۱۷- هیدروکربن‌ها در حوضه‌های رسوبی

بیش از ۶۰۰ حوضه رسوبی در جهان وجود دارد که حدود ۲۵ درصد آن‌ها امروزه تولیدکنندهٔ هیدروکربن هستند. در این بخش از کتاب حوضه‌های رسوبی در رابطه با تولید نفت و گاز مورد بحث قرار می‌گیرند و مفاهیم پایه، مکانیسم‌های تشکیل حوضه و طبقه‌بندی انواع مختلف حوضه‌های رسوبی بحث خواهد شد.

۱۷-۱ مفاهیم اساسی

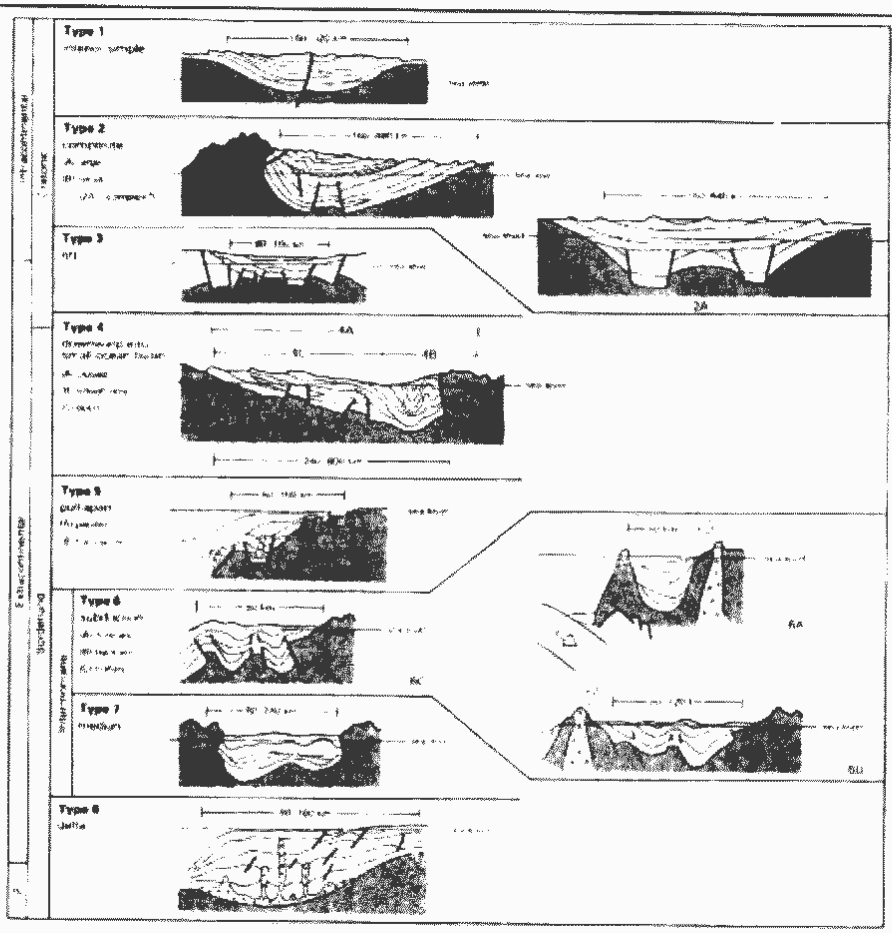
لایه‌های رسوبی سطح زمین بر روی یک کمپلکس ضخیم از سنگ‌های آذرین و دگرگونی که درنواحی قاره‌ای به آن‌ها پی‌سنگ (basement) گفته می‌شود، قرار دارند. یک حوضه رسوبی، یک فرورفتگی (depression) در سطح پی‌سنگ است که با فرونشست (subsidence) ایجاد می‌شود. فرونشست یک حوضه به وسیله رفتار پوسته، سردشدگی لیتوسفر، جریان‌های استنوسفری و چگال‌شدگی پوسته دراثر تغییر فاز، رخ می‌دهد. زمین‌شناسان معمولاً مفهوم حوضه را برای خود فرورفتگی و رسوبات پر کننده آن به کار می‌برند. یک حوضه اغلب در طول زمان تغییر می‌کند و چندین مرحله مشخص را طی می‌کند. یک حوضه ممکن است در طی تکامل خود به نوع دیگر تبدیل شود.

چهار فاکتور مهم در یک حوضه رسوبی عبارتند از:

- شکل هندسی حوضه
- ماهیت رسوبات پرکننده
- نوع و سبک تکتونیک
- مکانیسم تشکیل حوضه

این چهار فاکتور کاملاً وابسته و مرتبط به یکدیگر هستند.

در رابطه با شکل هندسی، حوضه از نظر اندازه و شکل تغییرات زیادی می‌کند. در روی نقشه، برخی از حوضه‌ها دایره‌ای یا بیضوی و برخی دیگر راست گوشه و تراف مانند به نظر می‌رسند. در نیمرخ، یک حوضه می‌تواند متقارن یا نامتقارن باشد (شکل ۱۷-۱).



شکل ۱۷-۱ - نیمرخ حوضه‌های رسوبی مختلف

حوضه می‌تواند از طریق رسوبات پرکننده‌اش نیز توصیف شود. حوضه‌ها می‌توانند از رسوبات قاره‌ای، کم‌عمق دریایی و دریایی عمیق پر شوند که بستگی به ارتفاع حوضه و اثر متقابل بین نرخ رسوبگذاری و فرونشست دارد. در بیشتر حوضه‌های رسوبی، فرونشست و رسوبگذاری تقریباً هم‌زمان رخ می‌دهند. اگر رسوبگذاری و فرونشست یکسان با هم رخ دهند هیچ‌گونه جای خالی بدون پر شدگی باقی نخواهد ماند و حوضه با رسوبات آب‌های کم‌عمق پر خواهد شد. در حالت دیگر، یک فرونشست اصلی می‌تواند یک فضای خالی عمیق به وجود آورد که بعدها به مرور توسط رسوبات پر شود. چنین حالتی معمولاً با یک فرونشست ایزوستازی ثانویه در نتیجهٔ وزن رسوبات همراه است. حوضه‌هایی که به دور از منشأ تخریبی رسوبات هستند و یا توسط سدهای توپوگرافیکی از منشأ تخریبی جدا شده‌اند، ممکن است از رسوبات کربناته یا تبخیری، بسته به شرایط آب و هوای دیرینه، پر شوند. آن‌ها همچنین ممکن است حوضه‌هایی را شامل شوند که بیشتر با آب پر شده‌اند و مقدار رسوب خیلی کمی دریافت می‌کنند (starved basin).

وجه مهم دیگر در حوضه‌های رسوبی، ماهیت فرآیندهای تکتونیکی آن‌هاست. انواع چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی که در حوضه گسترش می‌یابد تا حدودی به مکانیسم‌های تغییر شکل دهنده و رسوبات وابسته است. تغییرشکل‌های فشارشی عموماً چین‌خوردگی و گسل‌های

تراستی بوجود می‌آورند و کشش‌ها موجب گسل‌های نرمال و گسلش قطعه‌ای (block faulting) می‌شوند.

