فقط على مؤشر ربط وحيد لتحديد MMP للمكونات النقية هو درجة الحرارة بالعلاقة التالية:

$$MMP_{pure} = 1071.82893 \times 10^{b}$$
$$b = \left[2.772 - \left(\frac{1519}{T}\right)\right] \quad (2\text{-}2)$$

حيث أن :

T= درجة حرارة الطبقة ، ^{o}R .

MMP= ضغط الامتزاجية الاصغري Psia.

3- علاقة Robison– Peng المعدلة: تعتمد العلاقة على عدة مؤشرات ربط هي درجة الحرارة،الوزن الجزيئي لـC_{7+} في النفط، كمية الكسور المتوسطة و CO_2 و H_2S في النفط وكمية الميتان في النفط وكمية C_{2+} في الغاز المحقون والوزن الجزيئي لـ C_{2+} في الغاز المحقون.

$$MMP = 43.664 - 4.542\times\alpha + 0.689\times\alpha^2 - 0.132\times\beta$$
$$\alpha = \frac{X_{C2-C6}^{1.72785}\times X_{C1}^{0.1}}{(1.8\times T+32)^{0.5}\times M_{C7+}} \quad (2\text{-}3)$$
$$\beta = Y_{C2+}^{(1.064+0.00686 M_{C2+})}$$

حيث أن:

MMP= ضغط الامتزاجية الاصغري ، Mpa .

X_{C2-C6}= كمية الكسور المتوسطة (C2-C6) في النفط إضافة إلى CO2 و H_2S، mol % .

X_{C1} =كمية الميتان في النفط ، mol % .

T = درجة الحرارة ، ^{o}C.

M_{C7+} = الوزن الجزيئي لـ C_{7+} ، g/mol .

Y_{C2+} = كمية C_{2+} في الغاز المحقون، % mol.

M_{C2+} = الوزن الجزيئي لـ C_{2+} في الغاز المحقون ، g/mol .

4- علاقة Alston : تعتمد العلاقة على عدة مؤشرات ربط هي درجة الحرارة،الوزن الجزيئي لـC_{5+} في النفط، كمية الكسور المتوسطة في النفط، كمية الكسور القابلة للتطاير وتركيب CO_2 المتدفق، لمنظومة النفط/ CO_2 النقي يعطى بالعلاقة التالية:

$$MMP = 0.000878(T-460)^{1.06}(M_{C5+})^{1.78}\left[\frac{X_{vol}}{X_{\text{int}}}\right]^{0.136} \qquad (2\text{-}4)$$

أما لمنظومة النفط/ CO_2 المشوب فيعطى بالعلاقة التالي:

$$MMP_{imp} = MMP\left[\frac{87.8}{T_{pc}}\right]^{\frac{168.893}{T_{pc}-460}} \qquad (2\text{-}5)$$

درجة الحرارة الحرجة للغاز المحقون تعطى بالعلاقة:

$$T_{pc} = \sum \varpi_i \times T_{ci} - 460 \qquad (2\text{-}6)$$

حيث أن:

MMP = ضغط الامتزاج الاصغري لـ CO_2 النقي,Psia

MMP_{imp} = ضغط الامتزاج الاصغري لـ CO_2 المشوب ،Psia

ϖ_i = الكسر الوزني للمكون (i) في الغاز المحقون.

T = درجة حرارة المنظومة ، ºR

T_{ci} = درجة الحرارة الحرج للمكون (i) في الغاز المحقون،ºR

M_{C5+}= الوزن الجزيئيلكسور C_{5+} في النفط .

X_{int} =الكسر المولي للمكونات المتوسطة(C_2-C_4, CO_2 , H_2S) في النفط .

X_{vol} = الكسر المولي للمكونات القابلة للتطاير(C_1 و N_2) في النفط .

من العلاقتين (2-4) و (2-5) نلاحظ ازدياد قيمة ضغط الامتزاجية الاصغري عند زيادة نسبة C_1 أو N_2 في CO_2 وتقل قيمته عند زيادة نسبة C_2 و C_3وC_4 أو H_2S في CO_2 ، ويجب الإشارة إلى أن الباحثون في هاتين العلاقتين خصصوا قيمة موحدة لدرجة الحرارة الحرجة لكل من H_2S و C_2 في الغاز المحقون وهي 585 ºR.

5- طريقة Sebastian : اقترح تصحيحا لتعديل قيمة MMP لـ CO_2 النقي بواسطة الكمية المتعلقة بدرجة الحرارة الحرجة للمول (T_{cm}) للغاز المحقون كما يلي:

$$MMP_{imp} = [C]\, MMP$$
$$C = 1 - A\left[0.0213 - 0.000251A - 2.35\left(10^{-7}\right)A^2\right]$$
$$A = \frac{T_{cm} - 87.89}{1.8} \qquad (2\text{-}7)$$
$$T_{cm} = \sum y_i \left(T_{ci} - 460\right)$$

حيث أن :

MMP = ضغط الامتزاجية الاصغري لـ CO_2 النقي ، Psia

MMP_{imp} = ضغط الامتزاجية الاصغري لـ CO_2 المشوب، Psia

y_i = الكسر المولي للمكون (i) في الغاز المحقون.

T_{ci} = درجة الحرارة الحرجة للمكون (i) في الغاز المحقون ºR.

عدل الباحث في هذه العلاقة قيمة درجة الحرارة الحرجة لـ H_2S من 212 ºF إلى 125 ºF وذلك لإعطاء نتائج أفضل .

6- علاقة Cronquist : تعتمد العلاقة على عدة مؤشرات ربط هي درجة الحرارة،الوزن الجزيئي لـC_{5+} في النفط، النسبة المئوية المولية للميتان (C_1) والنتروجين (N_2) كما يلي:

$$MMP = 15.988(T - 460)^A$$
$$A = 0.744206 + 0.0011038\, M_{C5+} + 0.0015279\, y_{C1-N2} \qquad (2\text{-}8)$$

حيث أن:

T = درجة حرارة المكمن ، ºR

Y_{C1-N2}= المولات % لكل من الميتان والنتروجين في الغاز المحقون.

M_{C5+}= الوزن الجزيئي لـ C_{5+} في النفط .

7- علاقة Yuan et al : تعتمد العلاقة في حساب MMP لـCO_2 النقي على عدة مؤشرات ربط هي درجة الحرارة،الوزن الجزيئي للكسر C_{7+} في النفط، النسبة المئوية المولية (C_M) للمكونات المتوسطة(C_2-C_6) في النفط كما يلي:

$$(MMP)_{pure\,CO_2} = a_1 + a_2\, M_{C7+} + a_3\, C_M +$$
$$\left[a_4 + a_5\, M_{C7+} + \frac{a_6\, C_M}{(M_{C7+})^2}\right](T - 460) + \qquad (2\text{-}9)$$
$$\left[a_7 + a_8\, M_{C7+} + a_9 (M_{C7+})^2 + a_{10}\, C_M\right](T - 460)^2$$

حيث أن :

$$a_1 = -1463.4 \;, a_2 = 6.612 \;, a_3 = -44.979 \;, a_4 = 21.39$$
$$a_5 = 0.11667 \;, a_6 = 8166.1 \;, a_7 = -0.12258$$
$$a_8 = 0.0012283 \;, a_9 = -4.052 \times 10^{-6} \;, a_{10} = -9.2577 \times 10^{-4}$$

T = درجة الحرارة ، ^oR

M_{C7+}= الوزن الجزيئي للكسر C_{7+} في النفط ، g/mol

(C_M) = النسبة المئوية المولية للمكونات المتوسطة (C_2-C_6) في النفط، mol %

2-7- العوامل التي تؤثر على سلوك الامتزاجية:

تؤثر على سلوك الامتزاجية خمسة عوامل هي:

1- نسبة قابلية الحركة.

2- تشتت (تفرق) المائع.

3- نظام التدفق.

4- التصبع اللزج.

5- كفاءة الازاحة والكسح.

2-7-1- نسبة قابلية الحركة: تعرف قابلية الحركة لمائع ما(M_i) بأنها نسبة النفودية(K_i) إلى اللزوجة(μ_i) أي:

$$M_i = \frac{K_i}{\mu_i} \qquad (2\text{-}10)$$

في حسابات عملية الازاحة فان المفهوم المستخدم هو نسبة قابلية الحركة (M) وهي نسبة قابلية الحركة للمائع المحقون (المُزيح) M_{inj} إلى قابلية الحركة للمائع المزاح M_{des}:

$$M = \frac{M_{inj}}{M_{des}} \qquad (2\text{-}11)$$

حيث ان (M) هي كمية لابعدية ومؤشر هام جدا في أية عملية إزاحة والتي تؤثر على كلا من الكسح المساحي والعمودي، فبازدياد قيمة (M) تنخفض الازاحة عند حجم معين معطى للمائع المحقون وابعد من ذلك فهي تؤثر على استقرار عمليات الازاحة.

يصبح التدفق غير مستقر (جبهة إزاحة غير منتظمة) عندما تكون (M>1) ويدعى هذا التدفق غير المستقر بالتصبع اللزج، وبالنتيجة فان القيمة (M>1) غير مرغوب فيها ويجب ان تكون (M<1).

عند الغمر المائي وبافتراض ان الإزاحة مكبسية ومع تدفق الماء فقط في مؤخرة جبهة الإزاحة والنفط يتدفق في مقدمة جبهة الإزاحة يمكن ان نكتب:

$$M = \left(\frac{K_{rw}}{}\right)\left(\frac{\mu_o}{}\right) \qquad (2\text{-}12)$$

حيث ان :

K_{rw}, K_{ro} = النفوذية النسبية للنفط والماء على التوالي والمقاسة عند درجة التشبع بالنفط المتبقي.

μ_w, μ_o = لزوجة النفط والماء على التوالي.

S_{iw}, S_{or} = درجة التشبع بالنفط المتبقي والمياه الأولية على التوالي.

عموما عندما يتدفق طورين أو أكثر كلاهما في مقدمة أو مؤخرة جبهة الإزاحة عندها فان درجة التشبع بالطور يمكن أن تتغير مع تغير الموقع أو الزمن.

عرف Craig نسبة قابلية الحركة لغمر المياه (أو أية عملية إزاحة غير امتزاجية) كما يلي:

$$M_S = \frac{(M_{inj})_{\bar{S}inj}}{(M_{des})_{\bar{S}des}} = \left(\frac{K_{r\,inj}}{K_{rdes}}\right)_{\overline{Sinj}} \left(\frac{\mu_{des}}{\mu_{inj}}\right)_{\overline{Sdes}} \qquad (2\text{-}13)$$

حيث أن :

$(M_{inj})_{\bar{S}inj}$ = قابلية الحركة للمائع المزيح المقاس عند متوسط درجة التشبع بالطور المزاح عند اختراق ذلك المائع.

$(M_{des})_{\bar{S}des}$ = قابلية الحركة للمائع المزاح المقاس عند متوسط درجة التشبع في مقدمة جبهة الإزاحة.

