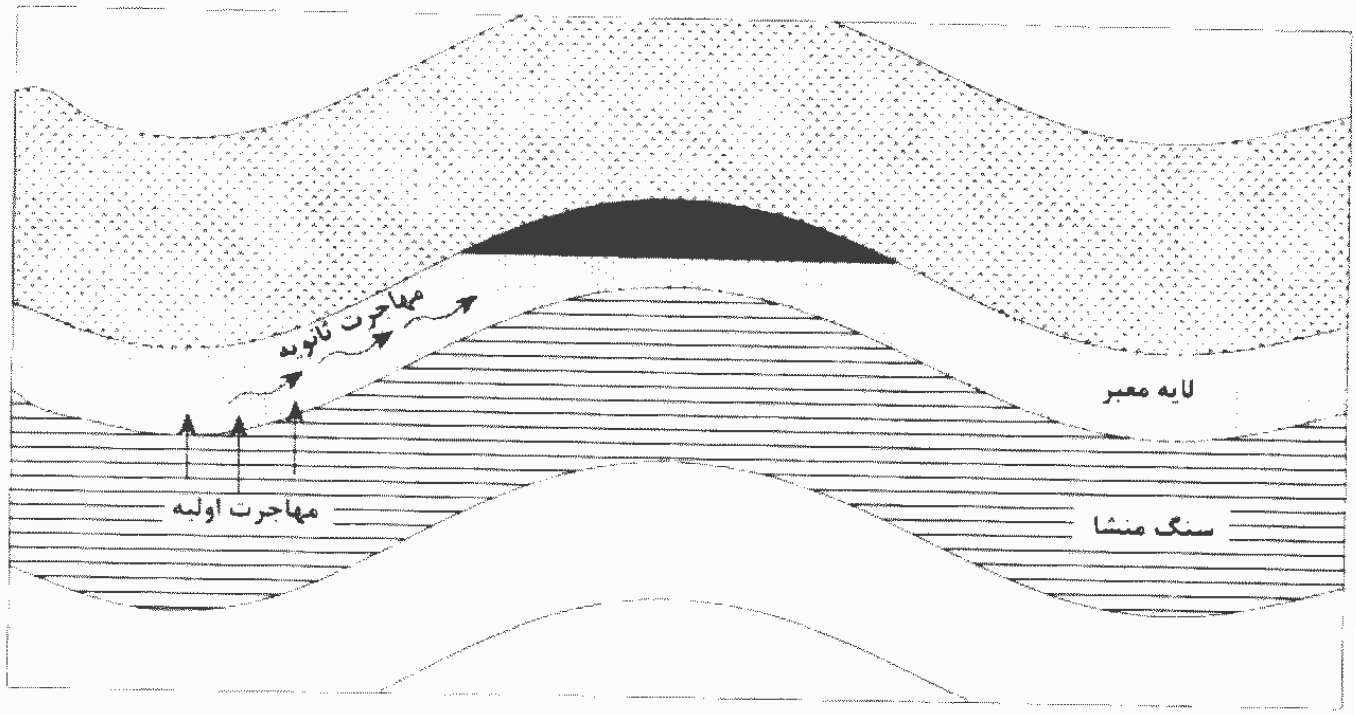
۶- مهاجرت نفت (Oil Migration)

می‌دانیم که مواد آلی اغلب به وسیلهٔ عمل امواج و جریان‌ها از بین رسوبات دانه‌درشت شسته شده‌اند و یا در طی فرآیند دیاژنز اولیه تجزیه شده و از بین رفته‌اند. امروزه به‌جز در مورد شیل‌های نفتی، مواد هیدروکربنی عمدتاً در سنگ‌های دانه‌درشت یافت می‌شوند. این وضعیت به خاطر مهاجرت هیدروکربن است، فرآیندی که باعث حرکت نفت و گاز از سنگ‌های منشأ ریزدانه به سنگ‌های مخزن درشت‌دانه و تراوا می‌شود.

پدیده مهاجرت به دو بخش مهاجرت اولیه (primary migration) و مهاجرت ثانویه (secondary migration) قابل تقسیم است. مهاجرت اولیه به حرکت نفت و گاز از سنگ منشأ به لایه تراواتر یا لایه معبر (carrier bed) و یا مخزن (reservoir) گفته می‌شود (شکل ۶-۱). در طی مهاجرت ثانویه، نفت یا گاز در لایه‌های معبر حرکت می‌کنند تا اینکه در یک تله نفتی (oil trap) متمرکز شوند. تشخیص و جدایش این دو نوع مهاجرت بسیار مهم است زیرا فرآیندهای آن‌ها کاملاً با هم متفاوتند.



شکل ۶-۱ - نمایش شماتیک مهاجرت اولیه و ثانویه هیدروکربن

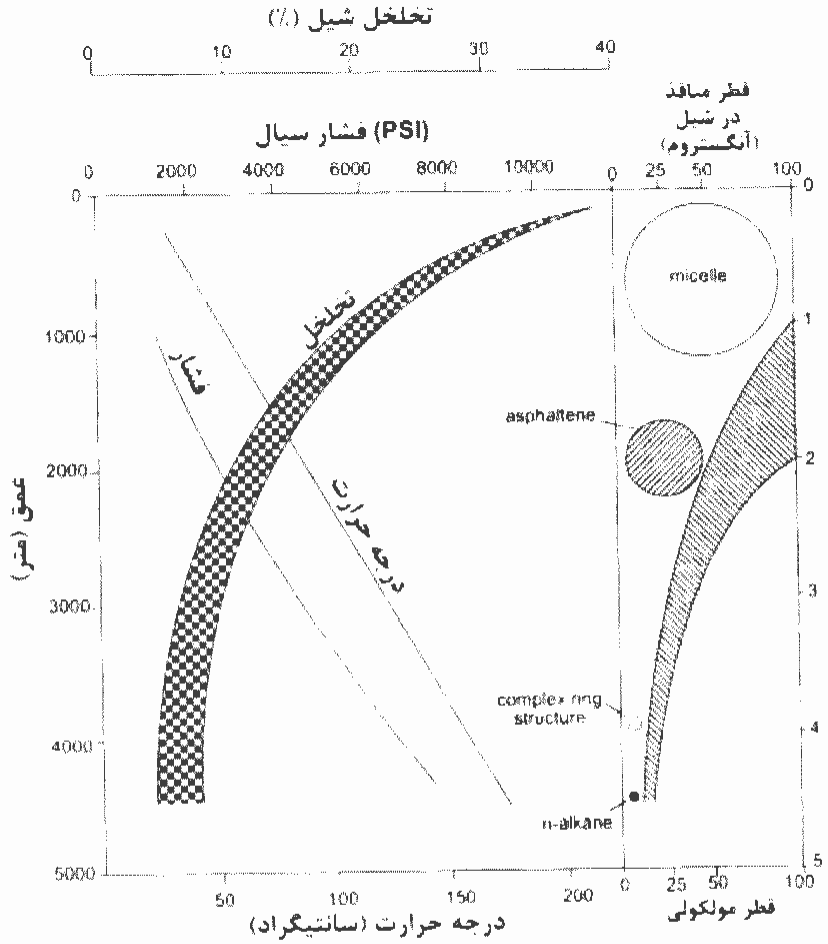
مهاجرت ثانویه می‌تواند در مسافت‌های طولانی انجام شود. دراین نوع مهاجرت حرکت قطرات هیدروکربنی در میان شبکه منفذی پیوسته‌ای که اشباع از آب است صورت می‌گیرد. مهاجرت اولیه احتمالاً به مسافت‌های کمتر از صدها متر محدود می‌شود و درگیر رفتار متقابل

پیچیده‌ای بین نفت، آب منفذی آزاد و سطوح کانی‌های رسی، که در اطراف ساختمان خود آب را نگه می‌دارند، می‌باشد.

۶-۱ مهاجرت اولیه (Primary Migration)

مهاجرت اولیه در حقیقت یکی از ناشناخته‌های زمین‌شناسی نفت به شمار می‌آید، چراکه مکانیسم آن هنوز به خوبی روشن نشده است. کوچک بودن منافذ موجود در سنگ‌های منشأ متراکم شده و عدم قابلیت حلالیت هیدروکربن‌ها در آب، از دلایل مشکل ساختن پدیده مهاجرت اولیه است.

