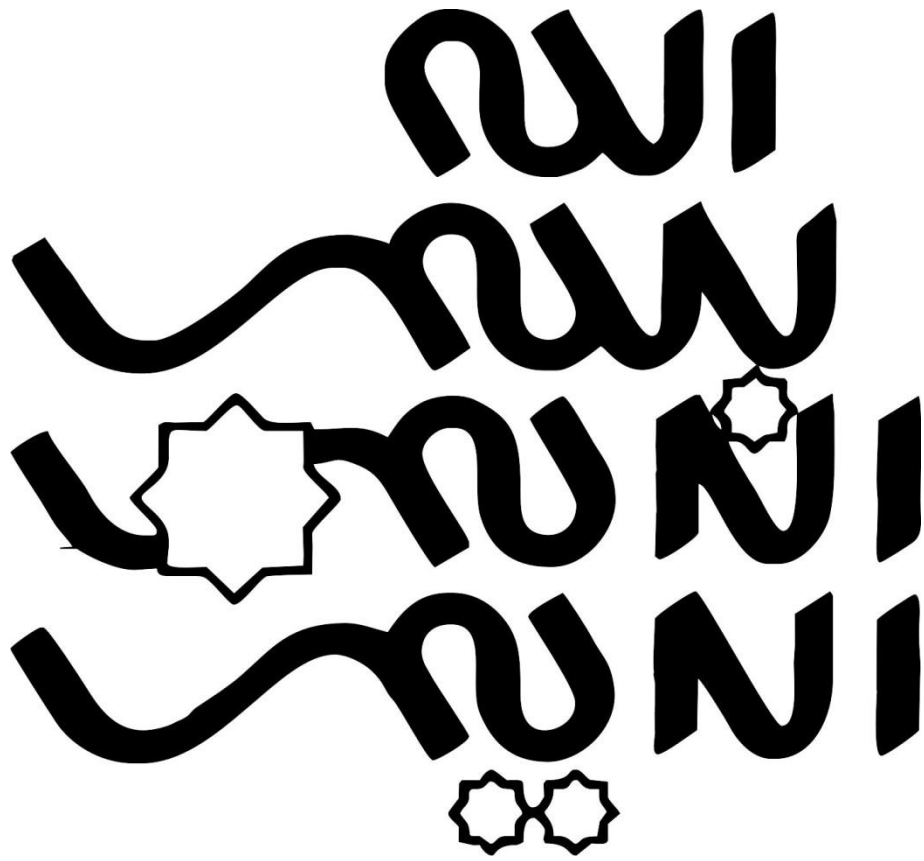


וְעַתָּה
שָׂמַח
וְחַיָּים
וְחַיָּים

A stylized graphic design featuring the Hebrew words 'וְעַתָּה' (And now), 'שָׂמַח' (Happy), and 'וְחַיָּים' (And life) repeated twice. The text is rendered in a bold, black, sans-serif font. The design is decorated with wavy lines and star shapes. A large, white, outlined star is positioned to the left of the second 'וְחַיָּים'. A smaller, white, outlined star is positioned above the second 'וְחַיָּים'. At the bottom, two small, white, outlined stars are positioned side-by-side.



دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده علوم

گروه زمین‌شناسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی

عنوان

طراحی یک بسته نرم‌افزاری جهت مدل‌سازی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی

رسوبات برای میادین نفت و گاز

اساتید راهنما

دکتر سید رضا موسوی حرمی، دکتر علی کدخدایی

استاد مشاور

دکتر اسدالله محبوبی

نگارش

حسن خزایی

خرداد ۹۱

تقدیم بہ:

پدرم بہ استواری کوه

مادرم بہ زلالی چشمہ

خواہرم بہ طراوت شبنم

سپاس نامه

خدایا مرا از ساگران درگاهت و تحقیقت جوین راهت قرار ده و یاریم کن در آموختن نلغزوم و آنچه را که آموختم به شایستگی عرضه کنم.

سپاس خدای را که در پیبمردن راه پرفراز و نشیب آموختن یاریم داد تا بار دیگر پله ای هر چند کوچک از علم و دانش را طی نمایم. اینک که در پرتو الطاف بیکران خداوندیش بخشش

پایان نامه به پایان رسید بر خود واجب می دانم از آمانی که فرا گرفتیم، نوشتن و اندیشیدن را به من آموختند، سپاسگزاری نمایم.

اکنون که این پایان نامه را به لطف حق تعالی به پایان رسانده ام لازم می دانم از آقایان دکتر سید رضا موسوی حرمی و دکتر علی کدخدایی که به عنوان اساتید راهنما در تمامی مراحل پایان نامه با

صبر، بردباری و علاقه می فراوان همراه اینجانب بوده اند سپاسگزاری نمایم، که بدون شک، بدون همراهی ایشان این رساله به اتمام نمی رسید.

از آقای دکتر اسد... محبوبی که سمت استاد مشاور برنده را بر عهده گرفته اند و نقش بزرگی در انجام این پایان نامه داشتند تقدیر و تشکر می نمایم. از آقای دکتر علی چهرازی (مدیریت

اکتشاف شرکت نفت فلات قاره) جهت بیماری و فراموش آوردن امکانات و داده های لازم صمیمانه سپاسگزاری می نمایم.

از آقای دکتر مهدی نخعی و آقای دکتر فرزین قائمی که داور این پایان نامه را بر عهده گرفته اند و بار بار از نظرات ارزشمند خود مراد رفع نواقص و تدوین بهتر آن یاری رسانند بی نیاست

سپاسگزارم. از مهندس زینلزاده، مهندس کریمیان و دوستان ارجمند آقایان بابک ایرانی، حامد محمدیان، یعقوب نصیری، رحیم کدخدایی، مهندس محمد خانزاده، مهندس علی آقایی،

مهندس حامد زند که مراد طول بخشش پایان نامه یاری رسانند تشکر می نمایم. در نهایت از تمامی دوستان و عزیزانی که بهواره یار و یاور من در انجام این پایان نامه بودند کمال تقدیر و تشکر را

دارم و سلامت و بهروزی ایشان را از درگاه خداوند منان آرزو مندم.