يوجد تعريف آخر لنسبة قابلية الحركة يعتمد على قابلية الحركة الكلية (M_t) لمقدمة أو مؤخرة جبهة الإزاحة كما يلي:

$$M_{t} = \frac{(M_{t\,inj})_{\bar{S}inj}}{\quad} \qquad (2\text{-}14)$$

حيث ان (M_t) هي نسبة قابلية الحركة التي تعتمد على قابليات الحركة الكلية والتي تعطى بالعلاقات التالية:

$$(M_{t\,\cdots})_{\quad} = \sum\left(\frac{K_i}{\quad}\right) \qquad (2\text{-}15)$$

$(M_{t\,inj})_{\bar{S}inj}$ = مجموع قابليات الحركة لجميع الأطوار المتدفقة في مؤخرة جبهة الإزاحة المقاسة عند متوسط درجة التشبع عند مؤخرة جبهة الإزاحة.

$$(M_{t\,des})_{\bar{S}des} = \sum_i \left(\frac{K_i}{\mu_i}\right)_{des} \qquad (2\text{-}16)$$

$(M_{t\,des})_{\bar{S}des}$ = مجموع قابليات الحركة لجميع الأطوار المتدفقة في مقدمة جبهة الإزاحة المقاسة عند متوسط درجة التشبع عند مقدمة جبهة الإزاحة.

2-7-2- تشتت المائع:

في جميع عمليات الإزاحة القابلة للامتزاج يحدث الامتزاج بين الموائع المزيحة والمزاحة وتدعى ظاهرة المزج هذه بالتشتت والتي تؤثر على سلوك الأطوار وبالتالي فان أهمية ظاهرة التشتت تبرز عند وضع خطة لعمليات الإزاحة القابلة للامتزاج وهذا الامتزاج يؤثر على الإزاحة بطريقتين هما:

1- يمكن ان يؤدي إلى تخفيف المذيب حتى يصبح غير قابلا للامتزاج مع النفط.

2- تغير كثافة ولزوجة الموائع ويعطي منطقة ذات كثافة ولزوجة تتراوح بين النفط والمذيب ويمكن ان يؤدي إلى تغيير سلوك الطور.

تؤثر ثلاثة عوامل في حدوث الامتزاج هما:

1- الانتشار الجزيئي: ينتج من الحركة العشوائية للجزيئات.

2- التشتت الميكروسكوبي: ينتج من مسارات التدفق في الوسط المسامي والتي تكون صغيرة مقارنة مع ابعاد العينة الصخرية.

3- التشتت الماكروسكوبي: ينتج من مسارات التدفق والتي تكون كبيرة مقارنة مع ابعاد العينة الصخرية.

قاس Penner et all معاملات الانتشار لـ CO_2 ومذيبات الغاز الغني وتوصل إلى معادلة لتحديد معامل الانتشار لـ CO_2 و CH_4 و C_2H_6 و C_3H_8 داخل الهيدروكربون السائل وهي التالية:

$$Di\,i = 10^{-9}\,\mu_{:}^{-0.4562}\,M_{:}^{-0.6989}\,V_{:}^{-1.706}\,P^{-1.831}T^{4.524} \qquad (2\text{-}17)$$

حيث ان : D_{ij} = معامل انتشار الغاز (i) داخل السائل (j) .

μ_j = لزوجة السائل.

M_i = الوزن الجزيئي للغاز المنتشر (i).

V_i = الحجم المولي للغاز المنتشر (i).

P = ضغط الاختبار ، Psiز

T = درجة حرارة الاختبار ,°F .

يحدث نوعين من التشتت أولهما التشتت الطولي وهو الذي يحدث في اتجاه التدفق وثانيهما التشتت العرضي وهو الذي يحدث بشكل عمودي على اتجاه التدفق، حيث يلعب التشتت العرضي دورا أهم بكثير من التشتت الطولي عند الإزاحة الامتزاجية غير المستقرة بفعل الجاذبية وذلك بسبب تأثير التصبع ،لأنه يحد من نمو لسان المذيب علما ان الأصابع الأكثر كبرا تتشكل على سطح التماس بين المذيب والنفط.

2-7-3- نظام التدفق:

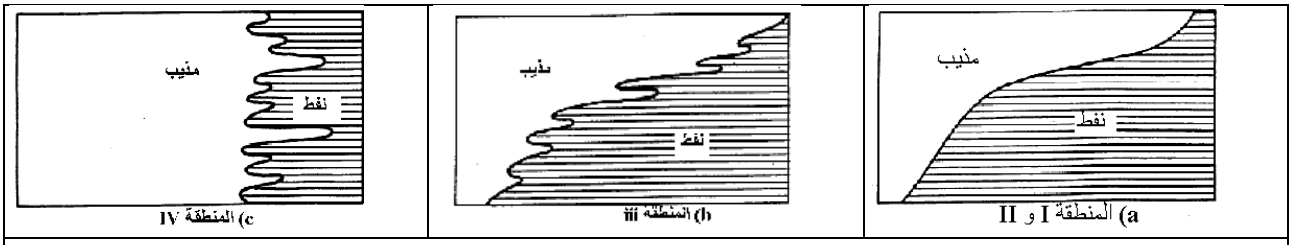
كما هو معروف ان الامتزاج بين المذيب والنفط يعتمد كثيرا على نظام التدفق الذي يحدث في المكمن ، يمثل الشكل (2-51) مصور توضيحي لمنظومات التدفق للإزاحة الامتزاجية، حيث تعتمد هندسة اللسان اللزج والكسح العمودي عند إزاحة النفط بمذيب على نسبة اللزوجة إلى الجاذبية ونميز المناطق التالية:

المنطقة I : نسبة قوة اللزوجة إلى الجاذبية منخفضة جدا ويوجد لسان وحيد للمذيب يتجاوز النفط.

المنطقة II : قيم عالية لنسبة اللزوجة إلى الجاذبية ولكن مازال يوجد لسان وحيد للمذيب داخل النفط، لكن الكسح لا يعتمد على نسبة اللزوجة إلى الجاذبية وذلك حتى الوصول إلى القيمة الحرجة لهذه النسبة.

المنطقة III :يتم تجاوز السرعة الحرجة في هذه المنطقة وتتشكل الأصابع الثانوية على طول السطح الفاصل بين المذيب والنفط

المنطقة IV :تسيطر الأصابع اللزجة على هذه المنطقة والكسح يتبع لنسبة اللزوجة إلى الجاذبية.



الشكل (2-51) يبين أنظمة التدفق للإزاحة الامتزاجية(مقطع عمودي)

صاغ Stalkup علاقة لحساب نسبة قوى اللزوجة إلى الجاذبية كما يلي :

$$R_{v/g} = \frac{v\ \mu_o L}{k\ g\ \Delta\rho\ h} \qquad (2\text{-}18)$$

حيث ان : v = سرعة تدفق المذيب (سرعة الحقن).

L = المسافة بين الآبار.

k = نفوذية النفط.

μ_o = لزوجة النفط.

g = تسارع الجاذبية.

$\Delta\rho$ = الفرق بالكثافة بين النفط والمذيب.

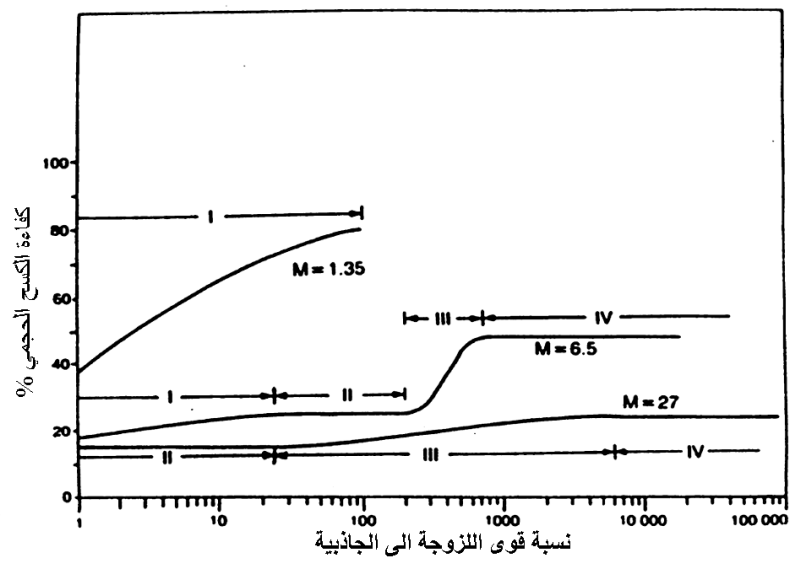
$R_{v/g}$ = نسبة اللزوجة إلى الجاذبية.

h = سماكة المكمن.

درس Stalkup كفاءة الكسح الحجمي كتابع لنسبة قوى اللزوجة إلى الجاذبية ومثل البيانات التي حصل عليها بالشكل (2-16) وذلك عند قيم مختلفة لنسبة قابلية الحركة واقترح العلاقة التالية:

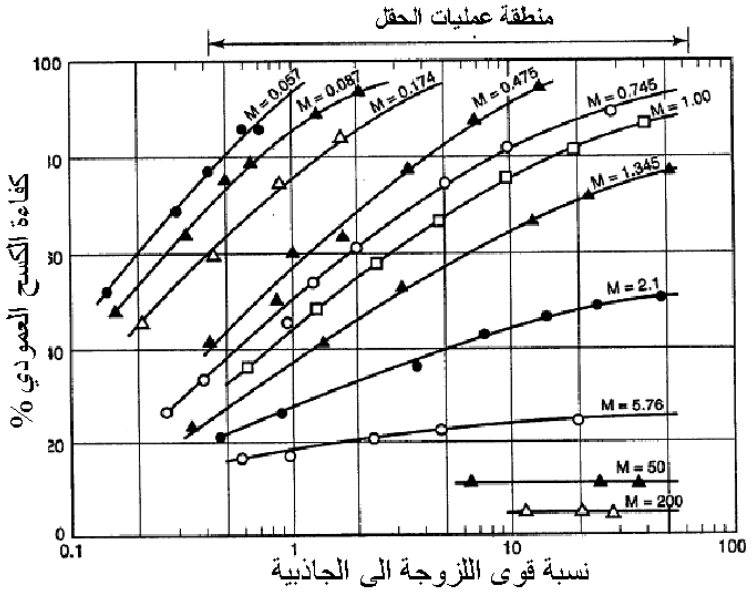
$$R_{v/g} = \frac{2050\, v(bbl/day - ft^2)\mu_o(cp)L(ft)}{K(md)\Delta\rho(g/cm^3)h(ft)} \qquad (2\text{-}19)$$

وهذه العلاقة جيدة فقط عند عدم وجود تدفق ماء ، كما انه إذا كانت النفوذية العمودية لاتساوي النفوذية الأفقية ($K_V \neq K_H$) عندها يكون ($K = \sqrt{K_V \times K_H}$) ,من اجل الدفع الخطي تكون : ($v = 1.25\ \frac{i}{hL}$) ولغير الخطي تكون ($v = \frac{i}{hL}$) ،حيث ان (i) هي معدل الحقن ($bbl/day\ Per\ well$).