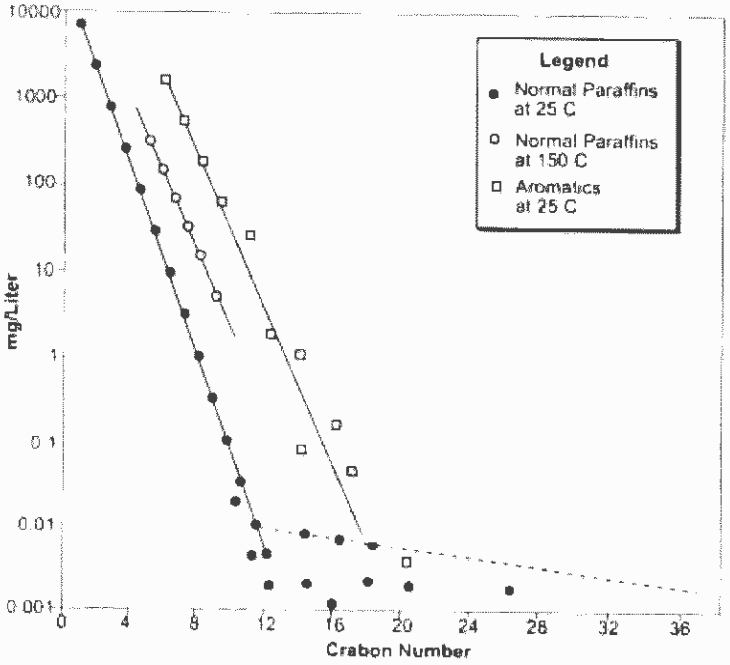
رسوبات دانه‌ریز خیلی سریع متراکم می‌شوند و بنابراین اولین مسأله، اندازه کوچک منافذ در سنگ‌های منشأ است. وقتی‌که شیل‌ها در عمق دو کیلومتری که تقریباً نقطه زایش نفت است، قرار می‌گیرند، قطر منافذ آن‌ها در حدود ۵۰ انگستروم است (شکل ۶-۲). بدیهی است خروج نفت از چنین روزنه‌های کوچکی، کار ساده‌ای نیست.



شکل ۶ ۲ - ارتباط بین پارامترهای فیزیکی مختلف با افزایش عمق تدفین برای رسوبات شیلی

مشکل دیگر قابلیت حلالیت کم هیدروکربن در آب است. بیشتر مدل‌هایی که برای مهاجرت اولیه نفت پیشنهاد شده، شامل فرآیندهایی است که هنگام پر شدن منافذ شیل‌ها توسط آب

رخ می‌دهند. در صورتیکه مولکول‌های هیدروکربنی بتوانند در طول حمل ونقل حل شوند، مشکل ریز بودن منافذ نیز حل خواهد شد. اما همانگونه که در شکل ۶-۳ ملاحظه می‌شود، هیدروکربن‌ها قابلیت حلالیت کمی در آب دارند و این قابلیت انحلال با افزایش اندازه مولکول‌ها حتی سریعترکاهش می‌یابد. میزان حلالیت هیدروکربن با افزایش دما بصورت نمایی افزایش می‌یابد، اما این مسأله در دماهای کمتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد چندان صدق نمی‌کند.



شکل - ۶-۳ - قابلیت انحلال پارافین‌ها و آروماتیک‌ها در آب

مکانیسم‌های متعددی برای غلبه بر مشکلات فوق و انجام مهاجرت اولیه پیشنهاد شده است. کلیه مکانیسم‌های مهاجرت اولیه را می‌توان در دو دسته قرار داد: یک دسته که نیاز به حرکت آب منفذی دارد، نظیر قطرات و حباب‌های هیدروکربن که توسط حرکت آب منفذی مهاجرت می‌کنند. دسته دوم شامل مکانیسم‌هایی است که مستقل از جریان آب منفذی است، نظیر انتشار و حرکت مستقل فاز هیدروکربنی.

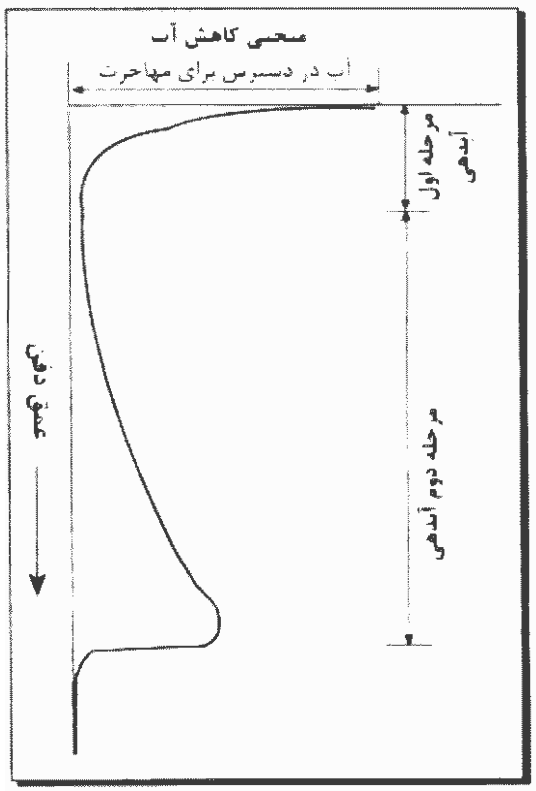
۶-۱-۱ قطرات یا حباب‌های هیدروکربن (Hydrocarbon Globules or Bubbles)

حرکت هیدروکربن به صورت قطره یا حباب از میان خلل و فرج ریز و اشباع از آب سنگ منشأ درگیر پدیده نیروی مویینگی است. تا زمانی‌که اندازه قطرات یا حباب‌های هیدروکربن کوچکتر یا هم اندازه مجاری موجود در سنگ منشأ است، هیچ محدودیتی در حرکت وجود ندارد. ولی اگر اندازه مجاری کوچکتر از قطر قطرات یا حباب‌های هیدروکربن باشد، برای حرکت بایستی بتوان بر نیروی مویینگی غلبه نمود. برای اینکه یک قطره یا حباب از مجرای کوچکتر از خودش عبور نماید، باید تغییر شکل یابد. کشش سطحی بین دو سیال آب و هیدروکربن سبب

ایجاد مقاومت در مقابل این تغییر شکل می‌شود. بطور مثال اگر یک قطره نفت بخواهد از مجرایی به قطر ۱۰۰ آنگستروم عبور نماید به نیرویی بیش از ۲۴۰بار (۲۴۰×۱۰^{۶} dyne/cm^{۲}) نیاز دارد. چنین فشارهایی می‌تواند در اواخر مرحله کاتاژنز و مرحله متاژنز در اعماق زیاد در سنگ منشأ حاصل آید. زایش هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی کم از کروژن سبب افزایش زیاد حجم مولی می‌شود، که سبب ایجاد نقاط یا بسته‌های فشار در سنگ منشأ می‌شود. در عین حال، بخش اعظمی از فضاهای خالی سنگ منشأ توسط آب‌های غیر متحرک که بر روی سطح کانی‌ها چسبیده اند، اشغال شده است. این سبب می‌شود که عملاً فضای کمی برای انبساط هیدروکربن‌های زایش یافته باقی مانده باشد. در این شرایط فشار زیادی حاصل می‌شود که می‌تواند نیروی مورد نیاز بحث شده در بالا را فراهم کند. به طور کلی مشخص شده است که حرکت قطرات نفت در داخل سنگ‌های منشأ فشرده شده، نقش مهمی را در مهاجرت اولیه بازی نمی‌کند.