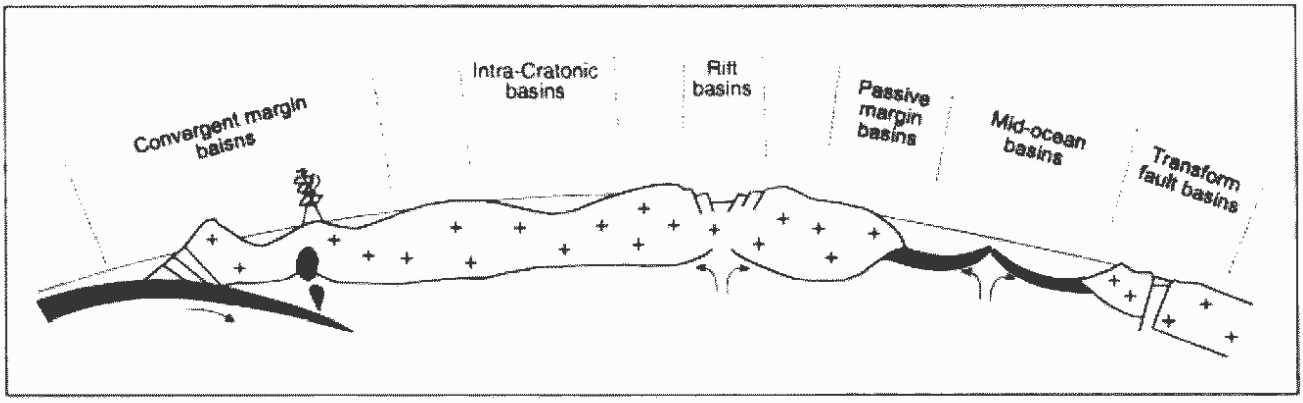
در مطالعه زایش، مهاجرت و تجمع هیدروکربن، تعیین زمان رشد ساختمانی (structural growth) خیلی مهم است. تجمع هیدروکربن اغلب با تغییر شکل ساختمانی فعال، که در طول رسوبگذاری منجر به تغییرات سریع رخساره‌های رسوبی و ضخامت آن‌ها شده میسر می‌شود. شیل‌های غنی از مواد آلی در محیط‌های عمیق و مناطق با تغییرات ساختمانی کم نهشته می‌شوند، در حالیکه رخساره‌های مخزنی دانه درشت‌تر و تله‌های نفتی معمولاً در مناطقی با تغییرات ساختمانی زیاد گسترش می‌یابند. ناپیوستگی‌ها و گسل‌ها اغلب به فرایندهای مهاجرت کمک می‌کنند. همچنین تغییر شکل‌های ساختمانی که در مراحل پایانی رسوبگذاری حوضه رخ‌می‌دهند، می‌توانند به زایش نفت کمک‌کنند، زیرا اغلب با جریان حرارتی تقریباً بالایی همراه هستند. نفت تولید شده بعدها به تله‌های ساختمانی مهاجرت خواهد کرد. با وجود این، ساختمان‌هایی که بعد از توقف زایش و مهاجرت هیدروکربن تشکیل شوند، ممکن است تهی بمانند. اگر گسترش حوضه هم‌زمان با تکتونیک شدید باشد، می‌تواند آثار زیانباری را به وجود آورد. اگر تغییرشکل، سنگ مخزن را به بالا بیاورد، نفوذ آب‌های زیرزمینی باعث تجزیه و از بین رفتن نفت و گاز می‌شود. در مقابل، جریان حرارتی زیاد و تدفین تکتونیکی عمیق سنگ مخزن می‌تواند باعث دگرگونی و بلوغ بیش از حد (overmature) هیدروکربن شود.

۲-۱۷ مکانیسم‌های تشکیل حوضه (Basin Forming Mechanisms)

در اینجا مکانیسم‌های تشکیل حوضه را با کمک تئوری تکتونیک صفحه‌ای (plate tectonic) شرح می‌دهیم.

محل قرارگیری یک حوضه در روی صفحات زمین (plates) اساس این طبقه‌بندی را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۷-۲). بیرونی‌ترین بخش زمین را که لایه سختی است، لیتوسفر (lithosphere) می‌نامند که پوسته و بالاترین قسمت جبه را در بر می‌گیرد. فرورفتگی‌های توپوگرافیکی (topographic lows) در سطح زمین، جایی که پوسته نازک بوده و از سنگ‌های چگال بازالتی تشکیل شده، به وجود می‌آیند. آب اقیانوس‌ها این فرورفتگی‌های توپوگرافیکی را پر می‌کنند و بر همین اساس پوسته چگال بازالتی را پوسته اقیانوسی می‌گویند. از طرف دیگر، پوسته قاره‌ای ضخیم که از سنگ‌های گرانیتی سبک تشکیل شده، نسبت به پوسته اقیانوسی در ارتفاع بیشتری قرار گرفته است. در زیر لیتوسفر سخت، یک لایه با ویسکوزیته کمتر که

استنوسفر نامیده می‌شود وجود دارد. حرکت استنوسفر (asthenosphere) باعث می‌شود که لیتوسفر به صفحات جدا از هم، شکسته شود و به آهستگی در سطح زمین حرکت کند. داخل صفحات نسبتاً آرام و ثابت است، اما کناره‌های آن‌ها از نظر تکتونیکی به شدت فعال می‌باشد. صفحات در رشته‌های میان اقیانوسی (mid-ocean ridges) جایی که بازالت از جبه به طرف بالا می‌آید و پوسته اقیانوسی جدید را می‌سازد، از هم جدا می‌شوند. این واگرایی باعث گسترش جانبی کف دریا می‌شود. نیروهای وارده در این منطقه اساساً کششی هستند.



شکل ۱۷-۲ - نقش تکتونیک صفحه‌ای در شکل‌گیری حوضه‌های رسوبی

در قاره‌ها، جریان‌های همرفتی در استنوسفر ساخت‌های گنبدی شکلی را در پوسته ایجاد می‌کنند. وقتی نیروها خیلی زیاد می‌شوند، این برآمدگی به‌صورت شعاعی، که معمولاً سه شاخه است، شکسته شده و ریفت‌ها (rifts) را ایجاد می‌کند. چنانچه جدایش صفحات رخ دهد، فقط دو شاخهٔ ریفت به طور فعال به جدایش خود ادامه می‌دهند تا یک حوضهٔ اقیانوسی بسازند. شاخه سوم از بازشدگی می‌ایستد و یک ریفت عقیم (failed rift) را ایجاد می‌کند. به طور مثال، دریای سرخ یک حوضه اقیانوسی اولیه می‌باشد که عملکرد دو شاخه ریفت در منطقه باعث شده است که افریقا از عربستان جدا شود. درهٔ شرق افریقا شاخه سوم ریفت می‌باشد که بی‌حرکت باقی‌مانده است. با ادامه گسترش کف دریا، پوسته اقیانوسی جدید تنها به زون محوری اضافه می‌شود، جایی که تیغه میان اقیانوسی شکل می‌گیرد.

جایی که صفحات به هم می‌رسند، نیروهای اصلی از نوع فشارشی هستند. در زون فرورانش (subduction zone) لبه سنگین یک صفحه به زیر صفحه دیگر می‌رود، به طوری که به داخل گوشته کشیده شده و از بین می‌رود. جزایر کمانی (island arc) توسط ولکانیسم و مخلوط شدگی پوسته اقیانوسی و قاره‌ای نزدیک زون فرورانش ایجاد شده و حوضه‌های کوچکی در مجاور آن‌ها تشکیل می‌شوند. فرورانش بیشتر شامل پوسته اقیانوسی می‌شود، زیرا که پوسته قاره‌ای سبکتر بوده و در بالا باقی می‌ماند. یک قاره در لبهٔ خود می‌تواند فشرده شده و رشته کوه‌های ساحلی مثل آند را بوجود آورد.

وقتی پوسته اقیانوسی که دو قاره را از هم جدا کرده، شروع به از بین رفتن می‌کند، قاره‌ها به هم نزدیک می‌شوند و در انتها به هم برخورد می‌کنند (collosion). در این حالت حوضه‌های کوچکی در مجاور بالاآمدگی کوه‌ها شکل می‌گیرند.

در بعضی از مرزهای صفحات همگرا، پوسته از بین نمی‌رود. به عنوان مثال در طول ساحل غربی آمریکا، دو صفحه در کنار یکدیگر در طول گسل‌های تراگذر(transcurrent) می‌لغزند. حوضه‌های کوچکی می‌توانند در کنار چنین گسل‌های مرکبی تشکیل شوند، مثل حوضه کالیفرنیا درمجاورت گسل سن آندریاس.