الشكل (2-16) يبين تأثير نسبة قوى اللزوجة إلى الجاذبية على كفاءة الكسح الحجمي

درس Craig et all كفاءة الكسح العمودي كتابع لنسبة قوى اللزوجة إلى الجاذبية تجريبيا في منظومة خطية ومثل البيانات التي حصل عليها بالشكل (2-17) وذلك عند قيم مختلفة لنسبة قابلية الحركة.



الشكل (2-17) يبين كفاءة الإزاحة العمودية كتابع لنسبة قوى اللزوجة إلى الجاذبية

2-7-4- التصبع اللزج:

بينا سابقا انه تتشكل الأصابع اللزجة إذا كانت نسبة اللزوجة إلى الجاذبية عالية بما فيه الكفاية.

وبين Collins انه بإهمال التشتت يحسب طول الإصبع اللزج كما يلي:

$$\in = e^{ct}$$

$$c = \frac{-k\,\Delta P\,(1-M)}{\phi\,\mu_s\left[ML+(1-M)x_f\right]^2} \quad ,M = \frac{\mu_o}{\mu_s} \qquad (2\text{-}20)$$

حيث ان : $\in$ = طول الإصبع اللزج .

ΔP = الانخفاض الكلي في الضغط عبر المنظومة.

L = المسافة بين الآبار.

x_f = المسافة التي قطعها المذيب.

μ_s , μ_o = لزوجة النفط والمذيب على التوالي.

ϕ = المسامية.

من المعادلة (2-20) نرى أن الأصابع الأولية تبدأ بالنمو تصاعديا مع الزمن (t) إذا كانت M>1 ويعيق التشتت الطولي والعرضي نمو الأصابع بسبب إحداث منطقة ذات لزوجة متدرجة وتغيير قيمة M .

ويُعتقد أن بدء تشكل الإصبع اللزج سببه عدم التجانس في النفوذية حيث تنمو الأصابع طولا وعرضا

2-7-5- كفاءة الإزاحة والكسح:

2-7-5-1- كفاءة الإزاحة الماكروسكوبية: تعتمد كفاءة مردود النفط في أية عملية إزاحة على حجم المكمن الذي يكون على تماس مع المائع المحقون وتحدد كفاءة المردود(R)عند حقن الغاز بثلاثة عوامل هي: الكسح المساحي (E_A)- الكسح العمودي(E_h) – كفاءة الإزاحة الميكروسكوبية (E_D).

تستعمل الإزاحة الحجمية أو كفاءة الكسح في اغلب الأحيان لتحديد مردود النفط باستخدام مفهوم التوازن المادي و تعتبر عملية الإزاحة هي التي تخفض درجة التشبع الأولية بالنفط إلى درجة التشبع بالنفط المتبقي في منطقة التماس مع المائع المحقون فإذا افترضنا أن العملية مكبسية فان النفط المزاح يعطى بالعلاقة التالية:

$$N_P = \left(\frac{S_{O1}}{B_{O1}} - \frac{S_{O2}}{B_{O2}} \right) V_P \, E_V \qquad (2\text{-}21)$$

حيث أن :

N_P = النفط المزاح.

S_{O1} = درجة التشبع بالنفط عند بدء عملية الإزاحة.

S_{O2} = درجة التشبع بالنفط المتبقي عند نهاية العملية لحجم المكمن الذي على تماس مع مائع الإزاحة.

V_P = حجم الفراغات المسامية للمكمن.

B_{O2}, B_{O1} = عامل حجم النفط عند الشروط الأولية وشروط نهاية العملية على الترتيب.

وبتقسيم طرفي المعادلة (2-21) على النفط المتواجد في المكمن عند بداية العملية (N_1) فإننا نحصل على المردود الجزيئي كنتاج كفاءة الإزاحة الماكروسكوبية والميكروسكوبية ويمكن ان نكتب:

$$R = \frac{N_P}{N_1} = E_V \times E_D \qquad (2\text{-}22)$$

تعطى كفاءة الكسح (الإزاحة)الحجمي (E_V) بالعلاقة التالية:

$$E_V = E_A \times E_h \qquad (2\text{-}23)$$

حيث أن : E_A : كفاءة (الإزاحة)الكسح المساحي وهي تابع لنسبة قابلية الحركة وتساوي إلى المساحة مقسومة على المساحة الكلية للمكمن (كسر).

E_h : كفاءة(الإزاحة) الكسح العمودي وهي تابع لعدم التجانس العمودي للمكمن وتأثيرات الجاذبية وتساوي حجم الفراغ المسامي المغزو بالمائع المحقون مقسوما على حجم الفراغ المسامي المحاصر (المطوق) في جميع الطبقات خلف جبهة الإزاحة (كسر) .

E_D : كفاءة إزاحة الهيدروكربونات (الحجمية) الميكروسكوبية وتساوي بشكل عام إلى حجم الهيدروكربون المزاح مقسوما على حجم الهيدروكربون المتواجد في المكمن في بداية العملية المقاسة عند نفس الشروط من الضغط ودرجة الحرارة (كسر)،وتحدد رياضيا بالعلاقة :

$$ED = \frac{S_{oi} - S_{or}}{S_{oi}} \quad (2\text{-}24)$$

حيث أن : S_{oi}, S_{or} = درجة التشبع بالنفط الأولية والمتبقية على التوالي.

2-7-5-2- كفاءة الإزاحة الميكروسكوبية:

السمة الهامة لأية عملية EOR هي فعالية عملية إزالة النفط من الصخور المسامية بالمقياس الميكروسكوبي وتحدد كفاءة الإزاحة الميكروسكوبية (E_D) نجاح أو فشل العملية، حيث تعكس (E_D) مقدار S_{or} (وهو درجة التشبع بالنفط المتبقي ضمن صخور المكمن عند نهاية العملية) في الأماكن التي على تماس مع موائع الإزاحة ويحددها العدد الشعري في منطقة الكسح.

يتأثر تحريك النفط المتبقي بعاملين رئيسيين هما العدد الشعري (N_C) ونسبة قابلية الحركة (M).

يتضمن العدد الشعري قوى اللزوجة والقوى الشعرية ,حيث تعكس قوى اللزوجة تدرج الضغط الذي يجبر المائع على التدفق أما القوى الشعرية فتتضمن التوتر السطحي وقابلية التبلل للصخر التي تشارك بمقاومة جريان المائع، ويعطى العدد الشعري بالعلاقة التالية:

$$N_C = \frac{v\mu}{\sigma} \qquad (2\text{-}25)$$

حيث أن :

v = سرعة دارسي(m/s)

μ = لزوجة المائع المزيح (Pa.s)

σ = التوتر السطحي(N/m)

من هذه العلاقة يلاحظ أن العدد الشعري يزداد بزيادة تدفق المائع المزيح وبالتالي زيادة سرعته وبانخفاض التوتر السطحي بين المائع المزيح والمزاح، أيضا بزيادة العدد الشعري يزاح الطور المحجوز من المسامات الأصغر إلى المسامات الأكبر حيث يصبح جريانه أسهل كما تنخفض درجة التشبع بالطور المبلل إلى حد ما ببطء حتى النقطة التي تكون فيها القوى الشعرية مسيطرة على قوى اللزوجة

ويتوقف الجريان، وان الضغط الشعري الذي يجب التغلب عليه بقوى اللزوجة تابع لقوى هندسة المسام إضافة إلى خاصية التبلل والتوتر السطحي ، كما تعتبر خاصية التبلل مهمة جدا لتحريك النفط المحجوز.

إن الحل العملي الوحيد لزيادة كفاءة الإزاحة الميكروسكوبية بشكل ملحوظ أكثر مما هي في الغمر المائي هو باستخدام موائع قابلة للامتزاج والتي تخفض التوتر السطحي بشكل كبير جدا (أو تزيله بالكامل) مع النفط ، هذا المائع يمكن عندئذ أن يحرك النفط المحجوز ويزيحه إلى آبار الإنتاج.

إن العدد الشعري في الإزاحة الامتزاجية يصبح غير محدود ($R_C = \infty$) وعند هذه الشروط فان درجة التشبع بالنفط المتبقي في المنطقة المكسوحة يمكن ان تنخفض إلى الصفر وكفاءة الإزاحة تقترب من الواحد إذا كانت نسبة قابلية الحركة مناسبة.

بحث العديد من الباحثين حجز وتجميع قطرات النفط في الفراغات المسامية وبينوا أن الحجز يحدث عند تساوي قوى اللزوجة مع القوى الشعرية أي تحقيق الثباتية الهيدروديناميكية.

وعلاقة العدد الشعري للفراغات المسامية هي:

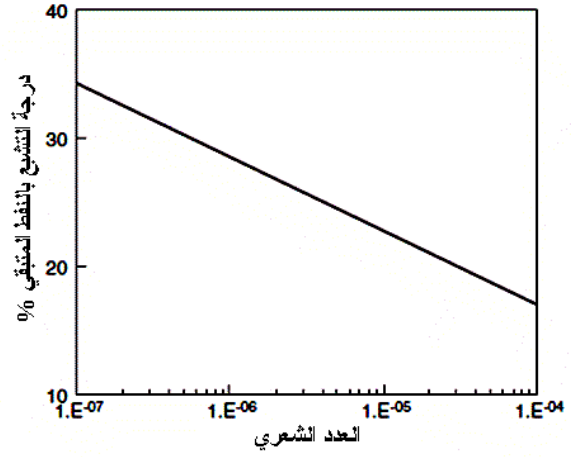
$$Nc = \frac{\Delta p \cdot X_C}{\sigma} \qquad (2\text{-}26)$$

حيث ان: ΔP = هبوط الضغط عبر القنوات الشعرية.

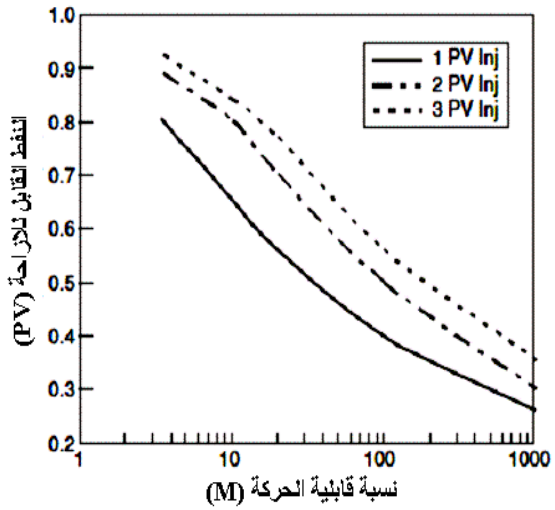
X_C = عرض الاختناق الشعري

الشكل (22-4) يبين تأثير العدد الشعري على درجة التشبع بالنفط المتبقي حيث يلاحظ انه عند قيمة العدد الشعري المساوية لـ (10^{-7}) كانت درجة التشبع بالنفط المتبقي (35%) وأصبحت (15%) عندما ازدادت قيمة العدد الشعري إلى القيمة

(10^{-4}), والشكل (2-20) يبين تأثير نسبة قابلية الحركة على النفط القابل للإزاحة حيث يلاحظ ان كفاءة الإزاحة تزداد عندما (M=1) وتدل على نسبة قابلية الحركة المناسبة حيث تمثل المنحنيات الثلاثة كفاءة الإزاحة عند حقن مائع بنسب 1:1 و1:2 و1:3 من حجم الفراغات المسامية للعينة المدروسة



الشكل (2-19) تأثير العدد الشعري على درجة التشبع بالنفط المتبقي



الشكل (2-20) تأثير نسبة قابلية الحركة على النفط القابل للإزاحة

2-7-6- دور الامتزاجية في مردود النفط:

يعتبر التوتر السطحي بين النفط والماء (IFT) بالاشتراك مع نسبة قابلية الحركة هما اللتان يمكن ان تحددان كمية النفط التي يمكن استخراجها وذلك بسبب ان قطرات النفط المتشكلة داخل المسامات المبللة بالماء تصبح محجوزة أو أن الماء يتدفق على شكل قناة ضمن المسامات المبللة بالنفط مؤديا إلى تشكل الأصابع اللزجة, وفي كل حالة يتم تجاوز النفط وتصبح نسبة الماء إلى النفط (WOR)عالية والتي تظهر عند الإنتاج من البئر بينما تبقى كمية كبيرة من النفط في المكمن.