۶-۱-۲ محلول مولکولی (Molecular Solution)

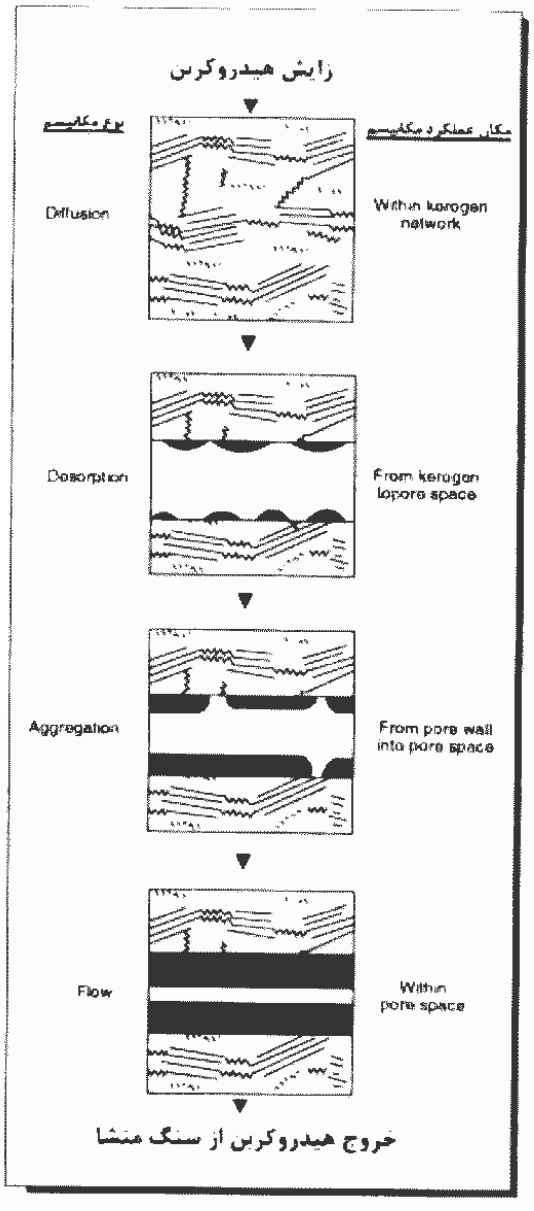
مهاجرت هیدروکربن به صورت محلول مولکولی برای بعضی از آروماتیک‌های سبک مثل بنزن و پارافین‌های گاز طبیعی، مکانیسم مناسبی به نظر می‌رسد. حتی با وجود قابلیت حلالیت کم، در صورتی‌که حجم قابل توجهی آب بتواند از سنگ فشرده و خارج شود، ممکن است مقادیر قابل توجهی از هیدروکربن از سنگ منشأ خارج گردد. اما باید این واقعیت را در نظر گرفت که طی تراکم اولیهٔ رسوبات دانه‌ریز، قبل از ورود به عمق و درجه حرارت پنجره نفت، آب منفذی زیادی از سنگ خارج شده است. بنابراین جابجایی نفت و گاز در سنگ منشأ به وسیله فشار آب نمی‌تواند یک مکانیسم اساسی باشد. با این وجود راه دیگری در خروج نفت و گاز همراه با آب از شیل‌ها وجود دارد. می‌دانیم که مقداری آب در ساختمان کانی‌های رسی وجود دارد. به خصوص اگر که رس از نوع متورم شونده (swelling clay) نظیر اسمکتیت (smectite) باشد. وقتی که شیل‌های غنی از اسمکتیت دفن شوند دو فاز خروج آب از آن‌ها وجود دارد (شکل ۶-۴).



شکل ۶-۴ - منحنی خروج آب (dewatering) از رس‌ها با افزایش عمق تدفین

همان‌طوری‌که شکل ۶-۴ دیده می‌شود، فاز اول وقتی است که آب منفذی در اثر تراکم از سنگ خارج می‌شود و فاز دوم، که کاملاً فاز مجزایی است، وقتی است که اسمکتیت به ایلیت دگرسان می‌شود. این فاز در دمای حدود ۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد آغاز می‌شود. این دما درست در میانه پنجره تولید نفت می‌باشد. ولی این مکانیسم برای بعضی از شیل‌هایی که سنگ منشأاند ولی فاقد رس‌های نوع اسمکتیت می‌باشند، نمی تواند کار ساز باشد.

راه‌هایی وجود دارد که با آن‌ها، قابلیت حلالیت هیدروکربن در آب افزایش می‌یابد، یکی از آنها با تشکیل پروتوپترولیوم (proto-petroleum) است. این مدل پیشنهاد می‌کند که آنچه از سنگ منشأ خارج می‌شود، هیدروکربن‌های نفتی نیستند، بلکه مواد اولیه محلول‌تری مثل الکل‌ها و استون‌ها می‌باشند که تحت عنوان پروتوپترولیوم نامیده می‌شوند. این مواد با سهولت بیشتری نسبت به هیدروکربن به صورت محلول در آب از سنگ منشأ خارج می‌شود. ایراد این مدل در این است که اولاً الکل‌ها و استون‌ها در سنگ‌های منشأ به فراوانی مشاهده نشده‌اند و دیگر اینکه بازگشت این ترکیبات محلول به شکل قطرات مجزای از آب در مخزن مشکل است.



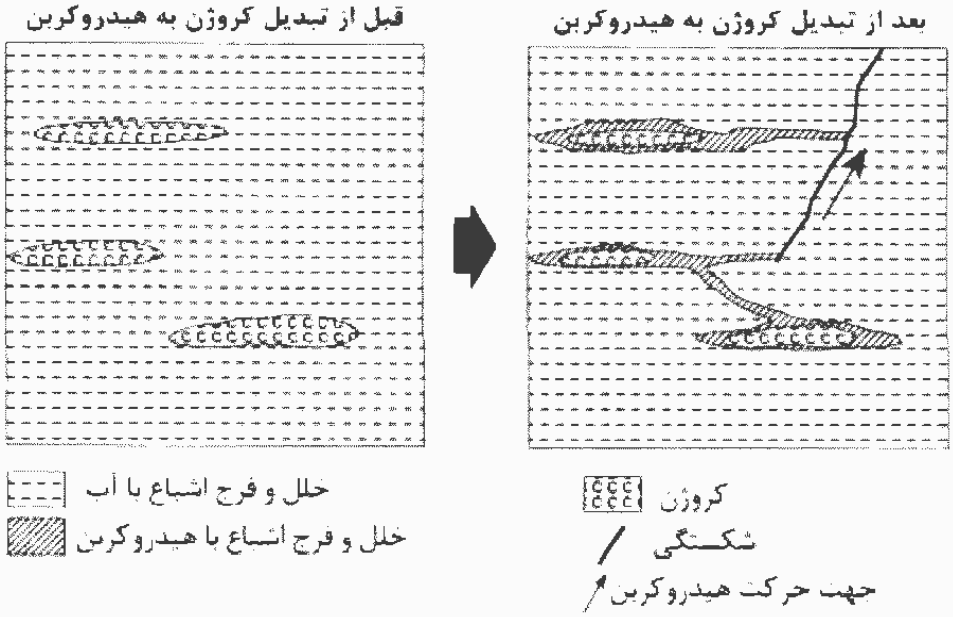
شکل ۶-۵ - مکانیسم حرکت مستقل فاز هیدروکربنی در مهاجرت اولیه

۶-۱-۳ حرکت مستقل فاز هیدروکربنی (Discrete Hydrocarbon Phase Movement)

یکی از مهمترین مکانیسم‌های مهاجرت اولیه، حرکت مستقل فاز هیدروکربنی است. این مکانیسم چنین بیان می‌کند که در ابتدا فاز هیدروکربنی تشکیل شده در کروژن به وسیله پدیده انتشار (diffusion) خود را به منافذ درشت‌تر سنگ منشأ رسانده و شروع به تمرکز می‌نماید. پس از شکل‌گیری قطرات درشت و اتصال آن‌ها به یکدیگر، آن‌ها می‌توانند شروع به حرکت نمایند (شکل ۶-۵).

۶-۱-۴ ایجاد ریز شکستگی در سنگ منشأ

در مکانیسم قطرات یا حباب‌های هیدروکربن بیان شد که زایش هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی کم از کروژن سبب افزایش زیاد حجم مولی می‌شود و در ضمن فضاهای خالی سنگ منشأ از آب‌های غیر متحرک اشغال شده است. این سبب می‌شود که با زایش هیدروکربن فشار زیادی حاصل شود. این فشار ممکن است آنقدر زیاد شود که سبب ایجاد ریز شکستگی‌هایی (micro-fractures) با قطری بزرگتر از قطرمنافذ در شبکه سنگ شود که سبب تسهیل مهاجرت اولیه نفت خواهد شد (شکل ۶-۶).