۱۷-۳ طبقه‌بندی حوضه‌ها (Basin Classification)

در طول چند ساله اخیر، طبقه‌بندی های مختلفی ارائه شده است. برای صنعت نفت، به یک طبقه‌بندی نیاز داریم که نقش حوضه‌های رسوبی را به عنوان ذخیره‌کننده نفت و گاز در نظر بگیرد. بیش از یک سوم حوضه‌های جهانی می‌توانند به عنوان حوضه‌های ناشناخته (frontier basin)، در رابطه با اکتشاف هیدروکربن، در نظر گرفته شوند. می‌توان راهی برای دسته‌بندی حوضه‌هایی که دارای خصوصیات یکسان نفت و گاز هستند، پیدا کرد و سپس این داده‌ها را به حوضه‌های مشابهی که چشم‌انداز نفتی شناخته شده‌ای ندارند تعمیم داد.

در این بخش، از نظرات Wopf و Klemme برای طبقه‌بندی حوضه‌های رسوبی استفاده شده است. دو نوع حوضه مربوط به صفحات قاره‌ای پایدار (stable continental plates) هستند، دو نوع دیگر در محل واگرایی صفحات (plate divergent) گسترش می‌یابند و چهار نوع آخر به همگرایی صفحات (plate convergent) مربوط‌اند.

۱۷-۳-۱ حوضه‌های مرتبط با صفحات قاره‌ای پایدار

دو نوع حوضه وجود دارد که در داخل صفحات امروزی پوسته قاره‌ای پایدار یا کراتون (craton) قرار گرفته‌اند.

۱۷-۳-۱-۱ حوضه‌های داخلی یا درون‌کراتونی (Interior or Intra-Cratonic Basins)

اولین نوع حوضه کراتونی فقط در بخش مرکزی یک قاره شکل می‌گیرد، به همین جهت حوضه‌های درون‌کراتونی داخلی نامیده می‌شوند. بعضی از زمین‌شناسان به آن‌ها حوضه‌های فرونشسته (sag basin) می‌گویند، زیرا آن‌ها به شکل یک فرونشست ساده یا گودافتادگی درپی‌سنگ زیرین بوجود می‌آیند. هیچ‌گونه سرزمین مرتفعی در مجاورت آن‌ها وجود ندارد. در روی نقشه، آن‌ها ظاهری دایره‌ای یا بیضوی شکل دارند که در مقطع عرضی شبیه بشقاب به

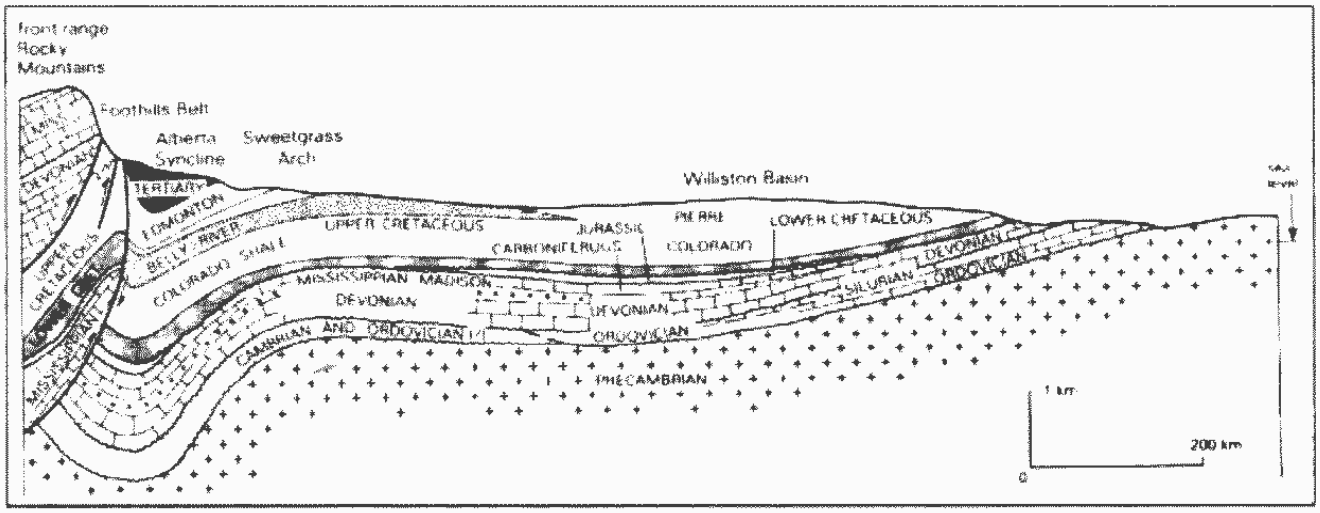
نظر می‌رسد بـه طوری‌کـه متقـارن، کم‌عمـق و تـا حـدودی مسـطح و پـهن می‌باشـند. منشـأ حوضه‌های داخلی هنـوز ناشـناخته اسـت. بسـیاری از آن‌هـا دارای بلوک‌هـای گسـله شـده در پی‌سنگ و پوسته نازک شده می‌باشند، بنابراین فرآیندهای عمدتاً کششـی، عـامل شـکل‌گیـری آن‌ها بوده است. بعضی از بزرگترین حوضه‌های رسوبی جهان، متعلق بـه ایـن گروه هسـتند. بـه عنـوان مثـال حوضـه ویلیسـتون (Williston Basin) در امریکـای مرکـزی و حوضـه پـاریس (Paris Basin) در فرانسه. حوضه ویلیستون یک نمونه خـوب از ایـن نـوع اسـت. ایـن حوضـه قطری در حدود ۴۰۰ کیلومتر دارد و بـا ۴/۵ کیلومـتر از رسـوبات پـر شـده اسـت. سـنگ‌های پالئوزوئیک غالباً کربنات‌های دریایی کم‌عمق بـا مقدارکمـتری ماسه‌سـنگ و شـیل هسـتند. در پالئوزوئیک پسین، حوضه به وسیله ریف‌های سدی محصور شده و تبخیری‌هـا نهشـته شـده‌اند (شکل ۱۷-۳). کمترین میزان پیشروی دریا در پالئوزوئیک و بیشترین پیشروی در کرتاسـه رخ داده است. رسوبات سنوزوئیک و مزوزوئیک غالباً لایه‌های قرمـز قـاره‌ای و ماسـه‌های آبرفتی‌انـد. نفت و گاز حوضه ویلیستون از میدان‌های کوچک تولیـد می‌شـود. بیشـترین تولیـد مربـوط بـه کربنات‌های کربونیفر است، اما حداقل سیزده سازند ماسه‌سنگی و کربنـاتی در محـدوده زمـانی کامبرین تا کرتاسه دارای نفت و گاز هستند.

توالی رسوبی و خصوصیات هیدروکربن کشف شـده در حوضـه ویلیسـتون، شـاخص بسـیاری از حوضه‌های داخل کراتونی است:

- آن‌ها فقط یک سیکل از پرشدگی حوضه را نشان می‌دهند که معمولاً شـامل رسـوبات دریایی کم‌عمق و نهشته‌های قاره‌ای یا مخلوطی از هر دو است.
- در بسـیاری از حوضـه‌های پـالئوزوئیک کـه در انتـهای دوره پـالئوزوئیک در آن‌هـا رسوبگذاری صورت نگرفتـه یـا بیشـتر رسـوبات غیردریـایی دریـافت کرده‌انـد، بـالاآمدگی پی‌سنگ باعث تشکیل تله‌ها در مخازن ماسه‌سنگی یا کربناتی شده، در حـالی کـه تلـه‌های چینه‌ای و مرکب در طول حاشیه‌ها بوجودآمده است.
- از آنجایی که این حوضه‌ها دور از مرز صفحات تشکیل شده‌اند، شیب زمین‌گرمایی‌شـان پایین‌تر از حد معمول است، در نتیجه زمان باید نقش مهمی در بلـوغ هیدروکربـن داشـته باشد، بخصوص اینکه بسیاری از حوضه‌های داخلی هرگز به طور عمیق دفن نشده‌اند.