يمكن التغلب على هذه المشاكل بغمر المكمن بمائع قابل للامتزاج مثل CO_2 والذي يمكن ان يخفض التوتر السطحي ويحرك الهيدروكربونات في شروط المكمن وبالتالي زيادة مردود النفط.

إن الآليات التي يتم فيها زيادة مردود النفط باستخدام غمر الغاز الطبيعي و CO_2 تم ذكرها سابقا في هذا البحث، حيث أن انعدام التوتر السطحي بين CO_2 والنفط الخام يؤدي إلى تحسين النفوذية النسبية لكل منهما، إن عملية الغمر المستمر باستخدام CO_2 تشابه الغمر باستخدام الماء ويفارق أن CO_2يسبب تغيرا تدريجيا بدلا من التغير الفوري للإزاحة والأطوار المزاحة ولكن من المشاكل التي تواجه الغمر المستمر بـ CO_2 هي عدم تناسب قابلية الحركة بين CO2 والنفط الخام واستخدام كميات كبيرة من CO_2 والتي يمكن معالجتها باستخدام الحقن المتناوب للماء مع الغاز (WAG) حيث يحقن CO_2 ويتبع بحقن الماء والتي تعتبر ذات كلفة اقتصادية مناسبة في العديد من الحالات بسبب الحجم الأقل المطلوب من CO_2 كما ان نسبة قابلية الحركة للماء – النفط مناسبة أكثر من نسبة قابلية الحركة لـ CO_2 – النفط والتي تقلل من تشكل التصبع اللزج والفصل الجاذبي مما يؤدي إلى زيادة كفاءة الكسح الحجمي (الإزاحة الماكروسكوبية) ولكنها ذات إزاحة ميكروسكوبية اقل بسبب ان الماء سيمنع التماس بين النفط و CO_2كما يمكن أن تؤدي عمليات الـ (WAG) إلى تحسين ضعيف في المردود وعند احتمال حدوث

مثل هذه المشاكل فان عملية الـ (WAG) لايتم اختيارها وعندها يتم اختيار العملية الثالثة وهي الحقن الدوري وذلك بإجراء حقن CO_2 وإغلاق البئر لفترة من الزمن وتسمى فترة التشرب (النقع) التي تؤدي إلى حصول انتفاخ خفيف للنفط على طول منطقة التماس معCO_2 بشكل أفضل من مقدمة الجبهة وهذا يزيد في الجريان الجزئي للنفط حيث تكون لزوجة النفط أقل والتوتر السطحي أقل بين CO_2 والنفط الخام وهذا يسمح بهجرة كمية أكبر من النفطوبعدها يتم إنتاج النفط من نفس البئر،

تعتبر طريقة التشرب (النقع) بالتناوب مع الغاز(SAG) طريقة بديلة تنوب عن طريقة التحكم بنسبة قابلية الحركة وهي مناسبة بشكل ممتاز لشروط المكمن حيث يكون حقن الماء غير ممكن بسبب نفوذية ضعيفة أو مياه ملوثة أو اماهة عالية للآبار ، دورة حقن CO_2 في طريقة الانتفاخ تُجرى بتشتيت CO_2 في كافة أنحاء المكمن حيث يحدث بعدها انتقال الكتلة بين النفط و CO_2 خلال فترة النقع مما يسمح بإزاحة النفط بشكل فعال, هذا الأسلوب من التحسين المثالي في عملية حقن CO_2 باستخدام فترات نقع تتناوب مع الغاز لها مدة محددة من الزمن و يمكن ان تكون ناجحة ضمن مجال شروط الامتزاجيةالضعيفة أو القريبة من الامتزاجية.

تتجلى كفاءة الإزاحة الميكروسكوبية من خلال درجات التشبع في منطقة الكسح وبمعنى آخر وراء جبهة الغمر كما أن العلاقة بين النفوذية النسبية ودرجة التشبع تتضمن قوى اللزوجة والقوى الشعرية حيث تتجلى قوى اللزوجة بمقدار تدرج الضغط الذي يجبر الموائع على التدفق بينما القوى الشعرية تحدد بالتوتر السطحي وقابلية تبلل الصخر التي تساهم في مقاومة جريان المائع .

الفصل الثالث
القسم العملي

سنستخدم في دراستنا الواحدات الحقلية (الجملة الانكليزية) كونها متداولة في الحقول النفطية إلا في المواضع التي تقتضي فيها المعادلات التجريبية غير ذلك.

إن هذه الدراسة تختص حقل سازابا – تشكيلة الشيرانيش فقط .

الشروط القياسية *(Standard Conditions)* من الضغط ودرجة الحرارة هي:

$$P_{sc} = 101.325\ KPa = 1\ atm = 14.7\ Psia$$

$$T_{sc} = 288.7\ K = 60\ ^{o}F = 15.5\ ^{o}C = 520\ ^{o}R$$

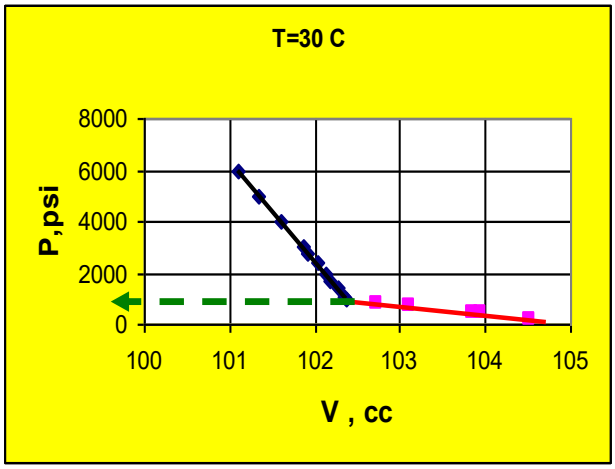
3-1 – تحديد ضغط الإشباع لنفط حقل سازابا:

أدخلت عينة من النفط إلى خلية الـ PVT وأجريت عليها قياسات ضغط الإشباع عند درجتي الحرارة ($30,56\ ^{o}C$) و نتائج القياس مبينة في الجدول (3-1):

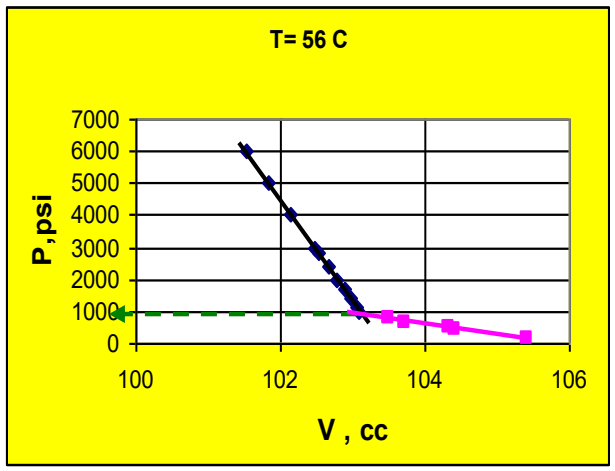
الجدول (3-1) نتائج قياس الضغط والحجم للعينة النفطية

P,psi	V, CC	P,psi	V, CC
T=56 °C		T= 30 °C	
6000	101.51	6000	101.1
5000	101.84	5000	101.35
4000	102.15	4000	101.6
3000	102.46	3000	101.86
2800	102.53	2800	101.91
2400	102.67	2400	102.03
2000	102.78	2000	102.12
1700	102.88	1700	102.18
1400	102.96	1400	102.27
1100	103.06	1100	102.35
1000	103.09	1000	102.38
760	103.49	600	102.72
670	103.73	500	103.1
480	104.34	300	103.85
450	104.42	250	103.95
140	105.42	100	104.51

قمنا برسم المنحني البياني الذي يمثل العلاقة بين الضغط والحجم من الجدول (3-1) والنتائج موضحة في الشكلين : (3-1) و (3-2).



الشكل (3–1) علاقة الضغط بالحجم للعينة النفطية عند درجة الحرارة (30 °C)



الشكل (3–2) علاقة الضغط بالحجم للعينة النفطية عند درجة الحرارة (56 °C)

من المنحنيات في الاشكال (3–1) و (3–2) حصلنا على قيم ضغط الاشباع كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول (3–2) ضغط الإشباع للعينة النفطية

ضغط الإشباع (Psi) P_b عند t=56 °C	ضغط الإشباع (Psi) P_b عند t=30 °C
853	704

3–2– اختبارات انتفاخ النفط:

3–2–1– دراسة تأثير CO_2 على خواص النفط الطبقي:

تمت دراسة تأثير CO_2 بنسب مختلفة حجماً على النفط في خلية الـ P.V.T وجهاز قياس لزوجة النفط الطبقي وذلك عند حرارة الطبقة وأجريت عليه عملية فصل الفلاش عند الضغط الطبقي والنتائج مبينة في الجدول (3–3)، وتم تمثيل هذه النتائج على منحنيات بيانية مبينة لاحقا.

الجدول (3–3) نتائج قياس تأثير CO_2 بنسب مختلفة حجماً على النفط

CO_2 %	P_b, Psi $T = 30^o C$	P_b, Psi $T = 56^o C$	B_o bbl/STB	GOR scf/bbl	μ_o cp	ρ_o lb/ft^3
0	704	853	1.13	204.08	30	59.06
5	852	1003	1.195	380	21.66	59.31
10	998	1206	1.316	573	16.24	59.57
20	1299	1605	1.542	890	4.91	60.08

أما نتائج تحليل الغاز المفصول وحسابات خصائصه عند نفس النسب مبينة في الجدولين (3–4) و (3–5) على التوالي حيث تمت حسابات خصائص الغاز المفصول باستخدام برنامج اعد خصيصا لهذه الحسابات .