خدایا از من درگذر آنچه را از من بدان دانامتری، و آنچه از اعمال نیکو که تصمیم گرفتم و انجام ندادم و بخشای سخنان بی فایده و خواهش های بی مورد دل و لغزشهای زبانم را.

چکیده

میدان سلمان (ساسان سابق) در ۱۴۴ کیلومتری جنوب تا جنوب شرق جزیره لاوان و ۱۳۵ کیلومتری جنوب غربی جزیره کیش در خلیج فارس واقع شده است. این ساختار در مرز مشترک ایران و امارات متحده عربی در خلیج فارس قرار گرفته است. میدان توسن به عنوان یک منطقه با پتانسیل هیدروکربوری بالا در خلیج فارس و در نزدیکی تنگه هرمز شناخته می شود و ناحیه ای در حدود ۸۰۰۰ کیلومتر مربع در بین جزیره سیری در جنوب خلیج فارس و جزیره قشم در نزدیک تنگه هرمز را می پوشاند. میدان هنگام در ۵۰ کیلومتری جنوب جزیره قشم و در قسمت شرقی خلیج فارس قرار دارد، این طاقدیس دارای روند شمالی جنوبی و موازی با روند عربی است.

هدف از انجام این مطالعه، طراحی یک بسته نرم افزاری (IranBury) جهت مدل سازی تاریخچه تدفین و مدل سازی حرارتی این میداين و مقایسه آن با داده های نرم افزارهای Lopatin, Genex و Pars Basin Modeler می باشد.

میدان سلمان نشان داد که بر اساس روش مدل سازی لوپاتین سازند سورمه از شش 2S-22 مدل سازی انجام شده در چاه شماره هیچ کدام از Easy %RO میلیون سال پیش و در عمق ۲۹۰۰ متری وارد پنجره نفت زایی گردیده است و بر اساس روش کنیتیکی سازندها وارد پنجره نفتی نشده است. در چاه شماره دو میدان توسن بر اساس روش لوپاتین این چاه در عمق ۳۴۰۰ متری از یازده این چاه از زمان ۵ میلیون سال پیش و از عمق Easy %RO میلیون سال پیش وارد پنجره نفتی شده و بر اساس روش کنیتیکی میدان هنگام، بر اساس روش لوپاتین این چاه در عمق ۳۷۰۰ متری از E1 ۳۸۰۰ متری وارد پنجره نفتی شده است. در چاه شماره نیز این چاه نیز از زمان ۲۵ میلیون Easy %RO بیست و پنج میلیون سال پیش وارد پنجره نفتی شده و بر اساس روش کنیتیکی سال پیش و از عمق ۳۷۰۰ متری وارد پنجره نفتی شده است. بطور کلی می توان گفت استفاده از روش های کنیتیکی از صحت و دقت خلیج فارس سن نفت زایی افزایش می یابد. کافی در مقابل روش لوپاتین برخوردار هستند و در این میداين از سمت غرب به سمت شرق

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ سنگ منشأ
۴	۱-۲-۱ کمیت ماده آلی
۴	۲-۲-۱ کیفیت ماده آلی
۶	۳-۲-۱ بلوغ ماده آلی
۷	۳-۱ عوامل موثر بر تولید هیدروکربن
۸	۱-۳-۱ جریان گرمایی
۸	۲-۳-۱ هدایت حرارتی
۱۲	۴-۱ مدل سازی حرارتی
۱۴	۱-۴-۱ مدل سازی کینتیکی
۱۵	۲-۴-۱ مدل سازی اندیس زمان - حرارت
۱۵	۳-۴-۱ مدل سازی TTI-آرنیوس
۱۵	۴-۱ ۴-۱ روش های اندازه گیری مستقیم و مدل سازی شاخص های حرارتی
۱۶	۴-۱ ۴-۱ پتروگرافی آلی و انعکاس ویترینایت
۱۷	۴-۱ ۴-۱-۱ گروه ویترینایت
۱۷	۴-۱ ۴-۱-۲ گروه اگزینایت
۱۸	۴-۱ ۴-۱-۳ گروه اینرتینایت
۱۸	۴-۱ ۴-۱-۴ مواد آمورف
۱۹	۴-۱ ۴-۱-۵ کاربرد انعکاس ویترینایت در مسایل دیگر
۱۹	۴-۱ ۴-۱-۲ Tmax حاصل از دستگاه راکایول
۲۱	۴-۱ ۴-۱-۳ شاخص تولید
۲۱	۵-۱ اصول بازسازی تاریخچه تدفین
۲۱	۱-۵-۱ سن واحدهای سنگی
۲۲	۲-۵-۱ عمق آب
۲۲	۳-۵-۱ ضخامت واحدهای سنگی
۲۴	۴-۵-۱ ناپیوستگی ها
۲۴	۵-۵-۱ سنگ شناسی
۲۵	۶-۱ اهداف مطالعه
۲۶	۷-۱ پیشینه مطالعات
۲۶	۱-۷-۱ مطالعات مشابه در جهان
۲۸	۲-۷-۱: مطالعات مشابه در ایران