بیشترین ریسک، در تعیین اینکه یک حوضه داخلی دارای هیدروکربن است یا خیر عبارتند از:

- عدم حضور تله‌های کافی و مناسب
- عدم گسترش شیل‌های مناسب به عنوان سنگ منشأ و پوش‌سنگ



شکل ۱۷- ۳ - نیمرخ غربی- شرقی حوضه ویلیستون در غرب کانادا

۱۷-۳-۱-۲ حوضه‌های حاشیهٔ کراتونی یا حوضه‌های فورلند (Foreland Basins)

دومین نوع حوضه که به کراتون پایدار مربوط است، بیشتر به طرف حواشی قاره گسترش می‌یابد. بنابراین آن‌ها را حوضه حاشیهٔ کراتون یا حوضه فورلند می‌نامند. این حوضه‌ها همچنین گاهی اوقات حوضه‌های مرکب نامیده می‌شوند، زیرا در طی دو مرحله تکامل می‌یابند.

در حوضه‌های فورلند، اولین سیکل رسوبی معمولاً به وسیله بالاآمدگی، در طول پالئوزوئیک یا مزوزوئیک متوقف شده است. سپس دومین سیکل از جهت دیگر شروع شده است. یک ناپیوستگی ناحیه‌ای، این دو سیکل رسوبی را از هم جدا می‌کند. فرآیند مهم در سیکل دوم، نیروی فشارشی است که مربوط به بالاآمدگی و کوهزایی است. حوضه‌های فورلند معمولاً بیضوی یا کشیده بوده، از نظر اندازه بسیار گسترده و دارای پروفیل نامتقارن هستند. حوضه‌های فورلند در آمریکای شمالی که نفت تولید می‌کنند عبارتند از: حوضه آلبرتا، حوضه پرمین و بیشتر حوضه‌های کوچک کوه راکی.

ویژگی‌های مهم حوضه‌های فورلند عبارتند از:

- شبیه دیگر حوضه‌های کراتونی، این حوضه‌ها اغلب مخلوطی از رسوبات کربنات و آواری هستند و یا غالباً آواری می‌باشند. در هر صورت، در این حوضه‌ها، مخازن نفتی غالباً در ماسه‌سنگ‌ها یافت می‌شوند.
- شبیه تمام حوضه‌های کراتونی، حوضه‌های فورلند سرد هستند، اما در مقایسه با حوضه‌های داخلی دارای شیب زمین‌گرمایی بالاتری می‌باشند.
- پتانسیل هیدروکربن آن‌ها معمولاً از حوضه‌های داخلی بهتر است.

۱۷-۳-۲ حوضه‌های حاشیه واگرا (Divergent Margin Basin)

۱۷-۳-۲-۱ حوضه‌های ریفتی (Rift Basins)

حوضه‌های ریفتی معمولاً حوضه‌های کاملاً کوچک خطی هستند که می‌توانند کم‌عمق یا عمیق باشند. هورست و گرابن‌های تکتونیکی یک نیمرخ نامنظم در آن‌ها ایجاد می‌کند. چند مثال از حوضه‌های ریفتی شامل حوضه سیرت (Sirte) در لیبی، حوضه سوئز در مصر و گرابن وایکینگ (Viking) در دریای شمال است.

به عنوان مثال، حوضه سوئز در مصر فقط حاوی ماسه‌های کم ضخامت غیردریایی پالئوزوئیک و کرتاسه بوده تا اینکه در سنوزوئیک شروع به ریفتی شدن کرده است. در طول میوسن حدود دو کیلومتر ازکمپلکس ضخیم ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های غنی از مواد آلی در آن گسترش یافته‌اند. سپس تبخیری‌ها و تخریبی‌ها نهشته شده‌اند. نفت غالباً در ماسه‌سنگ‌های قبل و بعد از ریفت و در برخی سنگ آهک‌های قبل از ریفت یافت می‌شود. تله‌ها در قسمت‌های بالایی و کناری با تبخیری‌ها یا سنگ منشأ میوسن و شیل‌ها پوشیده می‌شوند.

دومین مثال از حوضه‌های ریفتی، گرابن وایکینگ دریای شمال است (شکل ۱۷-۴). این حوضه به شکل یک ریفت شعاعی در اواخر پرمین شروع به تشکیل شدن کرد. اما گسل‌خوردگی اصلی در طول ژوراسیک پسین اتفاق افتاده است. دو شاخه از ریفت باعث پیدایش اقیانوس آتلانتیک و جدایش گرین‌لند از باقی مانده اروپا شد. گرابن وایکینگ یک ریفت عقیم است که حاوی بیش از ۴ کیلومتر رسوبات قبل از ریفت است که غالباً شامل لایه‌های قرمز، رسوبات دلتایی، ماسه‌سنگ‌های دریایی و شیل‌های مزوزوئیک می‌باشد. همچنین در آن چندین کیلومتر شیل بعد از ریفت، که با شیل‌های غنی از مواد آلی شروع شده‌اند، وجود داردکه به دنبال آن‌ها ماسه‌سنگ‌های دریایی و گل‌سفید قرار می‌گیرند. در گرابن وایکینگ مخازن تولیدکننده، غالباً ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک قبل از ریفت می‌باشند. شیل‌های این حوضه هم به عنوان سنگ منشأ و هم به عنوان سنگ‌پوش عمل می‌کنند. بعضی از ماسه‌سنگ‌ها و کربنات‌های قبل از ریفت هم تولیدکننده هستند.

اغلب حوضه‌های ریفتی دارای خصوصیات زیر هستند:

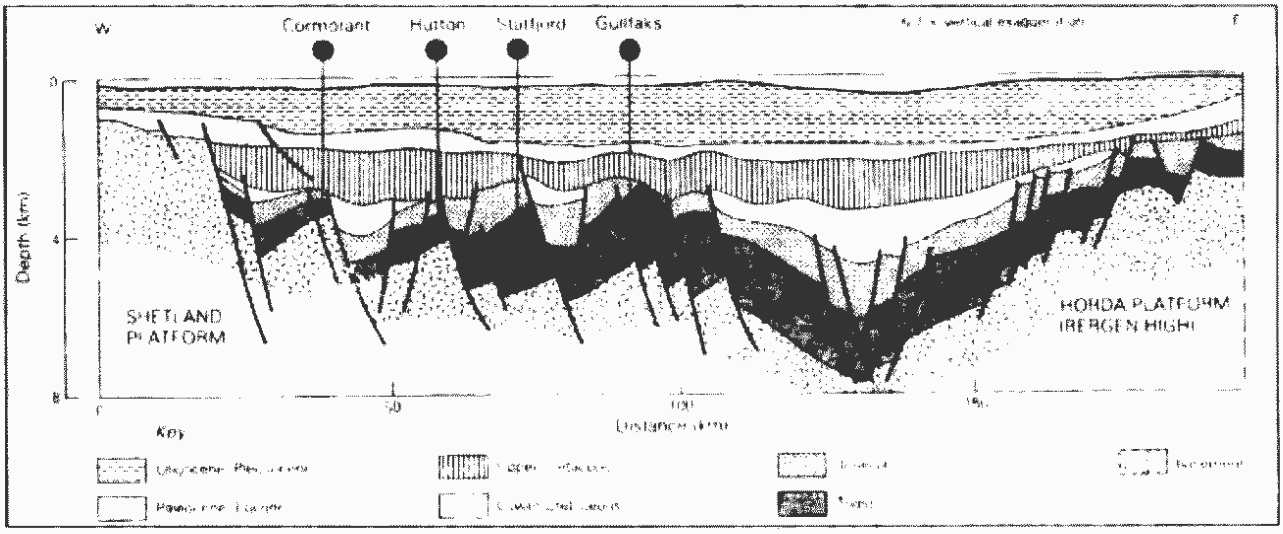
- به طور کلی با رسوبات تخریبی دریایی یا غیردریایی پر شده‌اند، اما اقیانوس‌های گرم یا ریفت‌های محدود شده، اغلب حاوی کربنات‌ها و تبخیری‌های فراوان می‌باشند.
- بسته به رخسارهٔ گسترش یافته، سنگ آهک یا ماسه‌سنگ، می‌توانند مخزن باشند.