الجدول (3–4) نتائج تحليل الغاز مع نسب **CO_2** المختلفة

CO2 %	C1 %	C2 %	C3 %	i-C4 %	n-C4 %	i-C5 %	n-C5 %	C6 %	H2S %	CO2 %	N2 %
0	**75.04**	**6.74**	**5.31**	**0.90**	**2.00**	**0.56**	**0.58**	**0.58**	**0.02**	**6.76**	**1.51**
5	**49.59**	**6.53**	**5.25**	**0.84**	**1.99**	**0.55**	**0.57**	**0.66**	**0.02**	**33.49**	**1.51**
10	**35.10**	**6.23**	**5.16**	**0.79**	**1.97**	**0.54**	**0.56**	**0.73**	**0.02**	**47.39**	**1.51**
20	**25.25**	**5.95**	**5.05**	**0.75**	**1.95**	**0.53**	**0.55**	**0.79**	**0.021**	**57.65**	**1.51**

الجدول (3–5) نتائج حسابات خصائص الغاز عند النسب المختلفة لـ CO_2 المضاف إلى النفط

CO_2 %	M_a	μ_g, cp	$\rho_g, g/cc$	$B_g, scf/cf$	$C_g, Psia^{-1}$	$Z-factor$
0	22.822	0.02425	0.1426	0.00676	0.00062	0.76244
5	30.427	0.03227	0.2185	0.00588	0.00066	0.66295
10	34.095	0.04033	0.2715	0.0053	0.00069	0.59771
20	36.9	0.05362	0.3341	0.00466	0.00075	0.52579

ρ_r	γ_g	عامل تصحيح (e)	T_{pr}	P_{pr}	T_{pc} ^oR	P_{pc} $Psia$
0.1336	0.787	9.242	1.49	2.822	379.898	669.959
0.1582	1.049	24.203	1.346	2.494	440.507	758.107
0.1778	1.175	25.157	1.278	2.348	463.673	805.27
0.2042	1.272	23.598	1.222	2.227	485.302	848.752

3-2-2- نتائج حقن CO_2 بنسب مختلفة من حجم الفراغات المسامية ودرجة حرارة الطبقة للنموذج الصخري:

:

أجريت عملية الإزاحة بحقن CO_2 عند نسب مختلفة من حجم الفراغات المسامية للنموذج الصخري مع الماء عند الضغط الحالي للحقل (1890 Psia) والنتائج مبينة في الجداول والأشكال التالية:

الجدول (3-6) نتائج حقن 10 % من CO_2 للنموذج الصخري

الحجم النسبي للموائع المحقونة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	عامل الإزاحة %	حجم التقط التراكمي cm^3	حجم التقط cm^3	حجم الماء cm^3	الحجم التراكمي cm^3	الحجم الكلي ماء + تقط cm^3
0	0	0	0	0	0	0	0
25	13.88	16.57	9.2	9.2	0	9.20	9.2
50	27.77	24.06	13.36	4.16	4.31	17.67	8.47
75	41.00	27.62	15.34	1.98	9.95	29.60	11.93
100	55.53	29.84	16.57	1.23	27.56	58.39	28.79
150	83.30	31.50	17.49	0.92	21.34	80.65	22.26
200	111.06	32.41	18	0.51	32.12	113.28	32.63
250.00	138.83	33.12	18.39	0.39	25.16	138.83	25.55

الجدول (3-7) نتائج حقن 20 % من CO_2 للنموذج الصخري

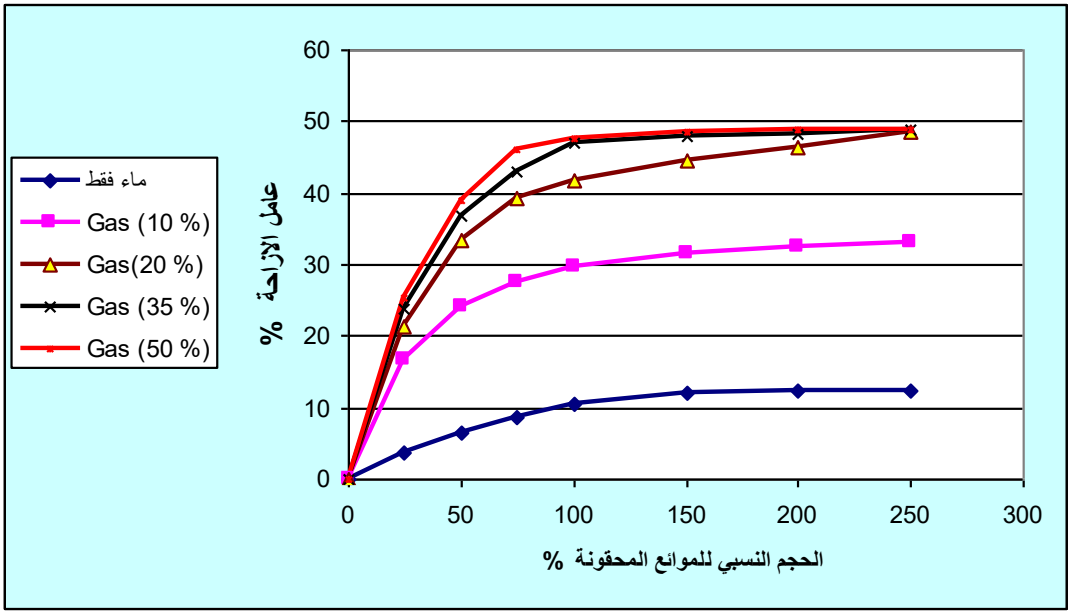
الحجم النسبي للموائع المحقونة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	عامل الإزاحة %	حجم التقط التراكمي cm^3	حجم التقط cm^3	حجم الماء cm^3	الحجم التراكمي cm^3	الحجم الكلي ماء + تقط cm^3
0	0	0	0	0	0	0	0
25	13.88	21.43	11.9	11.9	0	11.90	11.9
50	27.77	33.41	18.55	6.65	7.77	26.32	14.42
75	41.00	39.17	21.75	3.2	6.2	35.72	9.4
100	55.53	41.71	23.16	1.41	26.63	63.76	28.04
150	83.30	44.62	24.78	1.62	25.7	91.08	27.32
200	111.06	46.53	25.84	1.06	21.9	114.04	22.96
250.00	138.83	48.59	26.98	1.14	23.65	138.83	24.79

الجدول (3-8) نتائج حقن 35 % من CO_2 للنموذج الصخري

الحجم الكلي ماء + نفط cm^3	الحجم التراكمي cm^3	حجم الماء cm^3	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	الحجم النسبي للموائع المحقونة %
0	0	0	0	0	0	0	0
13.3	13.30	0	13.3	13.3	23.95	13.88	25
17.46	30.76	10.36	7.1	20.4	36.74	27.77	50
25.82	56.58	22.32	3.5	23.9	43.04	41.00	75
34.82	91.40	32.6	2.22	26.12	47.04	55.53	100
22.53	113.93	22.06	0.47	26.59	47.88	83.30	150
11.55	125.48	11.38	0.17	26.76	48.19	111.06	200
13.35	138.830	13.06	0.29	27.05	48.71	138.83	250.00

الجدول (3-9) نتائج حقن 50 % من CO_2 للنموذج الصخري

الحجم الكلي ماء + نفط cm^3	الحجم التراكمي cm^3	حجم الماء cm^3	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	الحجم النسبي للموائع المحقونة %
0	0	0	0	0	0	0	0
16.92	16.92	2.9	14.02	14.02	25.25	13.88	25
15.4	32.32	7.7	7.7	21.72	39.11	27.77	50
11.08	43.40	7.13	3.95	25.67	46.23	41.00	75
18.98	62.38	18.18	0.8	26.47	47.67	55.53	100
30.17	92.55	29.67	0.5	26.97	48.57	83.30	150
22.42	114.97	22.22	0.2	27.17	48.93	111.06	200
23.86	138.830	23.82	0.04	27.21	49.00	138.83	250.00



الشكل (3-3) عامل الإزاحة بالعلاقة مع الحجم النسبي للموائع المحقونة
عند كافة النسب لـ CO_2 المحقون للنموذج الصخري

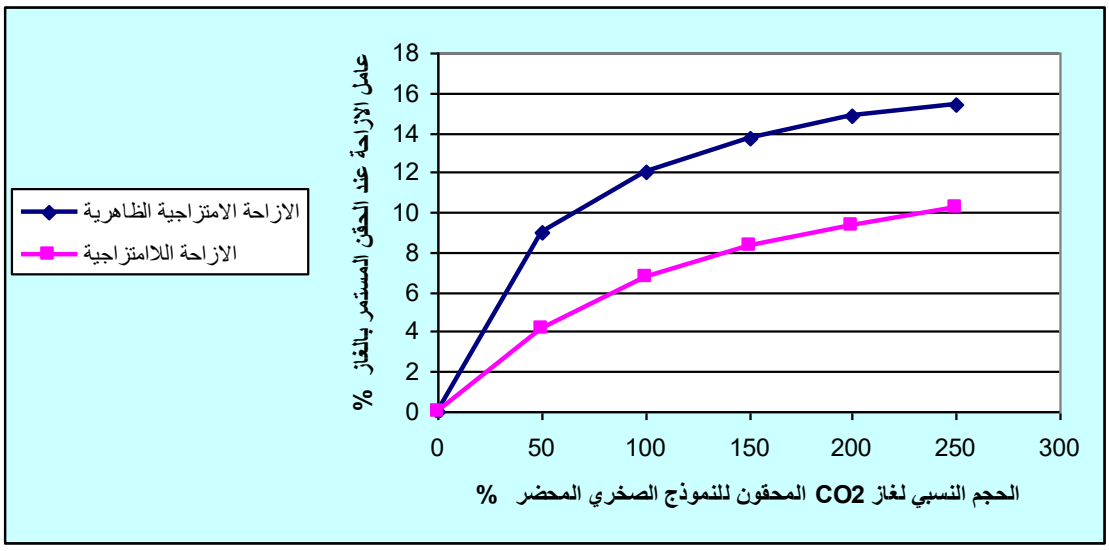
3-2-3- نتائج الحقن المستمر بـ بعمليتي الإزاحة الامتزاجية الظاهرية واللاامتزاجية بـ CO_2 عند فرق ضغط يساوي (3.6 atm) ومعدل تدفق يساوي(20 Cm^3/h) ودرجة حرارة الطبقة للنموذج الصخري:

الجدول (3-10) يبين عامل الإزاحة الامتزاجية الظاهرية عند الحقن المستمر بـ CO_2 للنموذج الصخري

الحجم النسبي لـCO2 المحقون %	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %
0	0	0	0
50	4.99	4.99	8.99
100	1.67	6.66	11.99
150	0.98	7.64	13.76
200	0.63	8.27	14.89
250	0.28	8.55	15.40

الجدول (3-11) يبين عامل الإزاحة اللاامتزاجية عند الحقن المستمر بـ CO_2 للنموذج الصخري

