

تصحیح داده های انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده با استفاده از روش "تحول فلورسانس زایی چندماسرالی" و استفاده از آن ها در مدل سازی یک بعدی چاه بینک-۴

محمدکسایی نجفی*^۱، فرامرز شعبانی^۲، مریم میرشاهانی^۱، بیوک قربانی^۱ و ارسلان زینل زاده^۱

^۱عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت

^۲کارشناس ارشد پژوهشگاه صنعت نفت

*kassaiem@ripi.ir

دریافت دی ۱۳۹۴، پذیرش اسفند ۱۳۹۴

چکیده

در مطالعات ژئوشیمیایی اکتشاف نفت، انعکاس ماسرال های تشکیل دهنده کروژن، به ویژه انعکاس ویترنیت، یکی از مهم ترین شاخص-های تعیین بلوغ حرارتی مواد آلی و تشکیل نفت و گاز است. علی رغم اینکه انعکاس ویترنیت به طور معمول با افزایش عمق دفن شدگی رسوبات افزایش می یابد، خیلی اوقات مهندسیین اکتشاف هنگام مدل سازی بلوغ حرارتی، که با استفاده از مقادیر انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده با میکروسکوپ پتروگرافی آلی فتومتر دار کالیبره می شود، با مشکل مواجه می شوند. این مشکل به سبب وجود ماسرال های مختلف و تضعیف انعکاس ویترنیت (سپرشن) به وجود می آید. برای حل مشکل تضعیف انعکاس ویترنیت دانشمندان استرالیایی با استفاده از میکروسکوپ رامان لیزری یک روش چندپارامتری به نام "تحول فلورسانس زایی چندماسرالی" را توسعه دادند که به منظور اختصار آن را فَم نامیدند. در این مقاله، به منظور آشنا نمودن خوانندگان هدف با روش فَم و نحوه استفاده از داده های حاصل از آن، ابتدا این روش به طور خلاصه معرفی شده است. سپس برای کالیبره کردن مدل یک بعدی ارائه شده برای چاه بینک-۴ از داده های انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده و داده های انعکاس به دست آمده از به کارگیری روش فَم استفاده شده است. به منظور تبیین اهمیت تصحیح داده های انعکاس ویترنیت به عنوان معمول ترین و مهم ترین پارامتر جهت کالیبراسیون مدل های حرارتی و مشخص کردن زمان و عمق زایش هیدروکربن از سنگ های منشأ پابده، گورپی، کژدمی و گدوان، داده های انعکاس ویترنیت و فَم در مدل سازی یک بعدی چاه بینک-۴ به کار برده شده و نتایج حاصل باهم مقایسه شده اند. تفاوت های زیاد نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل بلوغ با استفاده از داده های انعکاس ویترنیت معادل حاصل از روش فَم با داده های انعکاس اندازه گیری شده در روغن امرسیون، از نظر میزان پختگی، درصد تبدیل ماده آلی، گستره تولید و مقدار رانش نفت، با استفاده از نمودارهای حاصل از مدل سازی نشان داده شده اند. این تفاوت ها در استراتژی های اکتشاف بسیار تعیین کننده هستند.

کلمات کلیدی: بلوغ حرارتی، انعکاس ویترنیت، تضعیف انعکاس، فلورسانسی زایی ماسرال های چندگانه(فَم)، چاه بینک-۴.