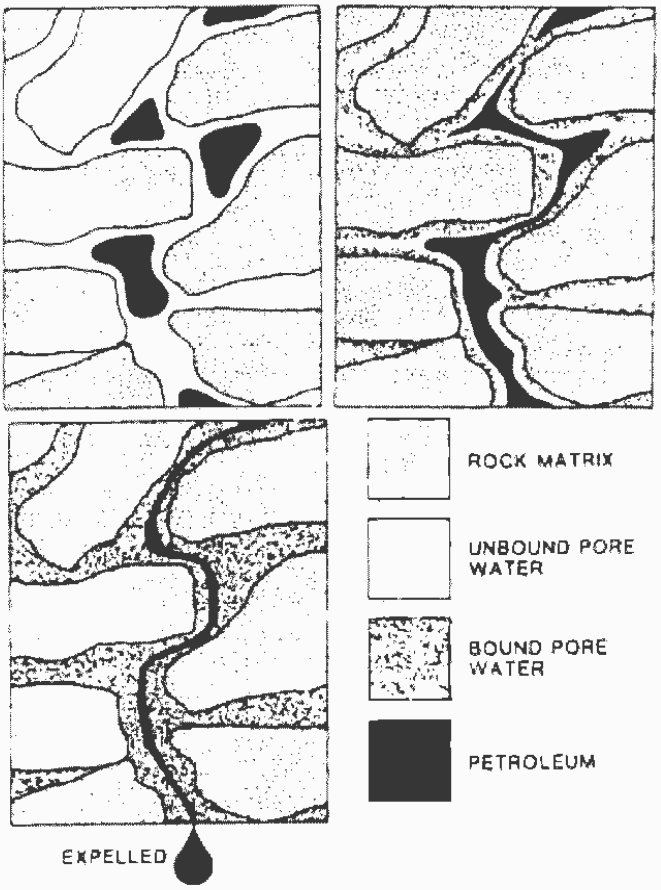
شکل ۶-۶ - توسعه ریزشکستگی در اثر افزایش فشار داخلی در سنگ منشأ

۶-۱-۵ شبکهٔ سه بعدی به هم پیوستهٔ مواد آلی (Continuous Three Dimensional Organic Network)

این مدل بیان می‌کند که مهاجرت اولیه هیدرو کربن‌ها از میان شبکهٔ سه بعدی به هم پیوستهٔ مواد آلی موجود در سنگ منشأ صورت می‌گیرد. در این مدل، چنین پیشنهاد می‌گردد که در طی مهاجرت اولیه، هیدروکربن‌ها از طریق شبکه به هم پیوستهٔ کروژن، بدون اینکه وارد متن سنگ شوند، انتقال می‌یابند. این فرآیند، فقط می‌تواند در شیل‌های سیاه غنی از مواد آلی (organic-rich shales) و برخی سنگ‌های کربناته امکان‌پذیر باشد. بنابراین در شیل‌های با مقدار مواد آلی کم، تصور تشکیل و گسترش چنین شبکه‌هایی و لذا چنین مکانیسم مهاجرتی مشکل است.

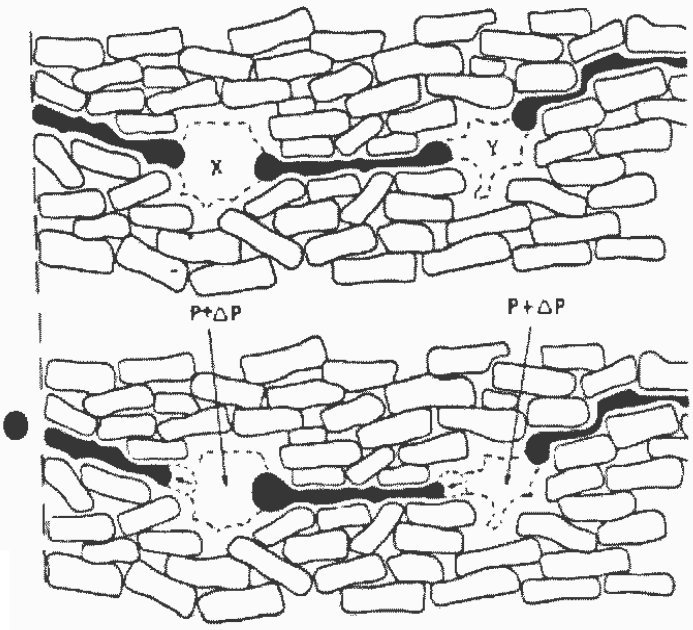
۶-۱-۶ مکانیسم‌های متفرقه

عده‌ای معتقدند که حرکت هیدروکربن‌ها در سنگ منشأ، تابعی از حجم آب غشایی (bound water) است. در صورتی‌که شبکه منفذی سنگ منشأ کاملاً از آب غشایی اشباع شده باشد، پس از تولید هیدروکربن از مواد آلی، هیدروکربن حاصله می‌تواند به راحتی از سنگ خارج شود (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷ - در سنگ منشأهایی که میزان آب چسبیده به دانه‌ها بیشتر باشد، خروج هیدروکربن از مجاری سنگ بهتر می‌تواند صورت گیرد

فشار افزایش حجم آب در اثر افزایش حرارت (aquathermal pressuring) یکی دیگر از مدل‌هاست که شرط لازم برای مهاجرت اولیه هیدروکربن در شبکه منفذی سنگ منشأ را ناشی انبساط حرارتی آب منفذی می‌داند (شکل ۶-۸).

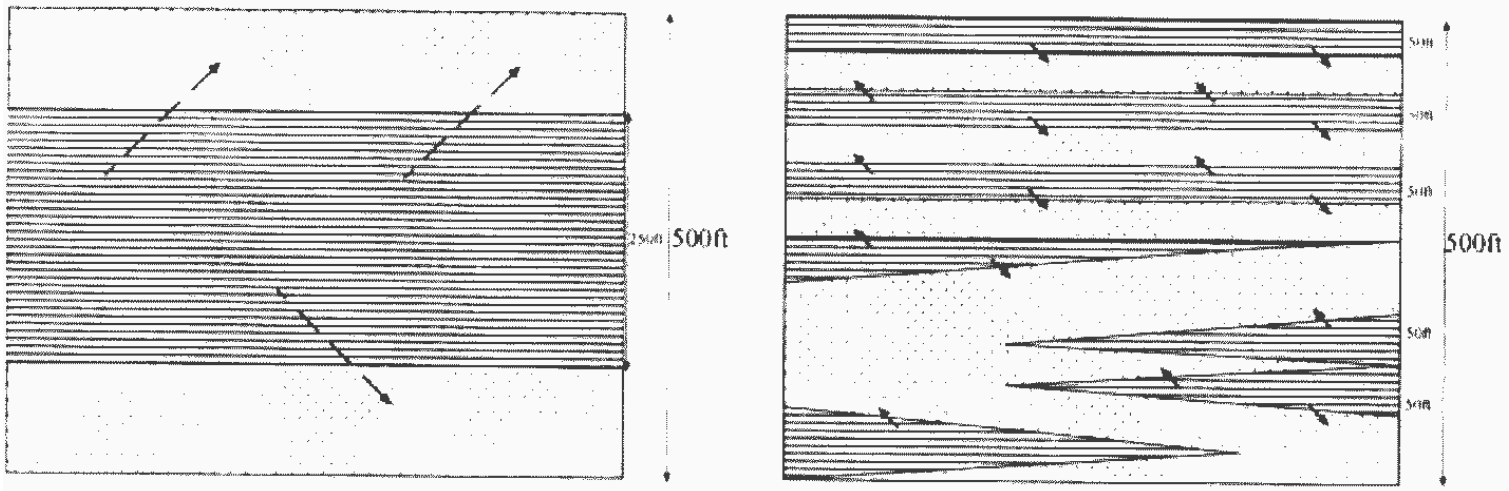


شکل ۶-۸ - مها جرت اولیه هیدروکربن در شبکه منفذی سنگ منشأ در اثر انبساط حرارتی آب منفذی

البته برای مهاجرت نفت و گاز درون سنگ منشأ، نمی‌توان صرفاً یک مدل منفرد ارائه نمود. بطور کلی مهاجرت اولیه، نیاز به عملکرد چندین فرآیند دارد که با یکدیگر و به صورت متوالی عمل کنند. این احتمال وجود دارد که در وضعیت‌های مختلف زمین‌شناسی و حالات مختلف بلوغ مواد آلی، مکانیسم‌های مختلف مهاجرت اولیه را کنترل کنند.