الحجم النسبي لـCO2 المحقون %	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %
0	0	0	0
50	2.32	2.32	4.18
100	1.42	3.74	6.74
150	0.87	4.61	8.30
200	0.56	5.17	9.31
250	0.51	5.68	10.23



الشكل (3-4) يبين عامل الإزاحة الامتزاجية الظاهرية واللاامتزاجية عند الحقن المستمر بـ CO_2 للنموذج الصخري

3-2-4- نتائج الإزاحة عند فرق ضغط يساوي (5 atm) ومعدل تدفق يساوي (28Cm^3/h) ودرجة حرارة الطبقة للنموذج الصخري

أجريت عملية الإزاحة بحقن CO_2 عند نسب مختلفة من حجم الفراغات المسامية للنموذج الصخري مع الماء عند الضغط الطبقي الحالي في الحقل (1890 Psia) والنتائج مبينة في الجداول والأشكال التالية:

الجدول (3-12) نتائج حقن 10 % من CO_2 للنموذج الصخري

الحجم الكلي ماء + نفط cm^3	الحجم التراكمي cm^3	حجم الماء cm^3	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	الحجم النسبي للموائع المحقونة %
0	0	0	0	0	0	0	0
8.1	8.10	0	8.1	8.1	14.59	13.88	25
8.7	16.80	5.2	3.5	11.6	20.89	27.77	50
11.34	28.14	10.13	1.21	12.81	23.07	41.00	75
26.69	54.83	25.65	1.04	13.85	24.94	55.53	100
23.85	78.68	22.87	0.98	14.83	26.71	83.30	150
31.44	110.12	30.88	0.56	15.39	27.71	111.06	200
28.71	138.83	28.48	0.23	15.62	28.13	138.83	250.00

الجدول (3-13) نتائج حقن 20 % من CO_2 للنموذج الصخري

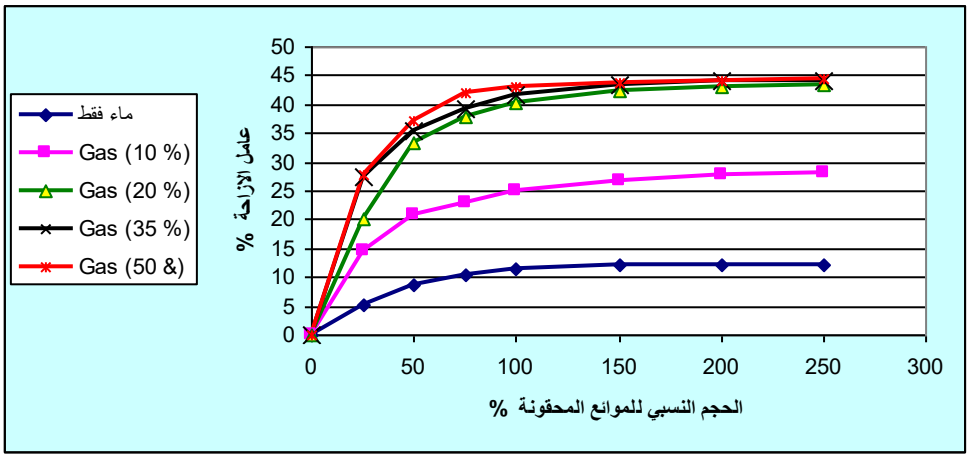
الحجم الكلي ماء + نفط cm^3	الحجم التراكمي cm^3	حجم الماء cm^3	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	الحجم النسبي للموائع المحقونة %
0	0	0	0	0	0	0	0
11.12	11.12	0	11.12	11.12	20.03	13.88	25
17.19	28.31	9.85	7.34	18.46	33.24	27.77	50
9.75	38.06	7.14	2.61	21.07	37.94	41.00	75
26.68	64.74	25.36	1.32	22.39	40.32	55.53	100
29.96	94.70	28.75	1.21	23.6	42.50	83.30	150
22.6	117.30	22.22	0.38	23.98	43.18	111.06	200
21.53	138.83	21.46	0.07	24.05	43.31	138.83	250.00

الجدول (3-14) نتائج حقن 35 % من CO_2 للنموذج الصخري

الحجم الكلي ماء + نفط cm^3	الحجم التراكمي cm^3	حجم الماء cm^3	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	الحجم النسبي للموائع المحقونة %
0	0	0	0	0	0	0	0
15.2	15.20	0	15.2	15.2	27.37	13.88	25
12.7	27.90	8.16	4.54	19.74	35.55	27.77	50
22.7	50.60	20.56	2.14	21.88	39.40	41.00	75
30.25	80.85	28.94	1.31	23.19	41.76	55.53	100
21.54	102.39	20.66	0.88	24.07	43.35	83.30	150
22.93	125.32	22.6	0.33	24.4	43.94	111.06	200
13.51	138.830	13.45	0.06	24.46	44.05	138.83	250.00

الجدول (3-15) نتائج حقن 50 % من CO_2 للنموذج الصخري

الحجم الكلي ماء + نفط cm^3	الحجم التراكمي cm^3	حجم الماء cm^3	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة %	الحجم النسبي للموائع المحقونة cm^3	الحجم النسبي للموائع المحقونة %
0	0	0	0	0	0	0	0
18.23	18.23	2.9	15.33	15.33	27.61	13.88	25
13.07	31.30	7.7	5.37	20.7	37.28	27.77	50
12.45	43.75	9.74	2.71	23.41	42.16	41.00	75
18.62	62.37	18.18	0.44	23.85	42.95	55.53	100
30.05	92.42	29.67	0.38	24.23	43.63	83.30	150
22.5	114.92	22.22	0.28	24.51	44.14	111.06	200
23.91	138.830	23.82	0.09	24.6	44.30	138.83	250.00



الشكل (3-5) عامل الإزاحة بالعلاقة مع الحجم النسبي للموائع المحقونة عند كافة النسب من CO_2

3-2-5- نتائج الحقن الدوري (التشرب):

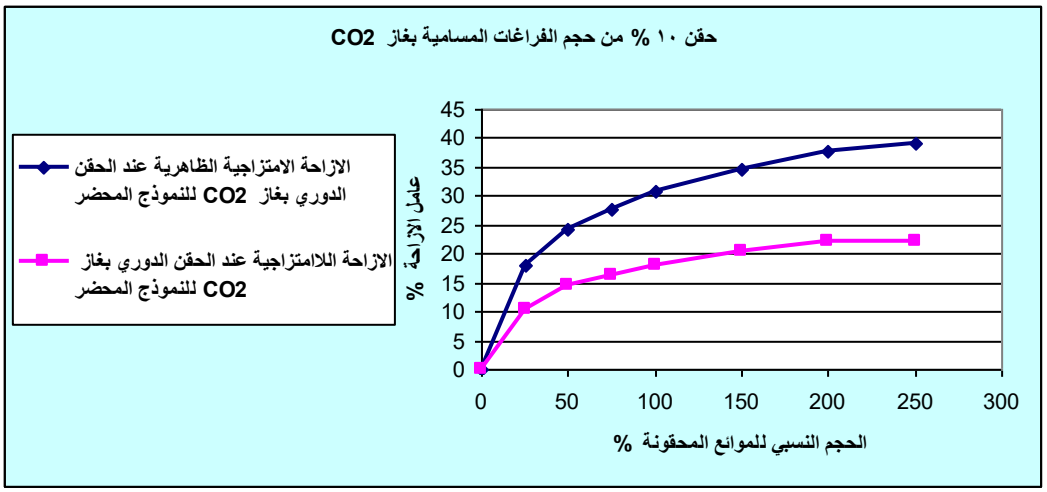
بعد ملء النموذج الصخري بالنفط ورفع درجة حرارته إلى درجة حرارة الطبقة تم حقن CO_2بطريقة الحقن الدوري (التشرب) والمسماة Huff and Buff بنسبة (10 %) بالتجربة الأولى ثم بنسبة (35 %) من حجم الفراغات المسامية بالتجربة الثانية بطريقتي الإزاحة الامتزاجية الظاهرية واللاامتزاجية على النموذج الصخري ثم الإغلاق لمدة يومين بعدها تمت عملية الإزاحة بالماء تحت فارق ضغط يساوي (3.6 atm) ومعدل تدفق يساوي($20\ Cm^3/h$) والنتائج مبينة في الجداول والأشكال التالية

الجدول (3-16) يبين عامل الإزاحة الامتزاجية الظاهرية عند الحقن الدوري بغاز CO_2 بنسبة 10 % من حجم الفراغات المسامية للنموذج

الحجم النسبي لـ CO2 المحقّون %	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة%
0	0	0	0
25	9.99	9.99	17.99
50	3.54	13.53	24.37
75	1.86	15.39	27.71
100	1.65	17.04	30.69
150	2.22	19.26	34.68
200	1.72	20.98	37.78
250	0.68	21.66	39.01

الجدول (3-17) يبين عامل الإزاحة اللاامتزاجية عند الحقن الدوري بغاز CO_2 بنسبة 10 % من حجم الفراغات المسامية للنموذج

الحجم النسبي لـ CO2 المحقّون %	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة%
0	0	0	0
25	5.68	5.68	10.23
50	2.47	8.15	14.68
75	0.81	8.96	16.14
100	1.1	10.06	18.12
150	1.35	11.41	20.55
200	0.83	12.24	22.04
250	0.06	12.3	22.15



الشكل (3-6) يبين عامل الإزاحة الامتزاجية الظاهرية واللاامتزاجية عند الحقن الدوري بغاز CO_2 بنسبة 10 % من حجم الفراغات المسامية للنموذج

الجدول (3-18) يبين عامل الإزاحة الامتزاجية الظاهرية عند الحقن الدوري

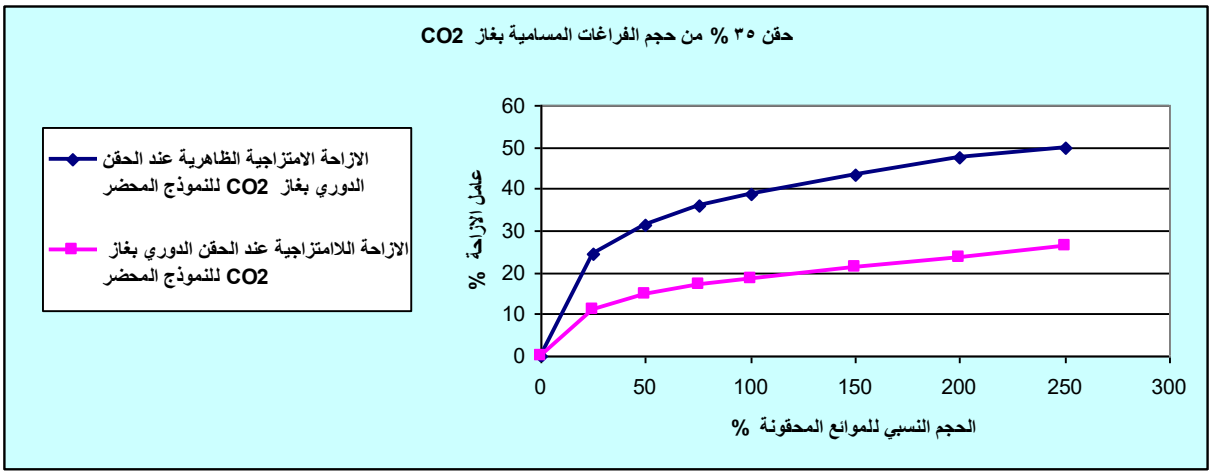
بغاز CO_2 بنسبة 35 % من حجم الفراغات المسامية للنموذج