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

۳۱	۱-۲ مقدمه
۳۱	۲-۲ حوضه رسوبی زاگرس
۳۴	۳-۲ تکامل ساختاری حوضه زاگرس
۳۵	۱-۳-۲ کامبرین - کربونیفر
۳۵	۲-۳-۲ پرموتریاس
۳۶	۳-۳-۲ ژوراسیک - کرتاسه (حاشیه غیرفعال)
۳۶	۴-۳-۲ کرتاسه فوقانی - عهد حاضر (برخورد)
۳۸	۴-۲ تقسیم‌بندی حوضه رسوبی زاگرس
۳۸	۵-۲ خلیج فارس
۳۸	۱-۵-۲ زمین شناسی خلیج فارس
۴۰	۲-۵-۲ چینه شناسی خلیج فارس
۴۲	۳-۵-۲ ژئومورفولوژی خلیج فارس
۴۳	۴-۵-۲ منحنی‌های هم عمق در خلیج فارس
۴۳	۵-۵-۲ عوامل آب و هوایی خلیج فارس
۴۴	۶-۵-۲ جریانهای رودخانه‌ای
۴۵	۷-۵-۲ تاثیرات اقیانوسی
۴۵	۸-۵-۲ جریانهای جزرومدی
۴۵	۹-۵-۲ جریانهای باد و امواج
۴۵	۱۰-۵-۲ عمق آب
۴۵	۱۱-۵-۲ شوری
۴۵	۱۲-۵-۲ سنگ بستر
۴۶	۶-۲ میدان ها و نواحی هیدروکربوری مورد مطالعه در خلیج فارس
۴۷	۱-۶-۲ میدان سلمان
۴۸	۲-۶-۲ میدان توسن
۴۸	۳-۶-۲ میدان هنگام
۴۹	۷-۲ چینه‌شناسی
۵۰	۱-۷-۲ سازند سورمه
۵۰	۲-۷-۲ سازند هیث
۵۱	۳-۷-۲ سازند فهلیان
۵۱	۴-۷-۲ سازند گدوان
۵۱	۵-۷-۲ سازند داریان
۵۱	۶-۷-۲ سازند کژدمی
۵۲	۷-۷-۲ سازند سروک

۵۳	۸-۷-۲ بخش شیلی لافان
۵۳	۹-۷-۲ سازند ایلام
۵۴	۱۰-۷-۲ سازند گورپی
۵۴	۱۰-۷-۲ سازند پابده
۵۵	۱۲-۷-۲ سازند جهرم
۵۵	۱۳-۷-۲ سازند آسماری
۵۶	۱۴-۷-۲ سازند گچساران
۵۶	۱۵-۷-۲ سازند میشان
۵۶	۱۶-۷-۲ سازند آغاچاری

فصل سوم: مدل سازی

۵۹	۱-۳ مقدمه
۵۹	۲-۳ منحنی‌های تاریخچه تدفین رسوبات
۶۲	۳-۳ منحنی‌های بلوغ حرارتی رسوبات
۶۷	۴-۳ الگوریتم نویسی
۶۸	۵-۳ معرفی نرم افزار متلب
۷۰	۶-۳ ساختار نرم افزار متلب
۷۱	۷-۳ کد نویسی در نرم افزار متلب
۷۲	۸-۳ توابع در متلب
۷۲	۹-۳ کنترل در برنامه نویسی
۷۲	۱-۹-۳ توابع شرطی
۷۳	۲-۹-۳ توابع چرخه‌ای
۷۴	۳-۹-۳ دستور input
۷۵	۱۰-۳ برنامه نویسی GUI
۸۲	۱۱-۳ معرفی نرم افزار Pars Basin Modeler

فصل چهارم: بحث و بررسی

۸۶	۱-۴ مقدمه
۸۶	۲-۴ معرفی نرم افزار IranBury
۸۶	۳-۴ بازسازی تاریخچه تدفین و مدل سازی حرارتی
۸۷	۱-۳-۴ مدل سازی یک بعدی چاه شماره 2S-22 در میدان نفتی سلمان
۹۱	۱-۱-۳-۴ تاریخچه تدفین در چاه 2S-22 سلمان
۹۳	۲-۱-۳-۴ تاریخچه حرارتی و تعیین زمان و عمق ورود به پنجره نفتی در چاه شماره 2S-22 سلمان
۹۳	۲-۳-۴ مدل سازی یک بعدی چاه شماره دو میدان نفتی تنب (توسن)

- ۹۷ ۱-۲-۳-۴ تاریخچه تدفین در چاه شماره دو میدان نفتی توسن
- ۹۹ ۲-۲-۳-۴ تاریخچه حرارتی و تعیین زمان و عمق ورود به پنجره نفتی در چاه شماره دو میدان نفتی توسن
- ۹۹ ۳-۳-۴ مدل سازی یک بعدی چاه شماره E1 در میدان نفتی هنگام
- ۱۰۳ ۱-۳-۳-۴ تاریخچه تدفین در چاه شماره E1 در میدان نفتی هنگام
- ۱۰۴ ۲-۳-۳-۴ تاریخچه حرارتی و تعیین زمان و عمق ورود به پنجره نفتی در چاه شماره E1 در میدان نفتی هنگام

نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱۰۶ نتیجه گیری
- ۱۰۸ پیشنهادات

منابع

- ۱۰۹ منابع

فهرست شکل ها

فصل اول: کلیات

- شکل ۱-۱) دیاگرام ون کرولن ۶
- شکل ۱-۲) رابطه تخلخل با هدایت حرارتی برای ماسه سنگ ها ۱۱
- شکل ۱-۳) نمودار ایجاد ارتباط درجه زغالی شدن، دمای ماکزیمم و زمان گرم شدن ۱۳
- شکل ۱-۴) تغییرات Tmax با افزایش بلوغ تابعی از نوع ماسرالها ۲۰
- شکل ۱-۵) در مواد آلی نابالغ، Tmax دارای بیشترین و در مواد آلی فوق بالغ کمترین گستره هستند ۲۰

فصل دوم: زمین شناسی منطقه

- شکل ۲-۱) سرعت افقی GPS در بخش های مختلف کمربند زاگرس ۳۲
- شکل ۲-۲) چهارچوب ساختاری زاگرس به همراه میداین نفتی و گازی و گنبد های نمکی ۳۳
- شکل ۲-۳) دیاگرام وضعیت پی سنگ زاگرس به همراه بلوک شرق صفحه عربی در پیش بوم ۳۴
- شکل ۲-۴) تأثیر کشش در زمان پرموتریاس بر روی پی سنگ زاگرس ۳۶
- شکل ۲-۵) شکل شماتیکی از تکامل حوضه زاگرس از زمان تورونین تا میوسن پائینی ۳۷
- شکل ۲-۶) زمین شناسی شبه جزیره عربستان و حرکات تکتونیکی آن ۴۰
- شکل ۲-۷) ساختار رسوبات موجود در بخش میانی حوضه رسوبی خلیج فارس ۴۲
- شکل ۲-۸) نمایش محل تقریبی محور خلیج فارس ۴۳
- شکل ۲-۹) نقشه محل میداین نفت و گاز در زاگرس و حوضه خلیج فارس ۴۷
- شکل ۲-۱۰) موقعیت میداین مورد مطالعه ۴۸
- شکل ۲-۱۱) ستون چینه شناسی خلیج فارس ۴۹