۱. مقدمه

انعکاس ویترنیت یکی از شاخص های معتبر است که از آن، به نسبت، بیشتر از شاخص های دیگر برای تعیین مرحله بلوغ ماده آلی و شناسایی سنگ های منشأ نفت استفاده می شود. از این جهت، تغییراتی که به هردلیل در مقدار واقعی انعکاس اندازه گیری شده تأثیرگذار باشد، بایستی مشخص شوند و نتیجه گیری برای سنگ منشأ بر اساس آن ها صورت گیرد. چنانچه مسئله ای مثل ویترنیت تضعیف شده وجود داشته باشد و مورد توجه قرار نگیرد، چه بسا رسوباتی که به علت کمتر نشان داده شدن انعکاس ویترنیت فاقد بلوغ کافی برای سنگ منشأ بودن تشخیص داده شده اند، با لحاظ کردن مقدار تصحیح شده شرایط سنگ منشأ موثر را خواهند داشت. به علت وجود این مشکل تأکید می شود در روش انعکاس ویترنیت، به خصوص در شیل های دریایی غنی از ماده آلی، برای اطمینان از مقادیر انعکاس ویترنیت بایستی از شاخص بلوغ دیگری نیز استفاده شود. هانت (۱۹۹۶) انعکاس ویترنیت تضعیف شده را به عنوان یک مشکل ذکر کرده و استفاده از یک شاخص بلوغ دیگر برای اطمینان از نتایج اندازه گیری های انعکاس ویترنیت را پیشنهاد کرده است. شواهدی فراوان وجود دارند که نشان می دهند ویترنیت های موجود در زغال های هیومیکی و شیل های زغالی با ویترنیت های موجود در کروژن های نوع ۲ (منشأ دریایی) از نظر اندازه انعکاس ویترنیت اختلافی قابل توجه دارند (پرایس و بارکر، ۱۹۸۵). تیشمولر (۱۹۷۷) متوجه شد که ویترنیت های حاصل از قطعات چوبی موجود در شیل های نفتی از جمله شیل پوزیدونیا در آلمان در مقایسه با زغال های معمولی یا سیلتستونی معادل شان دارای انعکاس بسیار کمتر و فلورسانس زایی بیشتر هستند. به این علت وی همیشه از اندازه گیری انعکاس ویترنیت در سنگ های منشأ نفت اجتناب می ورزید و ترجیح می داد که از سنگ های مجاور آن ها که رسی یا سیلتی بودند، برای اندازه گیری استفاده کند. او احساس می کرد که اختلاف انعکاس از مواد اصلی منشأ آن ها و همچنین دیاژنز اولیه ناشی می شود. تضعیف به عنوان کاهش در انعکاس به سبب وجود مقداری زیاد ماسرال لپتینیت، لپیدهای آلیفاتیکی و بیتومن های حاصل از لپتینیت های همراه، تولید ویترنیت غنی از هیدروژن در محیط های رسوبی غیرهوازی و قلبیایی و وجود ویترنیت غنی از هیدروژن و آلیفاتیک حاصل از فلورهای خاص تعریف شده است. سیوالد و ایگلینتون (۱۹۹۹) تأثیر شیمیایی سیال، درجه حرارت و زمان را در حین پختگی ویترنیت به روش پیرولیز، مورد بررسی و آزمایش قرار دادند. آن ها متوجه شدند که در یک درجه حرارت خاص از پختگی هنگامیکه از سیالی با PH بالا استفاده می شود، اندازه انعکاس ویترنیت ۱/۰۶٪ تا ۱/۱۹٪ می باشد، در حالی که وقتی از سیال با PH پایین استفاده می شود، انعکاس ویترنیت ۱/۳۸٪ است. از آنجایی که شیل های دریایی در مقایسه با زغال ها در محیط هایی با PH بالاتر نهشته شده اند، این موضوع می تواند دلیلی بر وجود ویترنیت تضعیف شده باشد. پژوهشگر دیگری به نام لی ون (۱۹۹۳) برای بررسی انعکاس ویترنیت در زغال و شیل در درجات مختلف پختگی یک سری آزمایش های پیرولیزی به عمل آورد. وی دو روند مختلف پختگی برای زغال و برای ویترنیت تضعیف شده به دست آورد. روند مربوط به زغال براساس تغییر انعکاس در نمونه های آزمایشگاه در اثر پختگی زغال های هیومیکی و لیگنینیت مربوط به یوتا، وایومینگ و گلف کوست به دست آمد و روند ویترنیت تضعیف شده بر مبنای انعکاس حاصل از نمونه های وودفورت، سنگ منشأ شیلی پوزیدونیا، شیل کامبرینی آلوم حاصل شد. مقدار اختلاف انعکاس دو روند (عادی و تضعیف شده) با افزایش استرس حرارتی افزایش می یابد و تا حداکثر به ۰/۷٪ می رسد. لی ون هیچگاه زغال هیومیک را در روند تضعیف مشاهده نکرد، حتی زغال هایی که ویترنیت غنی از هیدروژن دارند نیز در این وضعیت قرار نمی گرفتند. شیل های غنی از ماده آلی با کروژن نوع ۲، مثل شیل های وودفورت، پوزیدونیا و آلوم همه در روند تضعیف قرار می گیرند. روش "تحول فلورسانس زایی چندماسرالی" که برای تشخیص ویترنیت تضعیف شده و تعیین اندازه آن توسط مرکز پژوهش های نفتی استرالیا ابداع شده، توسط آقای ویلکینز (۱۹۹۲) پیشنهاد شده است. با انجام چند پروژه تحقیقاتی در