الحجم النسبي لـ CO2 المحقون %	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة%
0	0	0	0
25	13.49	13.49	24.29
50	3.89	17.38	31.30
75	2.1	19.48	35.08
100	2.07	21.55	38.81
150	2.49	24.04	43.29
200	2.33	26.37	47.49
250	1.33	27.7	49.88

الجدول (3-19) يبين عامل الإزاحة اللاامتزاجية عند الحقن الدوري

بغاز CO_2 بنسبة 35 % من حجم الفراغات المسامية للنموذج

الحجم النسبي لـ CO2 المحقون %	حجم النفط cm^3	حجم النفط التراكمي cm^3	عامل الإزاحة%
0	0	0	0
25	6.11	6.11	11.00
50	2.05	8.16	14.69
75	1.4	9.56	17.22
100	0.68	10.24	18.44
150	1.53	11.77	21.20
200	1.28	13.05	23.50
250	1.48	14.53	26.17



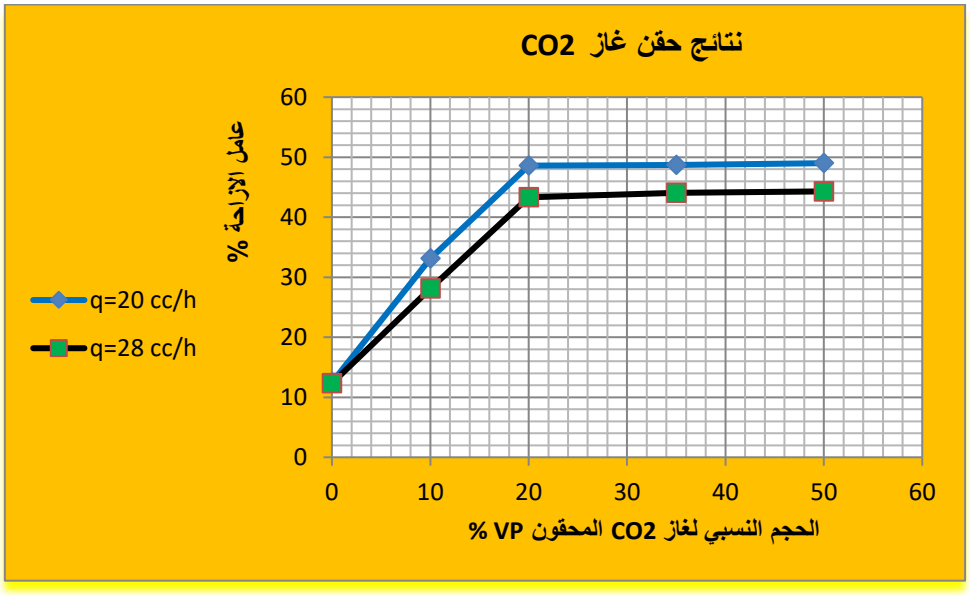
الشكل (3-7) يبين عامل الإزاحة الامتزاجية الظاهرية واللاامتزاجية عند الحقن الدوري

بغاز CO_2 بنسبة 35 % من حجم الفراغات المسامية للنموذج

3-2-6- مقارنة بين عوامل الإزاحة لدى حقن غاز CO_2 عند معدلات الحقن المختلفة:

جدول (3-20) عوامل الإزاحة بالعلاقة مع الحجم النسبي لـ CO_2 المحقون عند معدلات الحقن المستخدمة

الحجم النسبي للغاز الطبيعي المحقون %	عامل الإزاحة % $q = 20 \quad cc/h$ $\Delta P = 3.6\ kg/cm^2$	عامل الإزاحة % $q = 28 \quad cc/h$ $\Delta P = 5\ kg/cm^2$
0	12.46	12.32
10	33.12	28.13
20	48.59	43.31
35	48.71	44.05
50	49	44.3



الشكل (3-8) عوامل الإزاحة لدى الحقن المستمر بغاز CO_2

3-3- تحديد ضغط الامتزاجية الاصغري:

لاختيار الطريقة الأفضل والأدق لحساب MMP قمنا بحساب قيم MMP بكافة الطرق السابقة الذكر لنفوط معروفة التركيب ومقارنتها مع القيم الدقيقة لـMMP المقاسة بواسطة الأنبوب البسيط لتلك النفوط ، حيث أن العلاقة التي كانت نتائجها اقرب إلى قيم MMP المقاسة تم اعتمادها في حساب قيمة MMP لحقل سازابا النفطي.

الجدول رقم (3−21) يبين خصائص النفوط والغازات المحقونة التي
تم تجميعها من مختلف المراجع العلمية المدروسة

C_1 %	C_2-C_6 %	M_{C7+}	T, ºC	C_{2+}	M_{C5+}	C_2-C_4 %	M_{C2+}
55	22	209	98.33	14	171.75	18	37.25
50	22	250	121.11	10	216.49	20	33.51
49	23	250	121.11	0	250	10	0
57	26	183.6	84.22	0	183.6	10	0
55	22	209	98.33	16	171.29	20	37.71
50	23	250	121.11	10	215.96	21	34.04
49	23	250	121.11	0	250	21	0
46	25	240.68	115.93	18	200.91	22	39.77
42	1	302	150	35	257.9	1	44.1
42	1	302	150	38	257.9	1	44.1
42	1	302	150	46	257.9	1	44.1
33	24	215	101.67	47	175.09	20	39.91
33	24	215	101.67	47	175.09	20	39.91
39	27	258	125.56	24	219.81	23	38.19
31	27	271	132.78	23	233.66	23	37.34
37	25	294.97	146.09	23	257.63	21	37.34
31	27	271	132.78	23	233.66	23	37.34
44	31	231	110.56	27	192.27	27	38.73
33	26	121.91	49.95	15	84.54	10	37.37
23	33	141.74	60.97	41	99.88	29	41.86
24	30	141.99	61.11	41	100.13	26	41.86
54	24	132.12	55.62	17	92.35	20	39.77
22.92	32.08	257.7	125.39	41.47	215.7	27.9	42
23.64	30.36	254.4	123.56	41.47	212.4	26.1	42
45.85	24.68	143.7	62.06	18.12	103.81	20.66	39.89
26.57	30.25	245.43	118.57	12	206	27	39.43
54.26	24.12	238.15	114.53	17.88	198.15	20.2	40
6	28	175	79.44	43	133.66	24	41.34
33	26	209.81	98.78	16	173.06	19	36.75
33	26	209.81	98.78	16	173.06	19	36.75
33	26	209.81	98.78	16	173.06	19	36.75
33	26	209.81	98.78	16	173.06	19	36.75
33	26	209.81	98.78	16	173.06	19	36.75
32	25	252.21	122.34	0	252.21	21	0
32	25	252.21	122.34	10	222.14	21	30.07
32	25	252.21	122.34	10	208.11	21	44.1
32	25	252.21	122.34	10	194.09	21	58.12
32	25	252.21	122.34	5	222.14	21	30.07
31	27	270	132.22	0	270	23	0
31	27	270	132.22	10	239.93	23	30.07
31	27	270	132.22	20	239.93	23	30.07
46	25	240.68	115.93	18	200.91	21	39.77
46	25	240.68	115.93	18	200.91	21	39.77
32	25	252.21	122.34	28	210.68	21	41.53

جدول رقم (3−22) نتائج قيمMMP المقاسة بالأنبوب البسيط وMMP المحسوبة بالعلاقات المختلفة

MMP المقاسة بالأنبوب البسيط Mpa	علاقة Orr Mpa	معهد استعادة البترول Mpa	علاقة Renge Robison Mpa	علاقة Alston Mpa	علاقة Cronquist Mpa	علاقة Yuan Mpa
39.99	17.826	23.331	39.156	19.231	25.258	9.560
41.369	21.411	31.701	40.977	34.269	38.278	12.944
43.437	21.411	31.701	43.664	48.518	46.557	12.944
43.437	15.770	19.070	43.664	20.610	24.150	7.703
39.99	17.876	23.439	38.229	18.924	25.263	9.588
41.369	21.411	31.701	40.955	33.894	38.155	12.944
43.437	21.411	31.701	43.664	43.861	46.557	12.944
37.235	20.587	29.690	37.113	28.126	32.356	12.146
26.752	26.274	44.369	26.085	83.915	56.618	17.760
25.166	26.274	44.369	23.977	83.915	56.618	17.760
18.961	26.274	44.369	18.050	83.915	56.618	17.760
16.547	18.382	24.557	19.388	18.918	22.202	10.055
18.478	18.382	24.557	19.388	18.918	22.202	10.055
33.274	22.129	33.492	34.358	34.535	36.793	13.644
32.922	23.317	36.522	35.060	39.315	39.406	14.812
34.474	25.587	42.511	35.092	53.072	52.742	17.069
32.922	23.317	36.522	35.060	39.315	39.406	14.812
35.954	19.747	27.687	32.549	24.074	28.956	11.340
36.051	10.499	10.719	38.443	3.117	7.843	3.752
22.201	12.278	13.068	21.641	4.054	9.040	4.926
23.601	12.300	13.100	21.638	4.165	9.135	4.941
38.001	11.433	11.889	37.253	3.866	10.276	4.344
22.105	22.102	33.423	22.435	30.221	31.265	13.616
23.504	21.805	32.680	22.415	29.393	30.427	13.327
37.611	12.447	13.317	36.737	5.068	11.121	5.046
36.611	21.005	30.705	39.908	27.098	28.922	12.550
37.907	20.367	29.160	37.135	28.078	33.727	11.934
24.58	15.062	17.716	21.205	7.276	11.560	7.099
40.3	17.944	23.588	38.337	18.181	21.413	9.650
35.584	17.944	23.588	38.337	18.181	21.413	9.650
37.28	17.944	23.588	38.337	18.181	21.413	9.650
40.838	17.944	23.588	38.337	18.181	21.413	9.650
41.568	17.944	23.588	38.337	18.181	21.413	9.650
41.575	21.608	32.191	43.664	42.440	41.272	13.136
38.976	21.608	32.191	41.119	33.856	34.351	13.136
38.273	21.608	32.191	40.509	30.144	31.531	13.136
37.735	21.608	32.191	39.748	26.625	28.945	13.136
39.672	21.608	32.191	42.618	33.856	34.351	13.136
45.492	23.224	36.282	43.664	50.651	49.135	14.721
40.734	23.224	36.282	41.128	41.050	40.803	14.721
37.418	23.224	36.282	37.478	41.050	40.803	14.721
35.563	20.587	29.690	37.113	28.305	32.356	12.146
37.618	20.587	29.690	37.113	28.305	32.356	12.146
31.247	21.608	32.191	31.344	30.810	32.030	13.136

قمنا بحساب ضغط الامتزاج الاصغري MMP بالعلاقات المختلفة الواردة في هذا البحث ومقارنتها بقيم MMP المقابلة لها والمقاسة بالأنبوب البسيط بعدها قمنا بحساب الانحراف المطلق المتوسط وكانت قيمه لمختلف العلاقات المستخدمة لحساب MMP كما يلي:

1- علاقة Orr and Metcalfe : الانحراف المطلق المتوسط كان % 41.22

2- معهد استعادة البترول , كندا: الانحراف المطلق المتوسط كان % 33.97

3- علاقة Renge –Robison المعدلة: الانحراف المطلق المتوسط كان% 4.41

4- علاقة Alston: الانحراف المطلق المتوسط كان % 49.93

5- علاقة Cronquist : الانحراف المطلق المتوسط كان % 36.50

6- علاقة Yuan et al: الانحراف المطلق المتوسط كان % 64.15

مما سبق نستنتج أن أفضل علاقة وأدقها لحساب MMP هي علاقة Renge – Robison ، والتي تم استخدامها في حساب ضغط الامتزاجية الاصغري للحقل المدروس.