فصل سوم: مدل سازی

- شکل ۳-۱) یک نمونه از نمودار تاریخچه تدفین رسوبات ۶۰
- شکل ۳-۲) حذف ۱۰۰۰ متر رسوب در اثر یک بالآمدگی در ۶۰ تا ۷۰ میلیون سال گذشته ۶۱
- شکل ۳-۳) پدیده وقفه رسوبگذاری و بالآمدگی و فرسایش در منحنی های تاریخچه تدفین ۶۱
- شکل ۳-۴) نمودارهای نرخ تدفین رسوبات ۶۲
- شکل ۳-۵) نمایی از نرم افزار متلب (2011a) و بخش های مختلف آن ۷۰
- شکل ۳-۶) نمایی از پنجره m-file editor که از طریق منوی file در پنجره اصلی متلب قابل دسترسی است ۷۴
- شکل ۳-۷) طریقه وارد شدن به محیط GUI ۷۵
- شکل ۳-۸) نمایی از پنجره GUI و قسمت های مختلف آن ۷۶
- شکل ۳-۹) پنجره Property Inspector ۷۷
- شکل ۳-۱۰) پنجره Menu Editor ۷۸

۷۸	شکل ۳-۱۱) برگ‌نشان Menu Bar
۷۹	شکل ۳-۱۲) برگ‌نشان Context Menus
۸۰	شکل ۳-۱۳) برگ‌نشان Toolbr Editor
۸۱	شکل ۳-۱۴) جعبه‌ابزار MATLAB Comp
۸۴	شکل ۳-۱۵) پنجره داده‌های حرارتی در نرم‌افزار PBM

فصل چهارم: بحث و بررسی

۸۷	شکل ۴-۱) پنجره داده‌های ورودی در نرم‌افزار IranBury
۸۸	شکل ۴-۲) نمودار تاریخچه تدفین رسوبات چاه شماره 2S-22 میدان نفتی سلمان در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۸۹	شکل ۴-۳) منحنی بلوغ حرارتی چاه شماره 2S-22 بر اساس Easy %RO در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۸۹	شکل ۴-۴) منحنی بلوغ حرارتی چاه شماره 2S-22 بر اساس TTI در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۹۰	شکل ۴-۵) منحنی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی چاه شماره 2S-22 بر اساس Easy %RO در نرم‌افزار Genex
۹۰	شکل ۴-۶) منحنی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی چاه شماره 2S-22 بر اساس TTI در نرم‌افزار Lopatin
۹۱	شکل ۴-۷) منحنی تاریخچه تدفین و حرارتی چاه شماره 2S-22 نرم‌افزار IranBury
۹۴	شکل ۴-۸) نمودار تاریخچه تدفین رسوبات چاه شماره دو توسن میدان نفتی هنگام در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۹۵	شکل ۴-۹) منحنی بلوغ حرارتی چاه شماره دو توسن بر اساس Easy %RO در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۹۵	شکل ۴-۱۰) منحنی بلوغ حرارتی چاه شماره دو توسن بر اساس TTI در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۹۶	شکل ۴-۱۱) منحنی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی چاه شماره دو توسن بر اساس Easy %RO در نرم‌افزار Genex
۹۶	شکل ۴-۱۲) منحنی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی چاه شماره دو توسن بر اساس TTI در نرم‌افزار Lopatin
۹۷	شکل ۴-۱۳) منحنی تاریخچه تدفین و حرارتی چاه شماره دو توسن نرم‌افزار IranBury
۱۰۰	شکل ۴-۱۴) نمودار تاریخچه تدفین رسوبات چاه شماره E1 میدان نفتی هنگام در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۱۰۱	شکل ۴-۱۵) منحنی بلوغ حرارتی چاه شماره E1 بر اساس Easy %RO در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۱۰۱	شکل ۴-۱۶) منحنی بلوغ حرارتی چاه شماره E1 بر اساس TTI در نرم‌افزار Pars Basin Modeler
۱۰۲	شکل ۴-۱۷) منحنی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی چاه شماره E1 بر اساس Easy %RO در نرم‌افزار Genex
۱۰۲	شکل ۴-۱۸) منحنی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی چاه شماره E1 بر اساس TTI در نرم‌افزار Lopatin
۱۰۳	شکل ۴-۱۹) منحنی تاریخچه تدفین و حرارتی چاه شماره E1 نرم‌افزار IranBury

فهرست جدول ها

۵	جدول ۱-۱ تقسیم بندی مواد آلی در زغالها و سنگهای رسوبی
۱۰	جدول ۲-۱ مقادیر هدایت گرمایی برخی از سنگها و کانیها
۲۳	جدول ۳-۱ انواع معادلات فشردگی وابسته به عمق
۶۴	جدول ۱-۳ محاسبه مقادیر n و γ ، TTI_k و TTI_c برای یک توالی از رسوبات نهشته شده از ۱۰۰ سال پیش تا کنون
۹۲	جدول ۱-۴ ضخامت حفاری شده و زمان رسوب گذاری در چاه شماره 2S-22 میدان نفتی سلمان
۹۸	جدول ۲-۴ ضخامت حفاری شده و زمان رسوب گذاری در چاه شماره دو تنب (توسن)
۱۰۴	جدول ۳-۴ ضخامت حفاری شده و زمان رسوب گذاری در چاه شماره E1 هنگام