۶-۲ زهکشی سنگ منشأ (Source Rock Drainage)

زهکشی سنگ منشأ، فاکتور دیگری است که مهاجرت اولیه را کنترل می‌کند. زهکشی در واقع توانایی سنگ منشأ در انتقال هیدروکربن تولید شده به لایه‌های سنگ معبر است. حرکت هیدروکربن در امتداد موازی لایه‌بندی سنگ منشأ بیشتر از جهت عمود بر آن است. در مجموع در داخل سنگ منشأ، هیدروکربن‌های سبک‌تر، آسان‌تر از هیدروکربن‌های سنگین‌تر حرکت می‌کنند. به نظر می‌رسد که ظرفیت زهکشی به ضخامت سنگ منشأ نیز بستگی دارد. یک سنگ منشأ همگن ضخیم لایه، میزان هیدروکربن کمتری نسبت به سنگ منشأ نازک‌لایه، با همان ضخامت کل فراهم می‌کند (شکل ۶-۹). برای رسیدن به حداکثر میزان تولید، بلوغ حرارتی بیشتری در یک سنگ منشأ ضخیم لایه لازم است تا نسبت به یک سنگ منشأیی که نازک لایه است. به عبارت دیگر برای تولید مقدار مشخصی نفت در سنگ منشأ ضخیم لایه، نیاز به محتوای TOC زیادتر و میزان بلوغ بیشتری می‌باشد.



شکل ۶-۹ - مهاجرت اولیه در یک سنگ منشأ ضخیم لایه همگن کمتر از یک سنگ منشأ نازک لایه با ضخامت کلی یکسان است

بدیهی به نظر می‌رسد که یک ارتباط مستقیم بین اندازه انباشته نفت و اندازه منطقه زهکشی شده وجود داشته باشد. به عبارت دیگر، هر چه انباشته بزرگتر باشد، نفت بایستی از سطوح بیشتری از سنگ منشأ نشأت گرفته باشد. بطور مثال یک میدان نفتی به قطر سه کیلومتر، باید یک شبکه زهکشی به شعاع ۱۵ کیلومتر را دارا باشد. میدان‌های نفتی عظیم با انباشته‌های عظیم هیدروکربنی بیانگر مسافت‌های طولانی مهاجرت نفت و گاز است.

۳-۶ مهاجرت ثانویه (Secondary Migration)

مکانیسم مهاجرت ثانویه خیلی بهتر از مهاجرت اولیه شناخته شده است. در خلال مهاجرت ثانویه پترولیوم به صورت قطرات نفت، در منافذ سنگ مخزن تراوا حرکت می‌کند. چون قطر منافذ در سنگ مخزن درشت است حتی قطرات نسبتاً درشت نفت نیز قادر به حرکت هستند. فرآیندهای فیزیکی که باعث مهاجرت ثانویه می‌شوند شامل شناوری (buoyancy)، فشار مویینگی (capillary pressure) و نیروهای هیدرودینامیکی (hydrodynamic pressure) است. در اثر پدیده شناوری که ناشی از اختلاف چگالی بین هیدروکربن و آب سازندی است، قطرات نفت در داخل لایه‌های معبر به طرف بالا حرکت می‌کنند. چگالی آب سازندی بین ۱gm/cc - ۱/۲ است، در حالی‌که چگالی نفت بین۰/۷ gm/cc - ۱ بوده و چگالی گاز کمتر از ۰/۰۰۱gm/cc می‌باشد. حرکت به طرف بالای نفت تا زمانی که قطرات به منافذی با قطر کمتر از خود برسند، ادامه می‌یابد. حرکت بیشتر، تنها با تغییر شکل قطرات و فشردگی آن‌ها به داخل منافذ کوچکتر از خود صورت می‌گیرد. نیرویی که برای این حالت لازم است فشار مویینگی نامیده می‌شود. فشار مویینه با کاهش قطر منافذ افزایش می‌یابد، تا زمانی که فشار به اندازه‌ای می‌رسد که نیروی شناوری نمی‌تواند بر آن غلبه کند و در نتیجه قطرات نفت از حرکت بیشتر به سمت بالا متوقف می‌شوند و در واقع به دام می‌افتند.

تعادل بین فشار مویینه و نیروی شناوری در پوش‌سنگ را می‌توان با معادله زیر بیان کرد:

$$2\gamma\left(\frac{1}{r_s} - \frac{1}{r_r}\right) = Z_o \times g \times (\rho_w - \rho_o)$$

سمت چپ این معادله نیروی مویینه و سمت راست آن بیانگر نیروی شناوری است. در این معادله:

γ: کشش سطحی بین دو سیال (dyne/cm)

r_s: اندازه گلوگاه‌های منافذ در پوش‌سنگ (cm)

r_r: اندازه گلوگاه‌های منافذ درسنگ مخزن(cm)

Z_o: ارتفاع ستون نفت(cm)

g: شتاب جاذبه (cm/s^2)

ρ_w:چگالی آب (gm/cc)

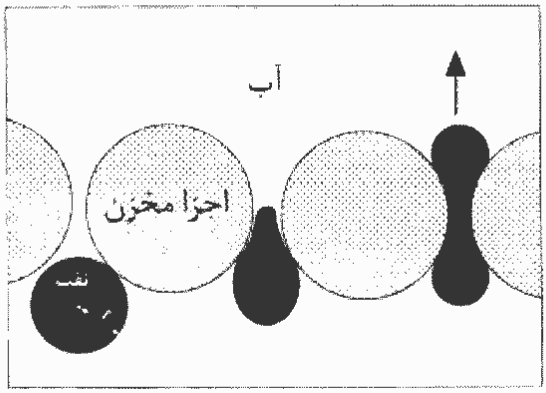
ρ_o:چگالی نفت (gm/cc) است.

فشار درونی قطرات نفت و گاز موجود در مخازن اشباع از آب برابر است با:

$$P_{int} = \frac{2\gamma}{r}$$

که در آن γ کشش سطحی بین دو سیال (dyne/cm) و r شعاع قطره نفت است.

فشار درونی باعث مقاومت قطرات نفت و گاز در برابر تغییر شکل می‌شود. بر طبق معادلهٔ بالا، قطرات کوچکتر فشار داخلی بزرگتری دارند. در مواردی که اندازه گلوگاه‌ها از قطر قطرات بزرگتر باشد، مهاجرت ثانویه به سهولت صورت می‌گیرد. وقتی که اندازه گلوگاه‌ها کوچکتر از قطر قطرات باشد، قطرات نفت می‌بایست برای عبور تغییر شکل یابند (شکل ۶-۱۰).