- مخازن به طور بین انگشتی به سنگ‌های منشأ تغییر رخساره داده و لذا فواصل مهاجرت کوتاه می‌باشد.
- تله‌های مرکب و تله‌های چین‌خورده طاقدیسی بسیار متداول هستند.
- محدود شدن حوضه به طور متناوب سبب شکل‌گیری تبخیری‌ها بعنوان پوش‌سنگ شده است (شبیه حوضه سوئز).
- شیب زمین‌گرمایی معمولاً بیشتر از حد متوسط است. در خلیج سوئز درجه زمین‌گرمایی از ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد در هر کیلومتر عمق تغییر می‌کند.

ریفت‌ها به علت چنین خصوصیات متنوعی که دارند، به طور کلی - حتی اگر از لحاظ ابعاد کوچک باشند - می‌توانند حوضه‌های غنی از هیدروکربن را بوجود آورند.

عوامل ریسک برای تولید در چنین حوضه‌هایی عبارتند از:

- عدم گسترش کافی شیل‌های منشأ غنی از مواد آلی
- کوچک بودن ابعاد تله نفتی
- درجه زمین‌گرمایی ممکن است بیش از حد بالا باشد



شکل ۱۷-۴ - گرابن وایکینگ در دریای شمال

۱۷-۳-۲-۲ حوضه‌های کششی- جدایشی (Pullapart Basins)

حوضه‌های کششی-جدایشی، طویل و نامتقارن هستند و از یک طرف به منشأ قاره‌ای متصل می‌شوند. بیشتر حوضه‌های کششی- جدایشی جهان در دو طرف حاشیه‌های اقیانوس اطلس و هند واقع شده‌اند. حوضه‌های تولید کننده نفت از این نوع شامل حوضهٔ گابن و حوضه آنگولا- کابیندو در ساحل غربی آفریقا می‌باشند. حوضه شمال غرب استرالیا و هیبرینز (Hyberins) در جنوب غربی نیوفنلاند نیز از این نوع می‌باشند. تمام حوضه‌های کششی- جدایشی در طول پرمین یا اواخر مزوزوئیک، از حوضه‌های ریفتی بوجود آمده‌اند.

حوضه گابن در ساحل غربی آفریقا در شکل ۱۷-۵ نشان داده شده است. ریفت اولیه قبل از ژوراسیک عمدتاً با رسوبات تخریبی غیردریایی پر شده است. سپس مرحله فعال جدایش در کرتاسه شروع شده است. همچنان‌که ریفت شروع به تکمیل یک حوضه کششی- جدایشی کرده، ماسه‌های دریایی کم‌عمق، کربنات‌ها و تبخیری‌ها نهشته شده‌اند. هنگامی که شرایط دریای باز توسعه یافته، یک مخروط تخریبی پیشرونده ضخیم در آن شکل گرفته است. وزن این رسوبات دیاپیرهای نمکی را درلایه‌های تبخیری زیرین ایجاد کرده است. سنگ‌های منشأ و مخزن در همه مراحل رسوبگذاری یافت می‌شوند. بیشترین تولید از آواری‌های بعد از ریفت در تله‌های مرتبط با دیاپیرهای نمکی رخ می‌دهد.

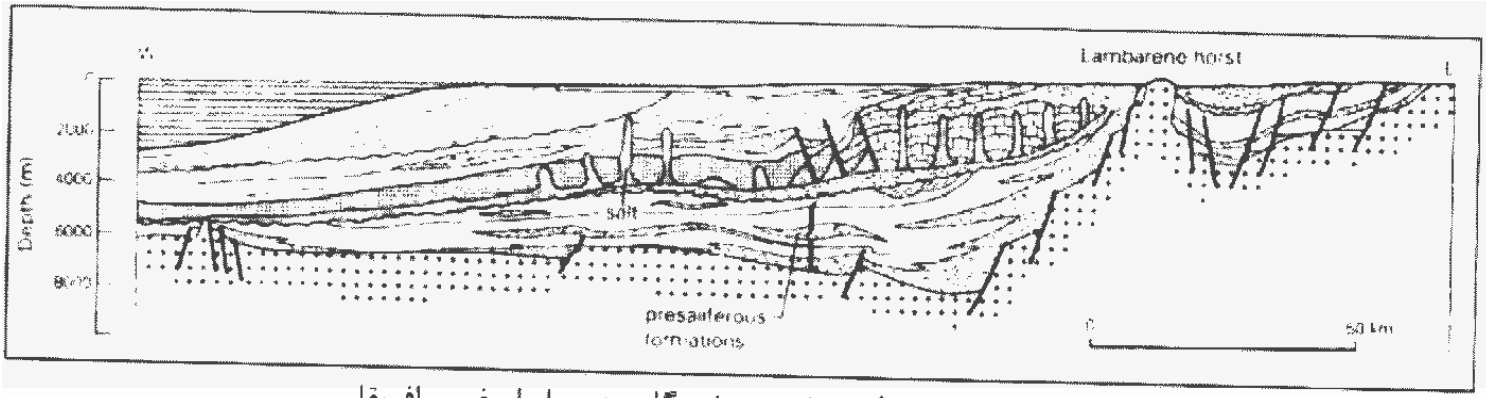
در حوضه‌های کششی-جدایشی:

- نفت عمدتاً از ماسه‌سنگ‌های عمیق مرتبط با ریفت یا مرحلهٔ جدایش تولید می‌شود.
- شیل‌ها و پوش‌سنگهای تبخیری هر دو به یک اندازه عمومیت دارند.
- تله‌ها معمولاً به طاقدیس‌های حاصل از بالاآمدگی پی‌سنگ مرتبط هستند.
- دیاپیرهای نمکی اغلب مهم هستند، مثل حوضه گابن.

شرایط زمین‌گرمایی در حوضه‌های کششی- جدایشی هنوز به خوبی شناخته نشده است. شاید شیب زمین‌گرمایی در طول مرحله اصلی ریفتی شدن زیاد باشد و در طول رسوبگذاری آواری‌های ضخیم بعد از ریفت پایین باشد.