فصل اول
کلیات

۱-۱ مقدمه

نفت و گاز از زمان‌های قدیم به صورت تراوش‌های سطحی شناخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. اکتشاف نفت یک دانش قدیمی است که با جمع‌آوری قیر از تراوش‌های طبیعی سطحی به قلمرو علم وارد شد. در آن زمان نفت برای مقاصد پزشکی، گرمایی و نیز عایق‌کاری استفاده می‌شد (رضایی، ۱۳۸۰). از زمانی که حفر چاه به منظور دست‌یابی به نفت در دستور کار کاوشگران قرار گرفت، مناطقی از جهان که در آنجا چشمه‌های نفتی وجود داشت در کانون توجه جهانیان واقع شد (اشکان، ۱۳۸۳). اولین چاه اکتشافی نفت در سال ۱۷۴۵ میلادی در فرانسه و اولین چاه استخراج نفت توسط کلنل دریک در سال ۱۸۵۹ میلادی در پنسیلوانیا حفاری شد (رضایی، ۱۳۸۰). در ایران نیز اولین چاه‌های نفت در مناطقی حفر شد که در محدوده چشمه‌های نفتی قرار داشت. نخستین کسی که توانست اولین چاه نفتی را در خاورمیانه به نتیجه برساند فردی به نام دارسی بود که در سال ۱۹۰۸ میلادی میدان نفتی مسجدسلیمان را در حوضه رسوبی زاگرس کشف کرد (اشکان، ۱۳۸۳). این آغازی برای اکتشافات زیر سطحی نفت در خاورمیانه بود. امروزه اکثر شرکت‌های نفتی استفاده از نمودارهای ژئوشیمی آلی را برای اکتشاف نفت و گاز الزامی دانسته و بدون اطلاعات ژئوشیمیایی اقدام به حفاری نمی‌کنند. استفاده از پارامترهای ژئوشیمیایی ریسک حفاری را نصف نموده و کارایی پیش‌بینی وجود هیدروکربن‌ها را در مقایسه با استفاده از داده‌های ساختمانی و تله‌های نفتی به دو برابر افزایش می‌دهد (Murriss, 1984).

مدل‌سازی بلوغ حرارتی که شامل بلوغ نشانگرهای حرارتی، تولید و شکست هیدروکربن است، کاربرد گسترده‌ای در ارزیابی ریسک اکتشاف دارد (Huvaz et al., 2007). مهم‌ترین هدف مدل‌سازی تولید نفت و گاز، تعمیم بلوغ حاصل از چاه‌ها به همه حوضه با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و نیز بازسازی پیشرفت بلوغ در طی زمان براساس فرمول‌های ریاضی است (Bordenave, 1993). روش‌های متعارف برای ارزیابی نوع ماده آلی، غنای ماده آلی و بلوغ حرارتی سنگ‌های منشأ احتمالی به نمونه نیاز دارد، اما حتی در مناطق اکتشافی نیز نمونه‌های زیرسطحی بسیار محدود هستند و مشکل اصلی در اکتشاف، برون‌یابی بسیار وسیع و در فواصل طولانی از نقاط کنترلی بسیار اندک است (Barker, 1996). همچنین، اطلاعات مرحله کنونی تاریخچه حرارتی سنگ‌ها را که حاصل فرایندهای طولانی مدت و پیچیده است نشان می‌دهد (Bordenave, 1993). آگاهی از زمان گذشته برای بازسازی وقایع حرارتی و زمین‌شناسی اهمیت بسزائی در اکتشاف دارد (Barker, 1996). پنجره نفتی نیز که در ارزیابی عمق و بلوغ

کنونی سنگ منشأ نفت - به‌ویژه زمانی که با دیگر فاکتورهای بلوغ تلفیق شود - مفید است، نمی‌تواند نشان دهد که تولید نفت در چه زمانی آغاز شده، چه مدت طول کشیده و یا واقعاً در چه عمقی رخ داده است. همچنین اگر نمونه‌های خوبی از چاه در دسترس نباشند و یا اگر آنالیزها نتوانند پنجره نفتی را نشان دهند، تعریف واضحی از واحدهای تولیدی وجود ندارد. زمان تولید نفت نیز در ارتباط با شکل‌گیری ساختارها، نفت‌گیرهای چینه‌ای و گسل‌هایی که می‌توانند به‌عنوان مسیر مهاجرت عمل نمایند، بسیار مهم است. این اطلاعات را می‌توان با استفاده از مدل‌سازی تاریخچه زمان-حرارت سنگ منشأ به دست آورد (Hunt, 1996). نیاز به ارزیابی بلوغ حرارتی یک سنگ منشأ و ارزیابی دیگر فرایندهای مرتبط با دما مانند تولید هیدروکربن و خروج آن، مدل‌سازی تاریخچه حرارتی را به یک موضوع مرکزی در اکتشاف نفت تبدیل کرده است (Thomsen, 1998). این روش مدل‌سازی به ساختن منحنی‌های تدفین سنگ‌های منشأ و دماهای دیرینه که سنگ‌ها در زمان زمین‌شناسی تحمل کرده‌اند، نیاز دارد (Bordenave, 1993). اگرچه مدل‌های مختلف بلوغ از آغاز تا میانه دهه ۱۹۷۰ میلادی در تعدادی از شرکت‌های مهم نفتی استفاده شد، اما مدل‌سازی بلوغ اولین بار پس از آنکه ویپلز (Waples, 1980) شاخص دما- زمان (Time-Temperature Index) لوباتین (Lopatin, 1971) را برای تولید نفت به کار برد، به صورت گسترده و جمعی مورد استفاده قرار گرفت. بسیاری از استفاده‌های اولیه از مدل TTI به صورت دستی انجام شد، اما از میانه دهه ۱۹۸۰ میلادی نرم افزارهای تجاری در دسترس قرار گرفت تا ملالت و خستگی محاسبات دستی از بین برود و پس از آن از مدل‌های کینتیکی به جای TTI استفاده شد (Magoon and Dow, 1994). اکنون بسیاری از برنامه‌های نرم‌افزاری برای مدل‌سازی بلوغ در دسترس هستند که فرایند مدل‌سازی را به‌صورت قابل توجهی تسهیل می‌دهند.