شکل ۶-۱۰ - چگونگی حرکت یک قطره نفتی از مجاری یک سنگ مخزن اشباع از آب

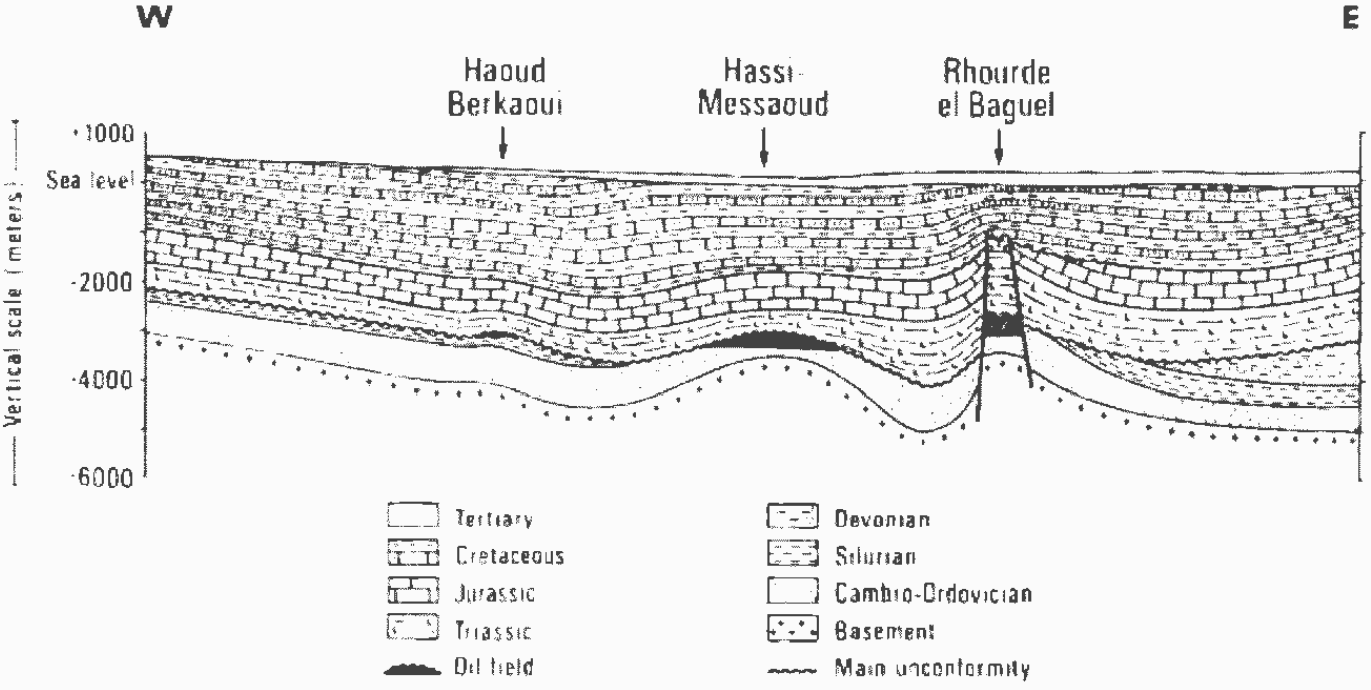
به خاطر وجود فشار داخلی، قطرات نفت و گاز در مقابل تغییر شکل مقاومت نشان می‌دهند. در چنین شرایطی فقط وقتی که نیروی شناوری از فشار داخلی قطرات بیشتر شود مهاجرت ثانویه تداوم می‌یابد. در مواردی که اندازه گلوگاه‌ها بسیار کوچک باشد، به طوری که دیگر نیروی شناوری هم قادر به تغییر شکل قطرات به اندازه کافی برای گذر آن‌ها نباشد، نفت وگاز به تله می‌افتند. این حالت وقتی اتفاق می‌افتد که سنگ مخزن بسیار ریز دانه شود یا به وسیله یک سنگ بسیار ریز دانهٔ ناتراوا پوشیده شود. در چنین حالتی فشار مویینه بیشتر از نیروی شناوری خوا هد شد:

$$2\gamma(1/r_s - 1/r_t) > Z_o \times g \times (\rho_w - \rho_o)$$

گرادیان هیدرودینامیکی ناشی از جریان آب زیرسطحی نیز می‌تواند بر روی مهاجرت ثانویه اثر داشته باشد. گرادیان هیدرودینامیکی بالارونده به حرکت هیدروکربن توسط نیروی شناوری کمک می‌کند. در صورتی‌که گرادیان هیدرودینامیکی رو به پایین مانع حرکت هیدروکربن شده و می‌تواند باعث ایجاد سد هیدرودینامیکی در مقابل مهاجرت شود. در بعضی موارد ممکن است این سدهای هیدرودینامیکی به تنهایی یا به همراه فاکتورهای دیگر تله‌های نفتی را بوجود آورند.

مهاجرت ثانویه عموماً در امتداد لایه‌بندی لایه‌های معبر صورت می‌گیرد و بنابراین مهاجرت جانبی می‌تواند در دامنه وسیعی از مسافت‌ها صورت بگیرد. وقتی که سنگ مخزن به سنگ منشأ نزدیک باشد مهاجرت کوتاه صورت می‌گیرد، مثال آن قرارگرفتن یک ریف بر روی

رسوبات گلی عمیق غنی از مواد آلی می‌باشد. بعضی اوقات مهاجرت درفواصل طولانی هم می‌تواند صورت گیرد. یک نمونه آن میدان Hassi Massaoud در الجزایر می‌باشد (شکل ۶-۱۱). در این میدان نفت در ماسه‌سنگ‌های کامبرین مستقیماً در زیر یک ناپیوستگی ذخیره شده است. ترکیب شیمیایی نفت نشان می‌دهد که این نفت از شیل‌های سیلورین منشأ گرفته است. این شیل‌ها در فاصله ۴۰ کیلومتری از مخزن قرار دارند و بنابراین مهاجرت نفت در امتداد سطوح ناپیوستگی، طی مسیری طولا نی در زمان مزوزوئیک صورت گرفته است.

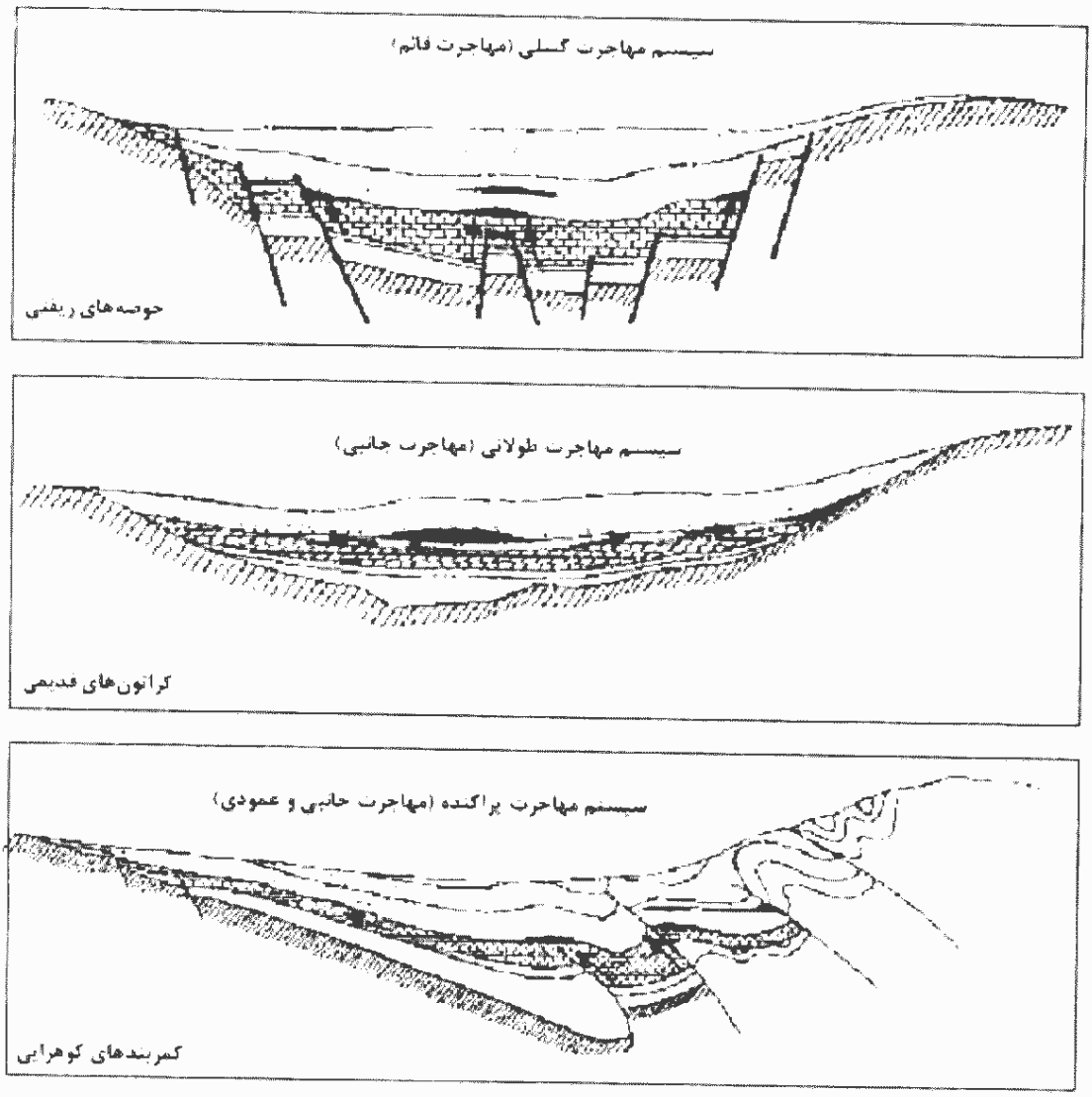


شکل ۶-۱۱ - نیمرخ زمین‌شناسی میدان Hassi Massaoud در الجزایر. در این نیمرخ مخزن کامبرو-اردویسین و سنگ منشأ سیلورین دیده می‌شوند

معمولاً میدان‌های نفتی کوچک، سنگ منشأ محلی و کوچک دارند و مهاجرت در طول مسیر کوتاهی صورت می‌گیرد، اما میدان‌های نفتی بزرگ مثل Hassi Massaoud عموماً به منطقه‌ای با زهکشی وسیع وحجم زیاد سنگ منشأ نیاز دارند.