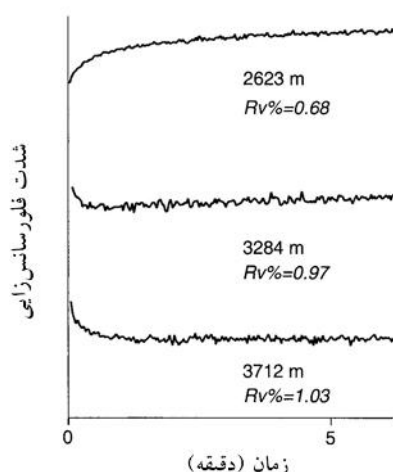
حوضه های نفتی استرالیا و چین و مقایسه نتایج آن ها با انعکاس ویترنیت نمونه های رسوبات بالایی و پایینی سازندهای بررسی شده، صحت این روش تایید و نتایج به چاپ رسیده است (ویلکینز و همکاران، ۱۹۹۲؛ کالکریوتا و همکاران، ۲۰۰۴؛ ویلکینز، ۱۹۹۲). به منظور آشنا نمودن خوانندگان هدف با روش فم و نحوه استفاده از داده های حاصل از آن، ابتدا این روش در زیر به طور خلاصه معرفی شده است. برای اطلاعات بیشتر درباره این روش و ارتباط آن با آنالیزهای انعکاس ویترنیت می توان به ویلکینز و همکاران (۱۹۹۵، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲) نیز مراجعه کرد.

۲. روش کار

در بررسی هایی که بر روی نمونه های تعدادی از چاه ها با استفاده از روش فم انجام شد، نتایجی جالب توجه به دست آمد. در این مطالعه درجه بلوغ مواد آلی نمونه های سازندهای پابده، گورپی، کژدمی و گدوان به روش معمول اندازه گیری درصد انعکاس ویترنیت، با به کارگیری میکروسکوپ پتروگرافی آلی فتومتر دار، تعیین شد و برای تصحیح داده های انعکاس ویترنیت روش معرفی شده فم به کار برده شد. داده های انعکاس ویترنیت و فم به دست آمده در مدل سازی یک بعدی چاه بینک-۴ به کار برده شده است و نتایج حاصل با هم مقایسه شده اند.