در حال حاضر مدل‌سازی به عنوان یک روش مؤثر برای فهم اینکه ماشین تولید نفت چگونه کار می‌کند (یعنی زمان و مکان تولید و تجمع نفت) پذیرفته شده است و لذا برای مدل‌سازی فرایند بلوغ، لازم است با مفاهیمی مانند سنگ منشأ، کیفیت و کمیت ماده آلی موجود در سنگ منشأ آشنا بود.

۱-۲ سنگ منشأ (Source Rock)

یک سنگ منشأ نفت طبق تعریف، هر سنگی است که توانایی زایش و خروج هیدروکربن را به حدی دارا باشد که تشکیل یک تجمع نفتی یا گازی را بدهد (Hunt, 1996). تعاریفی از سنگ منشأ که شامل پدیده‌های مهاجرت و تجمع نباشد بسیار کلی می‌باشند، زیرا در عمل در تمامی سنگ‌های حاوی مواد آلی، هیدروکربن نیز تشکیل می‌شود. یک سنگ منشأ بالقوه (Potential Source Rock) سنگ منشأی است که هنوز به آن درجه از بلوغ نرسیده است تا در حالت طبیعی خود بتواند تولید پترولیوم نماید، اما هنگامی که در آزمایشگاه و یا در طول تدفین، تحت تأثیر حرارت قرار می‌گیرد، قادر به تولید مقادیر قابل توجهی پترولیوم می‌باشند.

یک سنگ منشأ مؤثر (Effective Source Rock) سنگ منشائی است که پترولیوم در آن تقریباً تشکیل شده و به سمت مخزن خارج گردیده است. سنگ منشأ موثر ممکن است فعال (در حال حاضر در حال تراوشات نفتی است) و یا غیرفعال (به خاطر بالآمدگی بدلیل فرسایش یا سرد شدگی) باشد.

واژه کروژن در ابتدا به ماده آلی موجود در شیل‌های نفتی اطلاق می‌شد که در اثر حرارت تولید نفت می‌نمود. بعدها، این واژه به تمامی ماده آلی پخش شده در سنگ‌های رسوبی اطلاق می‌شد که در اسیدهای غیراکسیدان، بازها و حلال‌های آلی غیرقابل حل بودند (Hunt and Jamieson, 1956). کروژن موجود در سنگ‌های رسوبی دارای چهار منشأ اصلی شامل دریا، دریاچه، خشکی و بازیابی شده (Recycled). اغلب نفت جهان، از کروژن‌های دریایی و دریاچه‌ای تشکیل شده‌اند، در حالی که اغلب زغال‌های جهان را گیاهان خشکی تولید می‌کنند و کروژن‌های بازیابی شده غالباً خنثی هستند. توانایی نسبی سنگ منشأ برای زایش پترولیوم به وسیله مقدار کل کربن آلی (TOC) و کیفیت آن (بالا یا پایین بودن میزان هیدروژن) تعریف می‌شود. یک سنگ منشأ چه پترولیوم تولید کرده باشد و چه نکرده باشد، به واسطه قرارگیری در مرحله بلوغش تعریف می‌شود (نابالغ، بالغ و یا بیش از حد بالغ).

۱-۲-۱-۱ کمیت ماده آلی

مقدار ماده آلی تحت عنوان کل کربن آلی (TOC)، بیان می‌شود. کارایی کلی تبدیل کربن آلی موجود در سنگ منشأ به کربن موجود در مخازن نفتی، پایین است. این مقدار به طور کلی کمتر از ۱۵ درصد وزنی است (Hunt, 1979). رنگ سنگ می‌تواند به عنوان معیاری برای میزان TOC سنگ قلمداد شود، اما نمی‌توان همیشه آنرا به عنوان یک شاخص معتبر برای میزان TOC قلمداد کرد. بهتر است که استفاده از رنگ سنگ، به عنوان شاخصی برای میزان TOC، همواره توسط داده‌های آزمایشگاهی پشتیبانی شود. مقدار TOC در سنگ‌ها به شدت وابسته به اندازه دانه‌های رسوب می‌باشد. مقدار TOC بالا در رسوبات نشان می‌دهد که نگهداری ماده آلی و نیز انتقال آن به خوبی صورت گرفته است، و این امر به سبب تولید زیاد ماده آلی نمی‌باشد. کمترین میزان نگهداری مواد آلی در بخش‌های با انرژی بالای نواحی ساحلی و دریاچه‌های بسته صورت می‌گیرد؛ جایی که تولید ماده آلی در ستون آب به اندازه لازم می‌باشد اما جریان‌های قوی آب که حاوی مقادیر بالایی اکسیژن هستند، تخریب زیستی و نیز شیمیایی TOC را شدت می‌بخشند. به طور کلی نگهداری TOC از رسوبات ته‌نشین شده در مناطق با انرژی بالا به طرف رسوبات ته‌نشین شده در مناطق با انرژی پایین افزایش می‌یابد.

۱-۲-۱-۲ کیفیت ماده آلی

تمایز بین انواع مختلف کروژن به دلیل دارا بودن پتانسیل‌های هیدروکربنی متفاوت برای ارزیابی سنگ منشأ الزامی است. این تمایزات از نوسانات در ساختارهای شیمیایی کروژن ایجاد می‌گردد.

بقایای باکتری، فیتوپلانکتون، زئوپلانکتون و گیاهان عالی به عنوان مهم‌ترین تشکیل دهنده‌های اجزای کروژن در رسوبات شناخته شده‌اند. تفاوت‌های شیمیایی مهمی بین موجودات آبی با موجودات خشکی وجود دارد. این تمایزها از این اصل سرچشمه می‌گیرد که گیاهان خشکی برای محافظت نیاز به پلیمرهایی هم‌چون لیگنین دارند، در حالی که موجودات آبی نیاز به چنین پلیمرهایی ندارند (کمالی و همکاران، ۱۳۸۵).

مهمترین فاکتور در کنترل تولید نفت و گاز محتوی هیدروژن مواد آلی است. میزان تولید و خروج پترولیوم با افزایش نسبت اتمی هیدروژن به کربن (H/C) ماده آلی افزایش می‌یابد. تقریباً می‌توان تمام مواد آلی را به دو گروه اصلی ساپروپلیک (Sapropelic) و هومیک (Humic) تقسیم‌بندی نمود که این تقسیم‌بندی را می‌توان در جدول (۱-۱) مشاهده کرد (Potonie, 1908).