ریسک‌های اساسی برای تولید، اساساً عبارتند از:

- عدم دفن کافی و بلوغ کروژن
- عدم گسترش شیل منشأ در مرحله اصلی ریفت
- عدم گسترش مخزن ماسه‌ای در مرحلهٔ بعد از ریفت



شکل ۱۷-۵ - مقطع عرضی حوضه گابن در ساحل غربی افریقا

۱۷-۳-۳ حوضه‌های حاشیه‌های همگرا (Convergent Margin Basins)

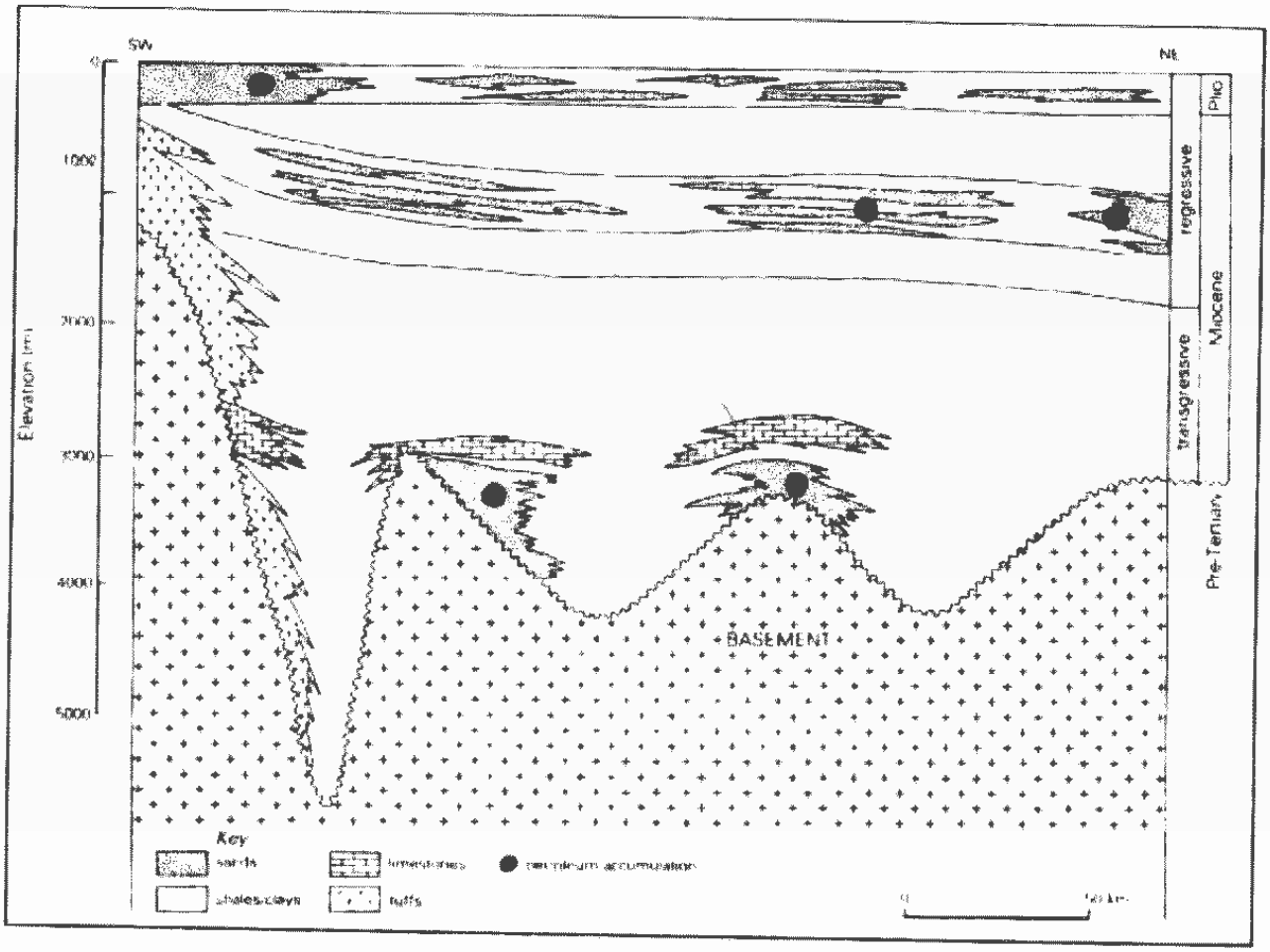
چهار نوع حوضه همگرا وجود دارد که عبارتند از: حوضه‌های جلوی‌کمانی (forearc)، پشت‌کمانی (backarc)، غیرکمانی (nonarc) و حوضه‌های برخوردی (collision basins).

هر چهار نوع ذکر شده چند خاصیت عمومی دارند که عبارتند از:

- کوچک، خطی و تراف مانند هستند.
- دارای سن کرتاسه و ترشیاری هستند.
- به طور کلی با رسوبات نابالغ رسی، ماسه‌ها و شیل‌ها پر شده‌اند.
- این حوضه‌ها به سرعت گسترش می‌یابند و همچنین به سرعت در همگرایی صفحات تخریب می‌شوند.
- گسترش تکتونیکی آن‌ها پیچیده بوده و رژیم تکتونیکی عمومی آن‌ها فشارشی است، اما گسل‌های امتدادلغز قابل توجه و گسل‌خوردگی بلوکی هم رخ می‌دهد.

بیشتر حوضه‌های حاشیه‌ای همگرا در ارتباط با اقیانوس آرام هستند. دو نوع حوضه در نزدیک زون‌های فرورانش، جایی که جزایر قوسی گسترش می‌یابند، تشکیل شده است. یکی حوضه‌های پشت‌کمانی (backarc basins) که بین قاره و جزایر قوسی (isalnd arc) تشکیل شده‌اند و بیشتر رسوبات آب‌های کم‌عمق را دریافت می‌کنند. جریان گرمایی اندازه‌گیری شده در حوضه‌های پشت کمانی، زیاد تا خیلی زیاد است و دیگری حوضه‌های جلوی‌کمانی (forearc basins) که بین جزایر قوسی و محل دراز گودال اقیانوسی (trench) قرار می‌گیرند. رخساره رسوبی آن‌ها کاملاً متغیر است و می‌تواند از رسوبات آبرفتی تا مخروط‌های دریایی عمیق تغییر کند. برخلاف حوضه‌های پشت کمانی، حوضه‌های جلوی کمانی، جریان حرارتی کمی دارند، زیرا صفحهٔ اقیانوسی سرد به زیر آن‌ها رانده می‌شود.

در اندونزی چندین حوضه پشت‌کمانی در جلوی جزایر قوسی و در مجاورت فلات قارهٔ‌پایدار ساندا (Sundae) گسترش یافته‌اند. حوضه‌های جلوی‌کمانی کوچکتری در جلوی جزایر قوسی یافت می‌شوند. هر دو نوع به موازات سیستم کمان‌های دراز گودال اقیانوسی هستند. در مقطع عرضی پشت کمان سوماترا (شکل ۱۷-۶) دیده می‌شود که ۵ کیلومتر از رسوبات تخریبی ترشیاری پسین فقط با مقدار کمی سنگ آهک پر شده‌اند. به هرحال، به دلیل جریان حرارتی زیاد، حتی رسوبات کم‌عمق که در عمقی کمتر از ۱ کیلومتر قرار دارند، نفت تولید می‌کنند.

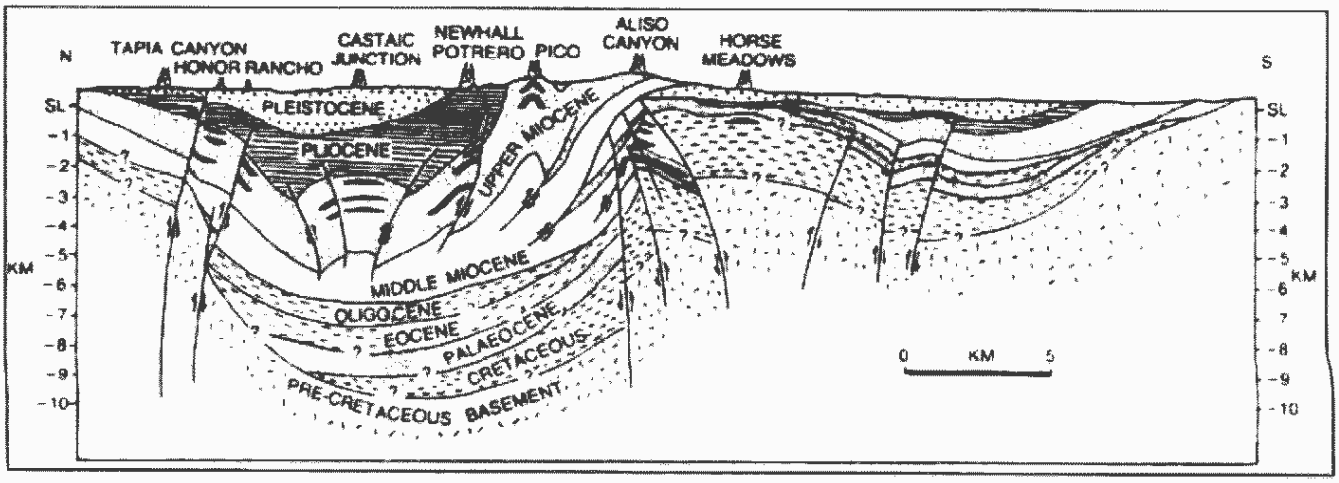


شکل ۱۷-۶ - مقطع عرضی حوضه سوماترا

برعکس حوضهٔ جلوی‌کمانی منتوای (Mentwai) کـه کم‌عمق‌تـر و دارای جریـان حرارتـی کمتری است، آنچنان تولید نفت نمی‌کند. یک دلیل اصلی برای این مسأله، شیب زمین‌گرمـایی پایین‌تر از حد نرمال است که به وسیله فرورانش صفحه اقیانوسی سرد حاصل شده است.