۶-۴ مسیرهای مهاجرت و نوع حوضه

به طور کلی سه سیستم مهاجرت اصلی در حوضه‌هایی با طرح‌های تکتونیکی مختلف شناخته شده است. این سیستم‌ها عبارتند از: سیستم مهاجرت گسلی (fault migration system) در حوضه‌های ریفتی، سیستم مهاجرت وسیع (long-range migration system) در کراتون‌های قدیمی و سیستم مهاجرت پراکنده (dispersive migration system) در کمربندهای کوهزایی (شکل ۶-۱۲).



شکل ۶-۱۲ - در این شکل سه سیستم اصلی مهاجرت هیدروکربن دیده می‌شود

۶-۴-۱ سیستم مهاجرت گسلی (Fault Migration System)

سیستم مهاجرت گسلی بیشتر در ریفت‌های قاره‌ای (قسمت‌های در حال کشش حوضه و حوضه‌های پشت کمان) دیده می‌شود. فرونشست شدید و جریان گرمایی زیاد، باعث نهشته شدن سریع و بلوغ سنگ‌های منشأ می‌شود. نفت عمدتاً در جهت عمودی و درطول شبکه حاصل از عمل گسل حرکت می‌کند. ظهور شکستگی‌های تراوا در سنگ‌های منشأ انتقال عمودی نفت را تقویت می‌کند و همچنین باعث نشت آن می‌گردد. گسل‌های بسته باعث متوقف شدن مهاجرت می‌شود.

۶-۴-۲ سیستم مهاجرت طولانی (Long-Range Migration System)

این سیستم مهاجرت بیشتر در حوضه‌های کراتونی قدیمی یافت می‌شود. این حوضه‌ها در طول دوره‌های زمین‌شناس پایدار و دارای فرونشست کم و جریان گرمایی کم بوده‌اند. تعداد لایه‌های سنگ منشأ خیلی محدود بوده و اغلب به یک واحد استراتیگرافی محدود می‌شود. توانایی زایش

نفت را اغلب فقط مرکز حوضه دارد و این در حالی است که نفتگیرها در لبه‌های حوضه قرار دارند. در این حوضه‌ها وجود تناوب لایه‌های هم شیب، مسیرهای مهاجرت اولیهٔ کوتاه و عمودی را همراه با مهاجرت طولانی جانبی (ثانویه) به وجود می‌آورند. مسیرهای طولانی، مناطق زهکشی شده وسیع ایجاد می‌کنند. اما از دست دادن مقدار زیادی از نفت به صورت نفت باقیمانده در ماسه‌های قیر (tar sands) از ویژگی‌های این نوع سیستم‌های مهاجرت است.

۶-۴-۳ سیستم مهاجرت پراکنده (Dispersive Migration System)

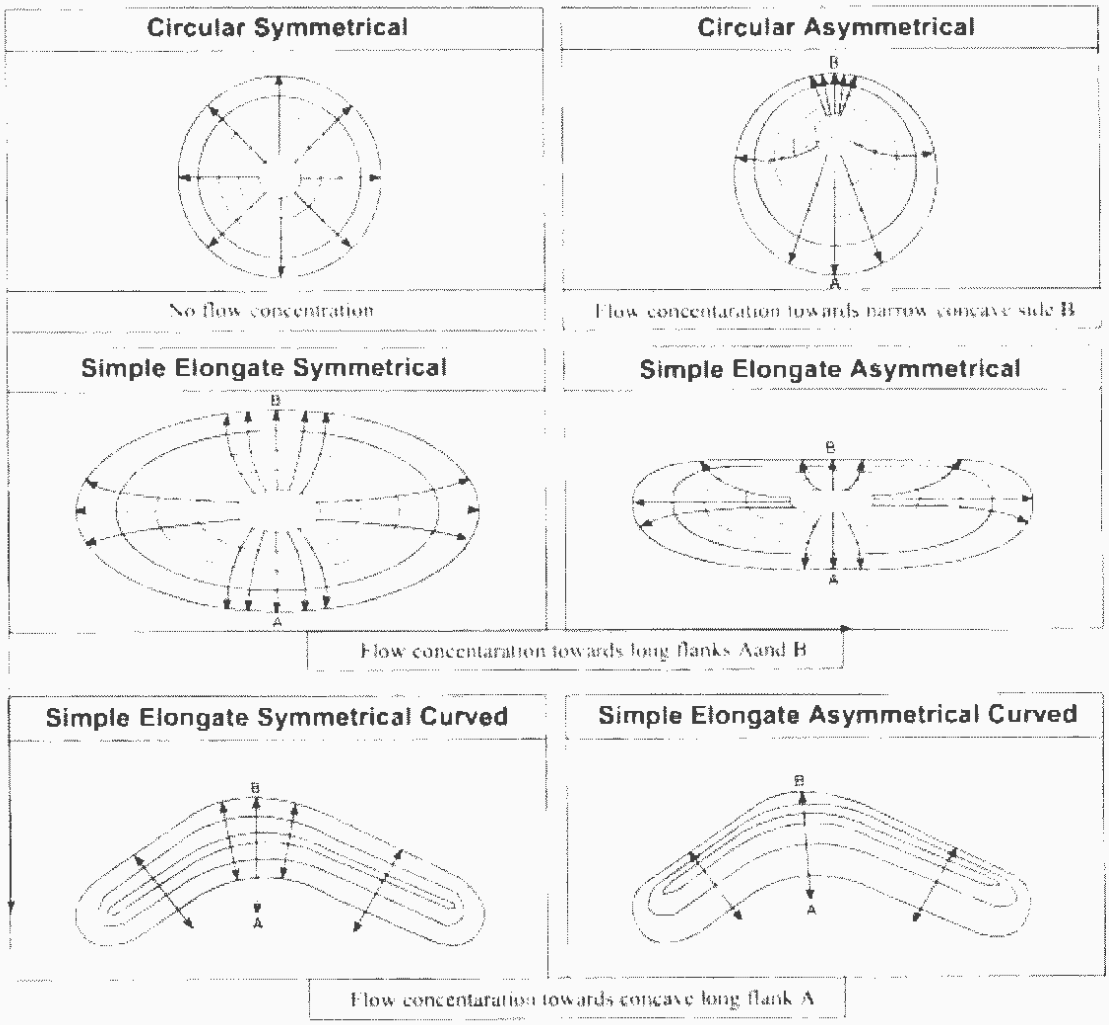
این سیستم مهاجرت در مناطقی که تحت یک کوهزایی فعال قرار دارد، دیده می‌شود. پراکندگی گسترده مخازن نفت و گاز در حوضه رسوبی نتیجه همین سیستم است. در کمربندهای کوهزایی با وجود دگرشکلی زیاد، اغلب شیب زمین‌گرمایی کم است. این سیستم برای مهاجرت طولانی مناسب نیست و مسیرهای مهاجرت به صورت جانبی و عمودی و کم مسافت است. میزان پراکندگی سیستم بستگی به تکتونیک،گسل‌ها و چین‌های حاصله در واحد سطح و هتروژنی رسوبات دارد.