جدول ۱-۱ تقسیم بندی مواد آلی در زغال‌ها و سنگ‌های رسوبی (Potonie, 1908)

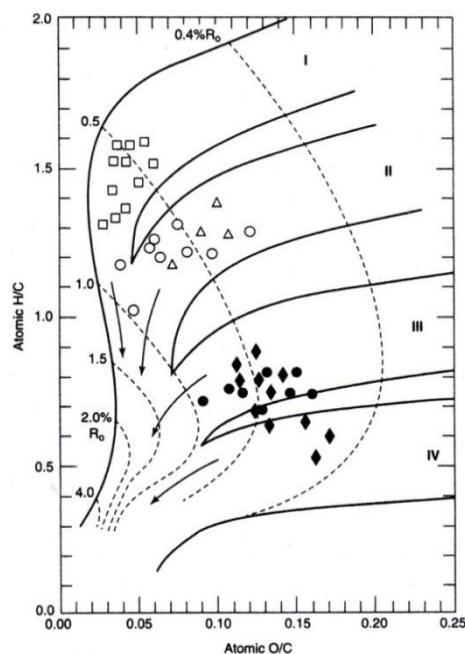
	Sapropelic		Humic	
Coal Maceral Groups	Liptinite (exinite)		Vitrinite	Inertinite
Coal Maceral	Alginite Cerinite Sporinite Cutinite Resinite Liptodetrinite		Telinite Telocollinite Desmocollinite Vitrodetrinite	Fusinite Inertodetrinite Sclerotinite Macrinite
	Fluorescent	Amorphous	Nonfluorescent	Amorphous
Kerogen Types	I	II	III	IV
H/C	1.9 to 1.0	1.5 to 0.8	1.0 to 0.5	0.6 to 1
O/C	0.1 to 0.02	0.2 to 0.02	0.4 to 0.02	0.3 to 0.01
Source	Marine, Lacustrine Terrestrial		Terrestrial and Recycled	

واژه ساپروپلیک به موادی اطلاق می‌شود که حاصل تجزیه و پلیمریزه شدن مواد آلی لیپیدی از قبیل هاگ‌ها و جلبک‌های تک سلولی پلانکتونیک رسوب یافته در گل‌های دریایی یا دریاچه‌ای باشند که معمولاً تحت شرایط محیط عاری از اکسیژن تشکیل می‌شوند (Hunt, 1996).

مواد آلی هومیک به مواد حاصل از تجزیه و پلیمریزه شدن لیگنین، تنین (Tannin)، سلولزهای گیاهی و ماده آلی کربونیزه گفته می‌شود که در مرداب‌ها تحت شرایط اکسیداسیون انباشته می‌شود (اشکان، ۱۳۸۳).

۱-۲-۳ بلوغ ماده آلی

تکامل حرارتی سنگ منشأ باعث تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی ماده آلی می‌شود. دیاگرام H/C در مقابل O/C توسط ون کرولن (۱۹۶۱) به عنوان یک روش ساده و سریع برای پیگیری فرآیندهای شیمیایی که در طول بلوغ زغال رخ می‌دهد، رسم گردیده است. در صورتی که عناصر اصلی زغال را کربن، هیدروژن و اکسیژن تشکیل دهند، تغییرات ترکیب زغال در طول تدفین، توسط رسم نسبت‌های اتمی H/C در مقابل O/C مشخص می‌شود. در دیاگرام ون کرولن از سمت راست به چپ و در امتداد خطوط زغالی شدن اکسیژن نسبت به کربن، در حال کاهش است که این امر به دلیل تشکیل CO₂ یا H₂O می‌باشد. همچنین در دیاگرام مذکور با حرکت کردن از بالا به پائین، میزان هیدروژن نسبت به کربن کاهش می‌یابد که به خاطر تشکیل نفت و گازی است که دارای نسبت‌های H/C بالاتری نسبت به سایر کروژن‌ها و یا زغال‌ها می‌باشد. نقطه پایانی تمام واکنش‌ها، در منتهی‌الیه گوشه چپ دیاگرام می‌باشد، جایی که تمامی مواد آلی باقی‌مانده گرافیت را تشکیل می‌دهند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱) دیاگرام ون کرولن که نشان دهنده چهار نوع کروژن با درجه بلوغ متفاوت است. کروژن‌ها در اثر افزایش حرارت به سمت چپ پائین نمودار حرکت می‌کنند. مربع توخالی نشان‌دهنده کروژن نوع I، علامت مثلث و دایره توخالی کروژن نوع II، دایره توپر کروژن نوع III و لوزی توپر کروژن نوع IV را نشان می‌دهد (Jones, 1987; Peters, 1986).

۱-۳ عوامل موثر بر تولید هیدروکربن

بنظر می‌رسد Bergius در سال ۱۹۱۳ اولین کسی باشد که تاثیر توام حرارت و زمان در بلوغ ماده آلی را اذعان کرده است. دما از فاکتورهای مهم در زایش نفت است و گستره دمایی در حدود 100°C برای پوشش کامل گستره زمانی نفت‌های شناخته شده کافی است. اگر نرخ تولید نفت بطور تقریبی به ازاء هر ده درجه سانتی‌گراد افزایش دما دو برابر گردد در نتیجه 100 درجه سانتی‌گراد باعث افزایش 2^{10} (۱۰۲۴) برابری این نرخ خواهد شد. بنابراین دامنه دمایی 100 درجه سانتی‌گرادی می‌تواند اثری معادل کل دامنه سن زمین‌شناسی شناخته شده داشته باشد. دما همچنین نقش مهمی را در فرایندهایی که تاثیر مشخصی را در ترکیب نفت دارد، دارا می‌باشد. برای مثال تجزیه بیوشیمیایی نفت‌ها محدود به دمای کمتر از 70 درجه سانتی‌گراد است، زیرا باکتری‌هایی که موجب تحلیل رفتن نفت‌ها می‌گردد دماهای بالا را تحمل نمی‌کنند. در دماهای بالاتر نفت‌ها تجزیه حرارتی می‌شوند و نفت‌های سبک‌تر و سپس نفت میعانی و در نهایت گاز خشک ایجاد می‌کنند. اگرچه امروزه ما قادر به اندازه‌گیری دما تا اعماق حدود 10000 متری هستیم ولی ممکن است سنگ‌های منشاء و مخزن تا اعماق بیشتری در گذشته دفن شده باشند (Barker, 1996).