حوضه‌های غیرکمانی (nonarc basins) در طول حاشیه‌های همگرا، جایی که صفحـات بـه وسیله گسـل‌های تـراگذر حرکـت می‌کننـد، تشـکیل می‌شـوند. بنـابراین گاهـی اوقـات آن‌هـا حوضه‌های امتداد لغز یـا حوضـه‌های نـوع کالیفرنیـا نـامیده می‌شـوند. حوضـه‌های غیرکمـانی، حوضه‌هایی کوچک هستند که با ترکیب حرکت گسل‌های تـراگذر و بلوکـی تشـکیل می‌شـوند. علاوه بر حوضه کالیفرنیا، حوضه دیانا (Diana) و باکو (Baku) هم از این نوع هستند.

مثالی از حوضه ونتورا (Ventura) در شکل ۱۷-۷ آورده شده است.



شکل ۱۷-۷ - مقطع عرضی حوضه ونتورا

حوضه‌های برخوردی (Collosion Basins) گاهی اوقات حوضه‌های میانه (median basin) یا بین‌کوهی (inter-mountain) نامیده می‌شوند. آن‌ها حوضه‌های کوچکی هستند که در داخل کمربندهای چین خوردهٔ حاشیه‌ای تشکیل شده‌اند، جایی که دو قاره یا کوه‌های ساحلی قاره‌ای برخورد کرده‌اند. از نظر موقعیت رسوبی و تکتونیکی این حوضه‌ها مشابه حوضه‌های پشت‌قوسی هستند. در این حوضه‌ها شیب زمین‌گرمایی معمولاً خیلی زیاد است و از رسوبات تخریبی پر شده‌اند.

خیلی از حوضه‌های برخوردی جهان همراه با روند آند در آمریکای جنوبی واقع شده‌اند. از مثال‌های این نوع حوضه، می‌توان حوضه Maracaibo در ونزوئلا و حوضه Penonian در مجارستان را نام برد.

این چهار نوع حوضه‌های همگرای کوچک دارای ویژگی‌های هیدروکربنی مشترکی هستند که عبارتند از:

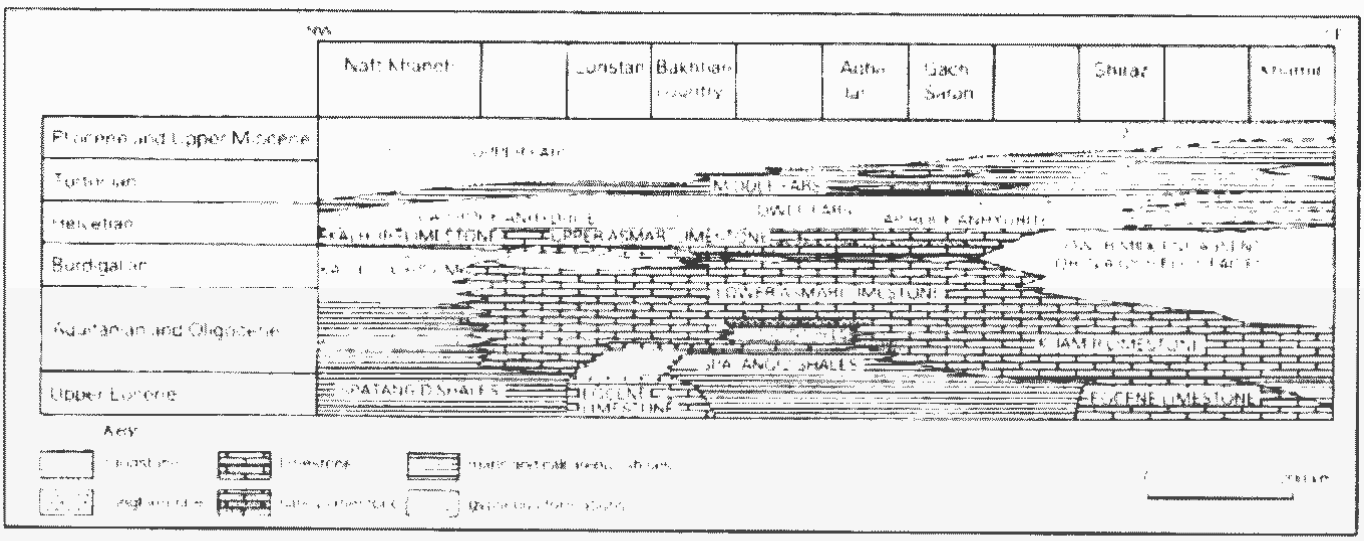
- در آن‌ها عموماً مخزن ماسه‌سنگی مستقل کم عمق با بخش‌های تولید چند گانه (mutiple pays) یا ضخیم ایجاد می‌شود.
- نفتگیرها اندازهٔ متوسطی دارند و عمدتاً از نوع طاقدیسی و مرکب هستند.
- این حوضه‌ها عمدتاً نفت‌زا هستند.
- اگرچه رسوبات این حوضه‌ها کاملاً جوان می‌باشند، ولی شیب زمین‌گرمایی باد احتمال شکل‌گیری هیدروکربن را در حوضه‌های پشت‌کمانی، غیرکمانی و برخور ی فراهم می‌کند. اما در اغلب حوضه‌های جلوی‌کمانی به علت بلوغ عمدتاً پایین و شیب زمین‌گرمایی کم، احتمال ضعیفی برای تشکیل هیدروکربن وجود دارد.
- تغییر شکل شدید، فعالیت ماگمایی و کیفیت ضعیف مخزن (مخزن ماسه‌سنگی با بلوغ بافتی ضعیف و غنی از رس) می‌تواند برای هرحوضهٔ حاشیه‌های همگرا مشکل ایجاد کند.