۶-۵ مسیرهای مهاجرت (Migration Pathways)

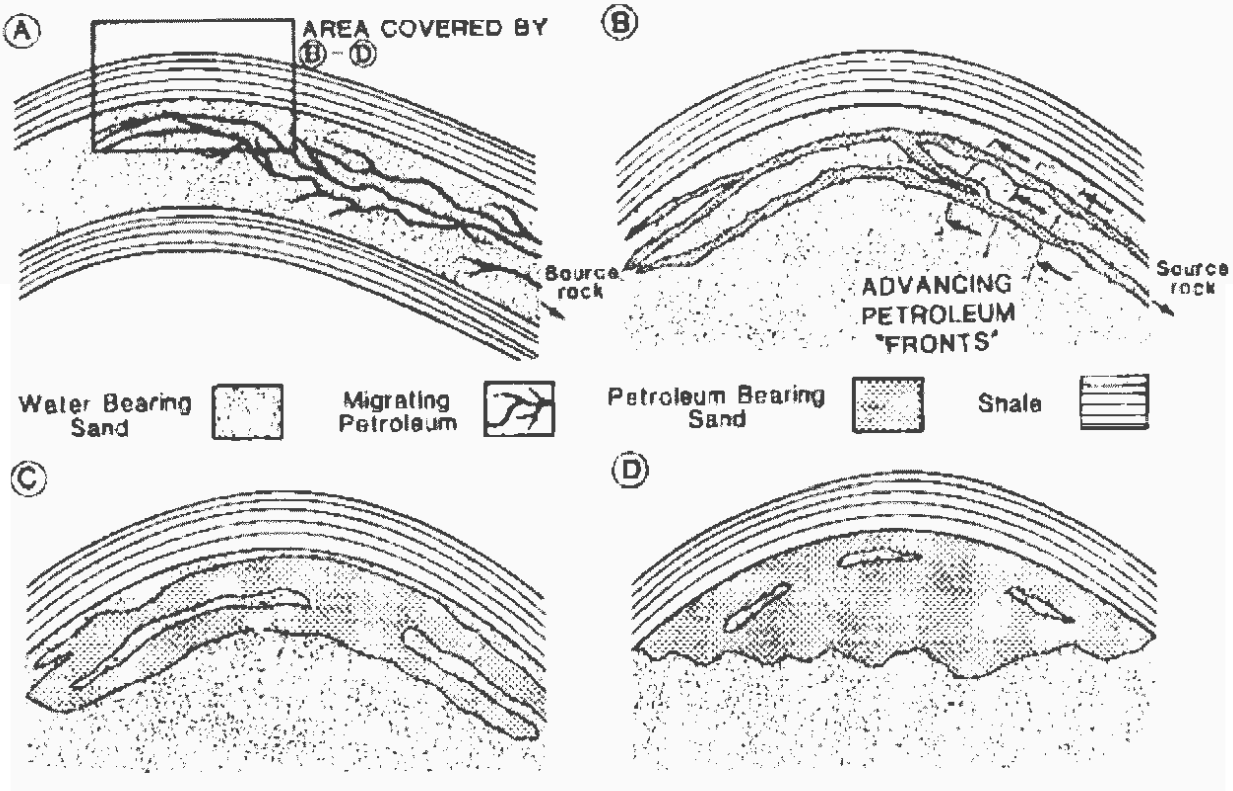
مسیرهای مهاجرت، راه‌هایی است که هیدروکربن به طرف محل تجمع خود حرکت می‌کند. مسیر مهاجرت در حوضه‌های رسوبی مختلف به شکل‌های متفاوتی است (شکل ۶-۱۳). همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود مسیرهای مهاجرت می‌تواند به شکل‌های تقارن دایره‌ای تا منحنی‌های نامتقارن کشیده، متغیر باشد.

۶-۶ نحوه پر شدن مخازن از هیدروکربن

پر شدن یک مخزن اشباع از آب توسط نفت فرآیندی تدریجی است (شکل ۶-۱۴). در طی این فرآیند نفت به صورت پیشرونده‌ای جایگزین آب منفذی می‌شود. عقیده بر این است که نفت مهاجرت کرده، فقط درسیستم‌های منفذی بزرگتر لایه‌های معبرکه فشارهای مویینه پایین‌تری دارند جای می‌گیرد. در حالی که تجمع نفت بیشتر و بیشتر می‌شود نیروی شناوری افزایش یافته و به تدریج بخش‌های دیگرمخزن از نفت پر خواهد شد (شکل ۶-۱۴).



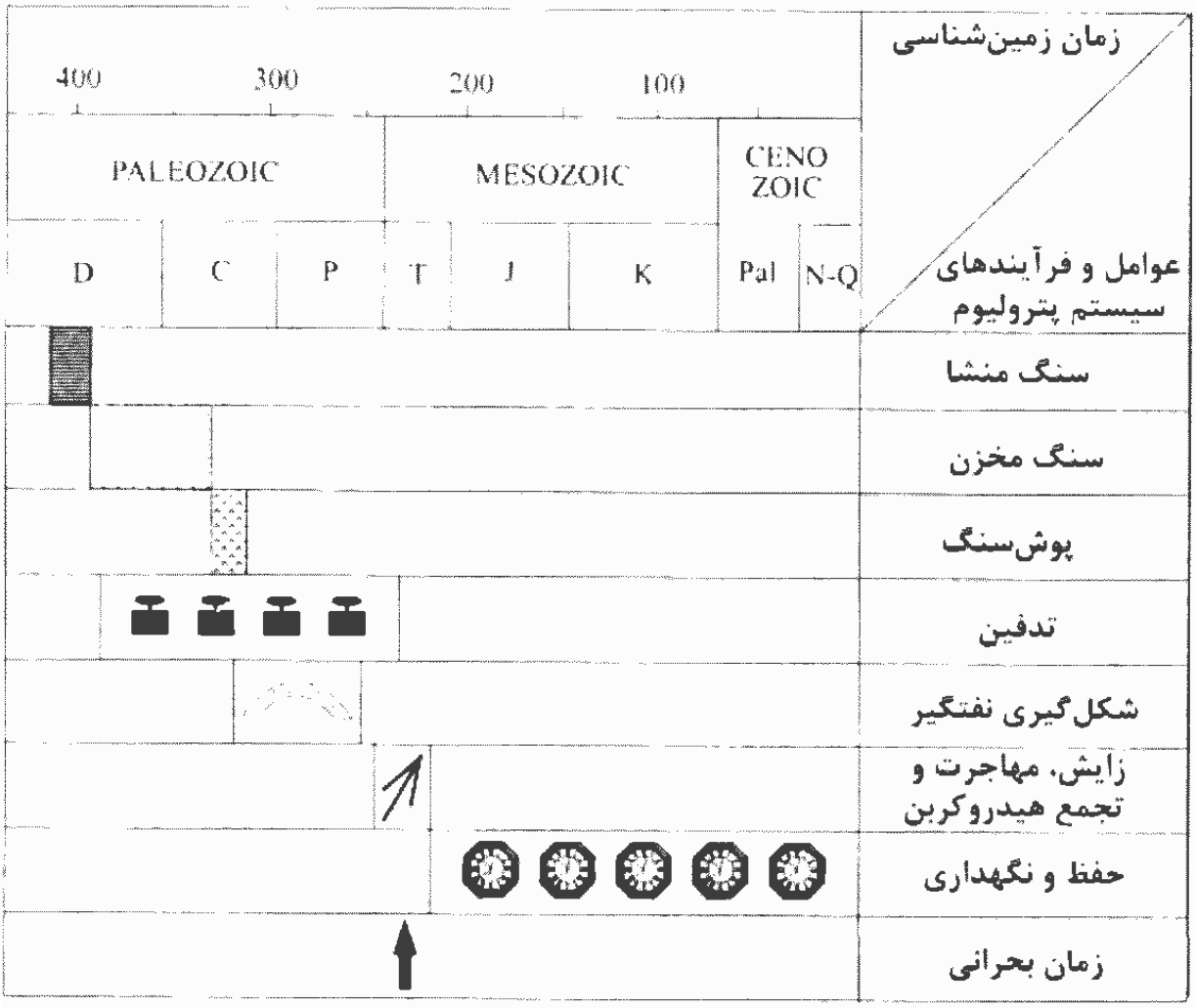
شکل ۶-۱۳ - الگوی مسیر مهاجرت منطبق بر شکل هندسی حوضه‌های رسوبی است



شکل ۶-۱۴ - دیاگرام شماتیک که در آن توالی پر شدن مخزن نشان داده شده است

۶-۷ اهمیت توالی فرآیندها در تجمع اقتصادی هیدروکربن

عموماً برای تجمع اقتصادی نفت چندین عامل و فرآیند مهم لازم است که بایستی در یک توالی به خصوص رخ دهند (شکل ۶-۱۵). هر انحرافی از این توالی مانع تجمع نفت خواهد شد. در شکل ۶-۱۵ زمان بحرانی (critical moment) در یک سیستم پترولیوم برای تجمع هیدروکربن نشان داده شده است. زمان بحرانی، مبین این است که زایش و مهاجرت نفت قطعاً بایستی بعد از تشکیل نفتگیر باشد، در غیر این‌صورت، نفت حاصله ممکن است در سطح وسیع پخش و به هدر رود.



شکل ۶-۱۵ - توالی فرآیندهای لازم برای انباشت اقتصادی هیدروکربن