حساب MMP للحقل المدروس:

تم حساب ضغط الامتزاجية الاصغري باستخدام علاقة Renge – Robison

جدول رقم(3-23) تركيب النفط والغاز لحقل سازابا-طبقة الشيرانيش

comp	mol %	(M_i)	mol %
N2	3.09	28.013	0.7
CO2	73.27	44.010	0.6
C1	21.62	16.043	33.4
C2	1.19	30.070	5
C3	0.51	44.097	5.5
Ic4	0.06	58.123	2.1
C4	0.14	58.123	3.9
IC5	0	72.500	2
C5	0	72.150	2.8
C6	0	86.177	4.4
C7	0	100.204	9.7
C8	0	114.231	8.8
C9	0	128.258	7.8
C10	0	142.285	8.5
C11	0	156.312	0.2
H2S	0.12	34.080	4.6

$$\alpha = \frac{30.9^{1.72785} \times 33.4^{0.1}}{(1.8 \times 56 + 32)^{0.5} \times 42.193} = 1.097$$

$$\beta = 1.9^{(1.064+0.00686\times0.699)} = 1.986$$

$$MMP = 43.664 - 4.542 \times 1.097 + 0.689 \times 1.097^{2} - 0.132 \times 1.986 = 39.25\ MPa$$

$$MMP = 39.25\ MPa = 387.4\ atm = 5691\ Psia$$

جدول رقم (3-24) نتائج حساب MMP لحقل سازابا

C_1 %	C_2-C_6 %	M_{C7+}	T, °C	C_{2+}	M_{C2+}	MMP MPa
33.4	30.9	42.193	56	1.9	0.699	39.25

3-4- النتائج والمقترحات:

1- يلاحظ زيادة ضغط الإشباع بزيادة (GOR)عند ثبات درجة الحرارة وذلك نتيجة لزيادة كمية الغاز المنحل في النفط.

2- يلاحظ زيادة ضغط الإشباع بزيادة درجة الحرارة.

3- يلاحظ زيادة (GOR) عند حقن غاز CO_2 لدى زيادة نسبة الغاز المحقون بسبة جيدة وذلك سببه أن انحلالية CO_2 في النفط عالية.

4- يلاحظ انخفاض واضح في لزوجة النفط الطبقي لدى زيادة نسبة الغاز المحقون نتيجة لزيادة كمية الغاز المنحلة فيه.

- يلاحظ زيادة واضحة في عامل حجم النفط لدى حقن الغاز وكانت نسبة الزيادة عالية عند حقن غاز (CO_2) بسبب انحلاليته العالية في النفط.

6- يلاحظ زيادة الوزن الجزيئي والوزن النوعي للغاز المفصول عند زيادة نسبة الغاز المحقون وذلك يعود الى زيادة الكسر المولي للمكونات الاثقل في الغاز المفصول عنها في الغاز المحقون.

7- يلاحظ ازدياد كثافة الغاز المفصول عند زيادة نسبة الغاز المحقون ونسبة زيادتها عند حقن (CO_2) .

8- يلاحظ نقصان عامل انضغاط الغاز المفصول (Z-Factor)عند زيادة نسبة الغاز المحقون ونسبة نقصانة عند (CO_2) عالية وذلك يعود الى زيادة الكثافة النسبية للغاز المفصول (ρ_r)

حيث ان: $\left(Z = \frac{0.27 \times P_{pr}}{\rho_r \times T_{pr}} \right)$

9- يلاحظ نقصان عامل حجم الغاز المفصول عند زيادة نسبة الغاز المحقون ونسبة نقصانة عند حقن غاز (CO_2) عالية وذلك يعود الى نقصان عامل انضغاط الغاز(Z-Factor) .

عوامل الازاحة:

1- يلاحظ زيادة عامل الازاحة لدى الحقن المستمر للغاز بالإزاحة الامتزاجية الظاهرية عنه لدى الازاحة اللاامتزاجية وهذا يعود الى زيادة حجم الغاز المنحل في النفط والذي يحسن الخواص الجريانية للنفط ضمن الفراغات المسامية.

2- يلاحظ زيادة عامل الازاحة لدى زيادة حجم الغاز المحقون ونقصان معدل الحقن(سرعة الحقن) عند الازاحة الامتزاجية الظاهرية واللاامتزاجية ويمكن تفسير ذلك بان زيادة معدل الحقن يؤدي الى عبور الغاز تاركا النفط وراءه، ولكن بمقارنة نسبة زيادة عامل الازاحة مع كمية الغاز المحقون نجد ان العملية غير اقتصادية.

3- يلاحظ ان عامل الازاحة الامتزاجية الظاهرية اعلى من عامل الازاحة اللاامتزاجية عند كل نسب الغاز المحقون لدى الحقن الدوري وهذا سببه الذوبانية العالي للغاز في النفط عند الازاحة الامتزاجية الظاهرية مما يحسن الخواص الجريانية للنفط.

4- يلاحظ زيادة عامل الازاحة بزيادة نسبة الغاز المحقون بالحقن الدوري حيث كان عامل الازاحة الامتزاجية الظاهرية لدى حقن 10 % من غاز (CO_2) (39.01 %) واللاامتزاجية كان (22.15 %) وكان عامل الازاحة الامتزاجية الظاهرية لدى حقن 35% منه كان (49.88 %) واللاامتزاجية كان (26.17 %) وهذا سببه زيادة انتفاخ النفط ونقصان لزوجته لدى زيادة نسبة الغاز المحقون.

5- يلاحظ زيادة واضحة في عامل الازاحة لدى الحقن الدوري مقازنة مع الحقن المستمر وهذا سببه فترة الاغلاق والتي تتيح المجال اكثر لتشتت الغاز ضمن النفط مما يجعل التماس بين الغاز والنفط على طول منطقة اكبر من التماس بينهما فقط في مقدمة جبهة الازاحة والتي اصبحت اكبر بفعل فترة التشرب (النقع) مما ادى الى تحسين ظروف حدوث الامتزاجية الظاهرية بين الغاز والنفط وهذا بدوره يؤدي الى انتفاخ اكبر للنفط ونقصان اكبر في لزوجته مما يزيد في تدفق النفط وبالتالي يؤدي الى انخفاض قيمة النفط المتبقي في الصخر.

6- يلاحظ ان قيمة ضغط الامتزاجية الاصغري لحقل سازابا عالية والتي تساوي

$(MMP = 387.36\ atm = 5691.25\ Psia)$ مما يجل امكانية حدوث الامتزاجية غير ممكن عند الضغط الحالي للمكمن (1890 Psia) وبسبب عدم امكانية الحقن بالحقل عند ضغط اعلى من (MMP) بسبب الكلفة العالية لمعدات الحقن المطلوبة فان الامتزاجية الظاهرية عند ضغط المكمن تعتبر جيدة لتحسين عامل الازاحة.

المقترحات:

1) استبعاد طريقة الحقن المستمر بالغاز لحقل سازابا لأنها ليست ذات جدوى اقتصادية.

2) استخدام حقن غاز (CO_2) هو الغاز الأمثل لزيادة عامل المردود النفطي.

3) استغلال وجود البئر (301) الذي ينتج غاز طبيعي يحوي نسبة عالية من (CO_2) كغاز حقن.

4) اجراء عمليات الحقن للماء بالتناوب مع الغاز والتي تعطي قيما جيدة لعامل الازاحة مما يشجع على تطبيقها في الحقل المدروس

5) استخدام احدى الطرق الحرارية بالتوازي مع حقن الغاز لزيادة عامل المردود وذلك بسبب ان نفط حقل سازابا هو نفط ثقيل.

المراجع العلمية :

آ – باللغة العربية

1- تقارير الشركة السورية للنفط – **مديرية حقول الجبسكة**. لعامي 201.–2011

2- عبد الأحد، جورج. نوفل، عماد،1997 **بحث دراسة التأثير المتبادل بين النفط الطبقي الثقيل و المواد المقللة للتوتر السطحي و CO_2** .منشورات جامعة البعث.

4– العطار، حازم، 1992– **عمليات إنتاج الغاز**. منشورات جامعية – جامعة بغداد، العراق، (571) صفحة.

ب – باللغة الإنكليزية:

Minimum Miscibility Pressure (MMP) Correlation For Hydrocarbon Miscible Injections. Brazilian Journal Of Petroleum And Gas A Publication Of The ABPG Brazilian Association Of R& D In Petroleum And Gas , vol .4n.1.11-18 .

6- Nedjad, M; Reza,A; Mohsen,V 2007- **Determination Of Minimum Miscibility Pressure By Analytical Method** . Chemical Engineering, Iran. J. Chem. Chem. Eng , vol . 26, No.3.

7- RUDYK,S; SOGAARD,E; ABBASI,W; JORGENSEN,L 2009- **Determination Of Minimum Miscibility Pressure In Supercritical Reactor Using Oil Saturated Sample**. AIDIC Conference Series Editor Sauro Pierucci Servizi Srl , ISSN 2036-5969 , vol.9.12.

8- Høier , L ; Whitson,C 1998 - **Annual Techn. Conf and Exhibition of Soc Petroleum Engineers**. SPE paper 49269 New Orleans, Vol.27-30.

9- YUAN,H ; RUSSEL, T 2002- **Simplified Method For Calculation Of Minimum Miscibility Pressure or Enrichment**. Annual Techn. Conf. and Exhibition of Soc Petroleum Engineers , SPE paper 77381San Antonio , vol .1-8.

10. DERRIL, J. ;STEPHENSON, V 2002- **Economic Feasibility of Horizontal CO2 EOR Projects in Alberta Climate Change and Greenhouse Gas**. (GHG) Technology , vol.4-7.

11- MORITIS, G 2002- **Oil & Gas Journal** ,vol. 68 – 69.

12- TEKNICA 2001-**Enhanced Oil Recovery** . Teknica Petroleum Services , New Orleans,(253) P.