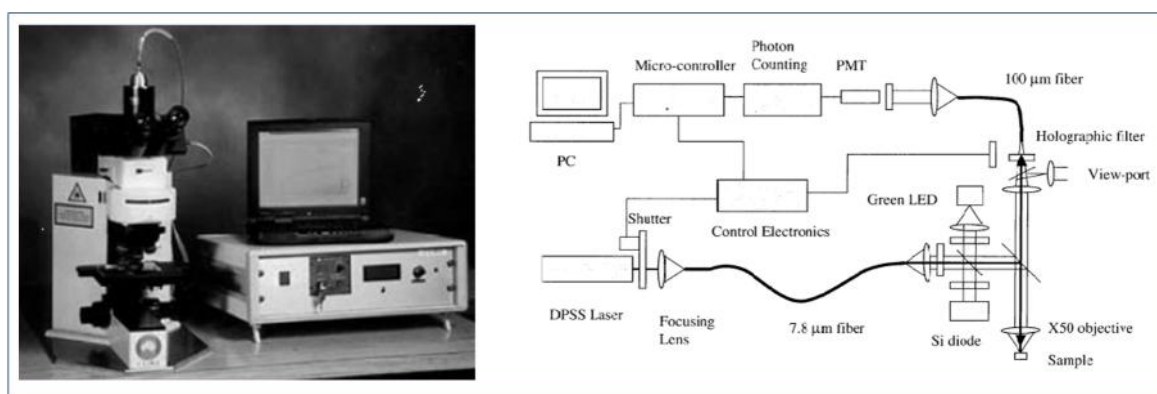
۲.۱ روش تحول فلورسانس زایی ماسرال های چندگانه (فم)

اساس و پایه روش فم، یا به بیانی دیگر، ایده اولیه این روش از کارهای تیشمولر و اوتنجان (۱۹۷۷) گرفته شده است. نامبردگان در مطالعات میکروسکوپی بر روی ماسرال های لیپتینی در نور ماوراء بنفش متوجه شدند که در مراحل مختلف بلوغ ماده آلی شدت فلورسانس زایی مواد لیپتینی که در اثر تابش نور ماوراء بنفش (به مدت نیم ساعت) تولید می شود، متفاوت است. به طوری که در مرحله دیاژنز شدت فلورسانس زایی نمونه افزایشی است و منحنی حاصل از اندازه گیری شدت فلورسانس در ۳۰ دقیقه تقریباً خطی و افزایشی است. در مرحله کاتازنز منحنی به دست آمده تقریباً به شکل خطی مستقیم و افقی است و شدت فلورسانس زایی تغییرات چندانی ندارد. در مراحل پایانی نفت زایی (مرحله تولید گاز خشک یا متاژنز) شدت فلورسانس زایی کاهش می یابد و در نهایت، مواد لیپتینی فاقد فلورسانس زایی هستند (شکل ۱).



شکل ۱. تغییر شکل منحنی های تحول فلورسانس زایی ویترنیت با افزایش عمق دفن شدگی در یکی از چاه های استرالیا از مثبت در عمق ۲۶۲۳ متر به منفی در عمق ۳۷۱۲ متر (تیشمولر و اوتنجان، ۱۹۷۷).