۱۷-۳-۴ حوضه‌های فروپیچشی (Downwarp Basins)

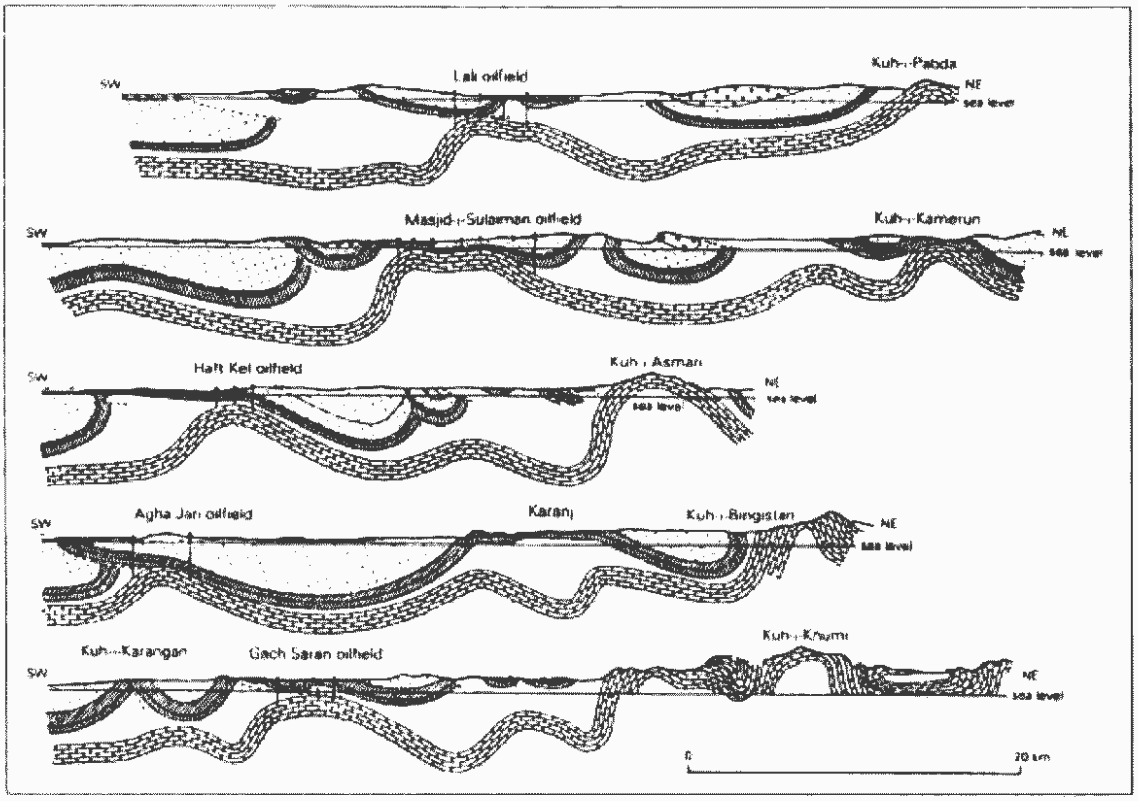
این نوع حوضه‌ها در داخل اقیانوس‌های کوچک تشکیل شده‌اند. حوضه‌های فروپیچشی اندازهٔ بزرگ تا متوسطی دارند. این حوضه‌ها به‌صورت خطی نامتقارن هستند که در طول حاشیهٔ اقیانوس‌های کوچک شکل می‌گیرند. در بسیاری از طبقه‌بندی‌ها این نوع حوضه به رسمیت شناخته نمی‌شود. اما این حوضه در مقوله جدایی بررسی می‌شود زیرا ویژگی‌های هیدروکربن و رسوبات آن تا اندازه‌ای آن را متفاوت می‌سازد.

برخی حوضه‌های فروپیچشی در حوضه‌های اقیانوسی کوچک در حال باز شدن تشکیل می‌شوند. خلیج ساحلی (Gulf Coast) حوضه شرق تگزاس و آلاسکا از این نوع حوضه می‌باشند. دیگر حوضه‌های فروپیچشی در اقیانوس‌های کوچک در حال بسته شدن تشکیل می‌شوند و شامل بیشتر حوضه‌های غنی از هیدروکربن جهان است، برای نمونه حوضه زاگرس. به هر حال رسوبات و ساختارها در تمامی حوضه‌های فروپیچشی مشابهند.

حوضه ایران و عربستان یک حوضه فروپیچشی است که در یک اقیانوس در حال بسته‌شدن شکل گرفته و خلیج فارس باقی مانده آن است. فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه آسیا حوضه فروپیچشی بسته ایده‌آلی را برای تشکیل هیدروکربن و نفتگیرهای طاقدیسی فراوانی بوجود آورده است. سنگ منشأ در طی پیشروی در یک حوضه کم رسوب (starved basin) ایجاد شده است. در طی پسروی، مخازن و پوش‌سنگ‌های تبخیری گسترده‌ای در خیلی از افق‌ها ایجاد کرده است. سنگ‌های آهکی و دولومیتی ژوارسیک مهمترین مخازن هستند. بطرف مرکز حوضه تولید نفت از ماسه‌سنگ‌های لنزی شکل کرتاسه صورت می‌گیرد و در ایران، به طور عمده سنگ آهک‌های ضخیم ترشیری و ریف‌ها تولید کننده‌های اصلی می‌باشند (شکل‌های ۱۷-۸ و ۱۷-۹).



شکل ۱۷-۸ - توالی ترشیر در جنوب‌غرب ایران که حاوی ذخایر هیدروکربنی فراوانی است



شکل ۱۷-۹ - مقطع عرضی از میان کمربند حوضه‌های نفتی زاگرس که در آن چین‌خوردگی در سازند آسماری دیده می‌شود

حوضه‌های فروپیچشی در اقیانوس‌های کوچک، از جمله غنی‌ترین انواع حوضه‌های هیدروکربنی هستند. آن‌ها روی هم رفته تقریباً نیمی از مخازن دنیا را در بر می‌گیرند. رسوبات پر کننده این حوضه‌ها عموماً کربنات‌های کم عمق دریایی و تخریبی‌ها هستند و مخازن به طور مساوی از کربنات‌ها یا ماسه‌سنگ‌ها تشکیل شده‌اند. شیل‌های غنی از مواد آلی و در برخی از حوضه‌ها، مارن‌ها و سنگ آهک‌ها، سنگ‌های منشأ مهم هستند.

نفتگیرها غالباً طاقدیسی‌اند و گنبدهای نمکی نیز متداول است. نفتگیرهای چینه‌ای ناشی از تغییر رخساره و ریفی و نفتگیرهای مرکب در حوضه‌های فروپیچشی نیز متداولند. نفتگیرهای حوضه‌های فروپیچشی عموماً به وسیله شیل‌ها یا تبخیری‌ها پوشیده می‌شوند. این حوضه‌ها غالباً حاوی نفت خام‌هایی با گرانویته متوسط یا مختلط می‌باشند. ترکیب شیمیایی هیدروکربن می‌تواند به طور بسیار گسترده‌ای تغییر کند. نفت‌ها از اعماق متوسط تولید می‌شوند، اما در اعماق بیشتر به دلیل دگرسانی حرارتی گاز اهمیت بیشتری دارد.

۱۷-۳-۵ دلتاها (Deltas)

دلتاها عموماً کوچک و مدورند و بوسیلهٔ یک نسبت بالای حجم رسوب به سطح گسترش شناخته می‌شوند. رسوبات پرکنندهٔ آن‌ها از کانال‌های اصلی در قاره‌ها نشأت گرفته‌اند. آن‌ها ظاهراً در هر مجموعهٔ تکتونیکی توسعه می‌یابند. محل آن‌ها حدوداً به طور مساوی بین

حاشیه‌های همگرا و واگرا تقسیم شده است. رژیم کششی ناشی از تجمع رسوب باعث گسترش ساختارهای غیر پی‌سنگی یا رسوبی دارای تله نفتی می‌شود که در چین‌های طاقدیسی رشدی کششی (طاقدیس‌های غلطیده) نمود می‌یابد. پایین بودن شیب زمین‌گرمایی در دلتاها، شاید بعلت آبدار شدن در نتیجهٔ نهشت سریع، باعث می‌شود که زایش هیدروکربن در اعماق پایین‌تر از عمق متوسط صورت گیرد. در این حوضه‌ها مواد آلی با منشأ خشکی (هومیک) غالب می‌باشند و نتیجهٔ آن وجود هیدروکربن‌های گازی در این نوع حوضه‌ها می‌باشد. این حوضه‌ها نسبتاً از لحاظ بازدهی هیدروکربن غنی هستند، به طوری‌که ۲,۵٪ مساحت حوضه‌های جهان و ۵٪ مخازن جهان را دربرمی‌گیرند.