انرژی گرمایی زمین حاصل از گرمای فرایندهای تدفین و یا حاصل از تلاشی عناصر رادیواکتیو می‌باشد. این انرژی گرمایی توسط فرایندهای رسانایی، همرفتی و تشعشع منتقل می‌شود. فرایند تشعشع در درون زمین یک فرایند قابل ملاحظه نیست. فرایند همرفتی نیز در انتقال حرارت تنها در بخش جبه حائز اهمیت است و در بخش پوسته بجز مکان‌هایی که نرخ جریان آب بالاست مانند مناطق تخلیه مهم نمی‌باشد. بیشتر انتقال حرارت در پوسته از طریق رسانایی انجام می‌گیرد، بدین صورت که انرژی از طریق تصادم بین ملکولی منتقل می‌گردد. گرمای حاصل از فروپاشی مواد رادیواکتیو عمدتاً توسط عناصری همچون پتاسیم، اورانیوم و توریم از طریق ایزوتوپ‌های رادیواکتیو آنها ایجاد می‌گردد، 80% دمای تولیدی کنونی زمین توسط تشعشع مواد رادیواکتیو درون زمین و 20% باقی مانده آن ناشی از سرد شدن می‌باشد (Turcotte, 1980). گرمای انتقال یافته از بخش درونی زمین به سمت سطح منتقل می‌شود و از آنجا به سمت فضا تشعشع می‌کند، این موضوع بر این امر دلالت می‌کند که درجه حرارت با افزایش عمق افزوده می‌شود و این چیزی است که معمولاً در چاه‌های عمیق و معادن دیده می‌شود (Barker, 1996).

برای بیان میزان حرارت در یک منطقه از گرادیان زمین گرمایی کمک می‌گیرند. گرادیان زمین گرمایی (dt/dz) به شرطی که انتقال حرارت در موقعیت پایدار از طریق هدایت انجام شود و تشعشع و همرفتی نیز ناچیز باشد توسط معادله زیر به دست می‌آید.

$$Q = -k \cdot dt / dz$$

در اینجا Q جریان حرارتی در جهت Z ، T حرارت و k هدایت حرارتی می‌باشد. هنگامی که جریان حرارتی با عمق ثابت باشد بنابراین در تمام چنین عمق‌هایی ($D_2 - D_1$) گستره دمایی مطابق با آن ($T_2 - T_1$) منجر به فرمول زیر می‌گردد.

$$Q = -k(T_2 - T_1)/(D_2 - D_1)$$

که در اینجا T_1 دمای اندازه‌گیری شده در عمق D_1 ، $(T_2 - T_1)/(D_2 - D_1)$ افزایش حرارت بر واحد عمق و به نام گرادیان زمین گرمایی می‌باشد این موضوع بیانگر این واقعیت است که:

گرادیان زمین گرمایی \times هدایت گرمایی سنگ = جریان گرمایی

در مدل‌سازی رژیم‌های حرارتی، درک اهمیت هر یک از این اصطلاحات بسیار مهم است. در زیر هر یک از آنها به صورت مجزا بحث شده‌اند.

۱-۳-۱ جریان گرمایی (Heat Flow)

جریان گرمایی خارج شده از سطح می‌تواند اندازه‌گیری شود و مقدار آن بر اساس mW/m^2 و یا $mcal/cm^2 \cdot sec$ گزارش می‌شود. مقدار جریان حرارتی برابر با $10^{-6} kcal/cm^2 \cdot sec$ به عنوان واحد جریان حرارتی در نظر گرفته شده و با علامت (hfu=Heat Flow Unit) نشان داده می‌شود. به طور عمومی جریان حرارتی در مناطق فعال از نظر زمین‌شناسی مانند برآمدگی‌های میان اقیانوسی فعال، ریفت‌ها و حوضه‌های پشت کمانی بالا است. مناطق پوسته قدیمی، پوسته‌های قدیمی اقیانوسی و برخی از حوضه‌های پیش‌کمانی دارای کمترین مقدار جریان حرارتی ($50 mW/m^2$) واقع می‌باشند. میزان متوسط جریان حرارتی نزدیک به $63 mW/m^2$ (1.5 hfu) است (Barker, 1996).

دمایی که به سطح زمین می‌رسد بخشی از جریان حرارتی زیر پوسته می‌باشد که در اثر سرد شدن به بیرون حرکت می‌کند، همچنین این حرارت می‌تواند ناشی از تخریب عناصر رادیواکتیویته مانند پتاسیم، اورانیم و توریم نیز باشد. این عناصر در پوسته زمین

تمرکز یافته‌اند. بخش‌های جریان حرارتی به سطح توسط فرمول زیر به یکدیگر ربط داده می‌شوند.

$$Q = AD + Q_r$$

در اینجا A حرارت ناشی از فعالیت رادیوژنیک، D ضخامت پوسته رادیواکتیو و Q_r کاهش جریان حرارتی می‌باشد.

۱-۳-۲ هدایت حرارتی (Thermal Conductivity)

حرارت از زمین اساساً از طریق هدایت انتقال می‌یابد. هدایت گرمایی توسط هدایت حرارتی سنگ که گرادیان زمین گرمایی و در نتیجه دماهای موجود در هر عمق را کنترل می‌کند بدست می‌آید. برخی از مقادیر هدایت گرمایی سنگ‌ها، کانی‌ها و سیالات مهم در مدل‌سازی حوضه در جدول (۱-۲) لیست شده است. گستره مقادیر نشان داده شده برای برخی از سنگ‌ها وابسته به عمق سنگ می‌-