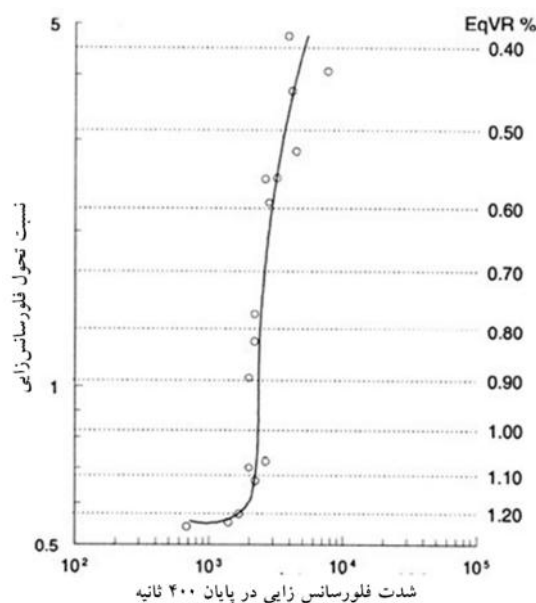
روش فم که ویلکینز آن را ابداع نمود، اندازه گیری فلورسانس زایی مواد آلی (کروژن) با استفاده از تابش نور لیزری روی ماسرال های مختلف گروه های لپتینیت، ویترنیت و اینترتیت بود. وی و همکارانش با استفاده از میکروسکوپ انعکاسی مجهز به نور لیزری، که از طریق فیبر نوری به میکروسکوپ منتقل و نهایتاً با یک سوراخ به قطر ۲ میکرومتر بر روی ماسرال مورد نظر تابانده می شود، تغییرات شدت فلورسانس ماسرال های مختلف را می توان اندازه گیری کرد. نور فلورسانسی که به طور پیوسته در اثر این تابش تولید می شود به وسیله فتومولتی پلایر به کامپیوتر منتقل و در هر ثانیه مقدار عددی آن مشخص می شود. این ارقام به مدت ۴۰۰ ثانیه ثبت می شوند. از نسبت شدت فلورسانس زایی اولیه (در آغاز اندازه گیری) به شدت فلورسانس زایی در پایان ۴۰۰ ثانیه (پایان اندازه گیری) به عنوان شاخص مرتبه پختگی استفاده می شود. به طور ایده آل، در هر نمونه حداقل چهار ذره از هر یک از نواع ماسرال ها (لپتینیت، ویترنیت و اینترتیت) شناسایی و شدت فلورسانس زایی آنها اندازه گیری می شود و برای هر نمونه نسبت فلورسانس زایی در شروع تابش به پایان آن در چهارصدمین ثانیه محاسبه می شود. مقادیر حاصل بر روی نمودار نسبت تغییر فلورسانس در مقابل شدت فلورسانس در ۴۰۰ ثانیه ترسیم می شوند. از مقایسه منحنی به دست آمده با "نمودار نرمال" و خطوط انعکاس ویترنیت معادل، مقدار انعکاس ویترنیت واقعی مشخص می شود (به بخش های آتی مراجعه شود). در میکروسکوپ لیزری که برای مطالعات فم به کار برده می شود، برای تحریک فلورسانس زایی و انتخاب نقطه ردیابی (به قطر یک میکرومتر) بر روی نمونه از لیزر یون آرگون ۴۸۸ نانومتری استفاده شده است. شکل هندسی این دستگاه هم کانون است به طوری که فقط تابش فلورسانسی حاصل از سطح نمونه را دریافت می کند و انجام آنالیز فم بر روی ماسرال های کوچکی که ممکن است بر روی مواد بسیار فلورسانس زا قرار گرفته باشند، را امکان پذیر می سازد (شکل ۲-الف). این وسیله از سه دستگاه شامل میکروسکوپ، بخش لیزر-الکترونیک و یک سیستم کامپیوتری تشکیل شده است. برای ارسال نور لیزر به نقطه اندازه گیری انتخاب شده بر روی نمونه از فیبر نوری و برای مشاهده و گرفتن عکس از نمونه از یک سیستم دوربین دیجیتال استفاده شده است (شکل ۲-ب). به کمک یک وسیله تمرکز تعبیه شده در دستگاه، کاربر به آسانی می تواند بر روی سطوح بسیار صیقلی مانند زغال یا شیشه تمرکز (فوکوس) کند. یک سیستم ایمنی فعال از معرض نور لیزر قرار گرفتن کاربر جلوگیری می کند.



شکل ۲. (الف) نمودار شماتیکی دستگاه اندازه گیری فم (الف) و (ب) تصویر آن.

۲.۲ منحنی های تحول فلورسانس زایی

منحنی های تحول فلورسانس زایی را می توان به عنوان برآیند اجزای مثبت (افزایش فلورسانس زایی) و منفی (کاهش فلورسانس زایی) در نظر گرفت. نظر به اینکه منحنی فلورسانس زایی ویترنیت های پایین مرتبه (از نظر بلوغ حرارتی) با انعکاس ویترنیت کمتر از ۰/۷٪ فاقد جزء منفی قابل توجهی هستند و ویترنیت های بالاتر مرتبه (انعکاس ویترنیت بیشتر از ۰/۲٪) فاقد جزء مثبت هستند، وجود هر دو جزء مثبت و منفی در ویترنیت های مرتبه های میانی بلوغ موجب حاصل شدن منحنی فلورسانس زایی می شود که نخست رفتاری منفی و پس از آن مثبت دارند. در شکل ۱ نمونه ای از تغییر شکل منحنی فلورسانس زایی با افزایش عمق در نمونه های یکی از چاه های استرالیا نشان داده شده است. گرچه شکل منحنی تحول شدت فلورسانس بیانگر مرتبه تقریبی بلوغ است، شکل منحنی تحت تاثیر پرهیدروس بودن ویترنیت نیز قرار گرفته است. علاوه بر این، شناسایی ویترنیت همیشه بدون ابهام نیست و شکل منحنی فلورسانس زایی که از برخی اینترنیت ها و لپیتنیت ها حاصل می شود ممکن است شبیه به منحنی ویترنیت های بالاتر مرتبه باشد. این مشکل با ایجاد منحنی تحول فلورسانس زایی برای بازه ای از ماسرال ها و تحلیل کردن ترکیبی از داده های به دست آمده بر روی یک نمودار تحول فلورسانس زایی برطرف شده است. با استفاده از نمودارهای تحول فلورسانس زایی می توان به آسانی داده های فم را تحلیل کرد. برای این کار دو پارامتر انتخاب می شوند: ۱- شدت فلورسانس زایی در انتهای ۴۰۰ دقیقه که به مقدار H/C ماسرال ارتباط دارد، ۲- نسبت شدت فلورسانس در پایان فلورسانس زایی به شدت آن در آغاز که یکی از شاخص های مرتبه بلوغ است. بر روی این نمودار، هریک از منحنی های تحول فلورسانس زایی به صورت یک نقطه رسم می شوند و ویترنیت های دارای ترکیب ارتوهیدروس بر روی یا در نزدیکی خط تقریباً عمودی (مربوط به ویترنیت عادی) که نشان دهنده مسیر بلوغ تلووویترنیت ارتوهیدروس است، رسم می شوند. برای کالیبره کردن نمودار برحسب میانگین انعکاس فم، می توان از نقاط داده ای ویترنیت مربوط به یک سری زغال های مرجع استفاده کرد. در شکل اولیه این نمودار، کالیبراسیون براساس زغال های پرمین، به طور عمده از استرالیا، انجام شده است (شکل ۳). در آزمایشگاه ژئوشیمی شرکت CSIRO استرالیا چند نمودار تحول فلورسانس زایی برای زغال های مربوط به زمان های زمین شناسی و گستره های جغرافیایی مختلف تهیه شده اند. این نمودارها نمونه هایی از پرمین-تریاس استرالیا، ژوراسیک استرالیا، ترشیری اندونزی و کربنیفر هلند را شامل می شوند.



شکل ۳. تعیین خط ویترنیت عادی برای یک سری از نمونه های زغال پرمین در شرق استرالیا. هریک از نقاط مشخص کننده منحنی نشان دهنده میانگین مقادیر مربوط به ۱۰ ذره تلووویترنیت در یک نمونه زغال هستند (اقتباس از ویلکینز و همکاران، ۱۹۹۲).

مشاهدات نشان داده اند که در نمودار تحول فلورسانس زایی نقاط داده ای مربوط به ماسرال های ویترنیت، اینرتنیت و لیپتنیت موجود در زغال ها و سنگ های منشأ حاوی "ویترنیت نرمال" در نزدیکی یک منحنی هذلولی شکل که خط ویترنیت های عادی را در محل انعکاس ویترنیت معادل قطع می کند، واقع می شوند. در شکل ۴، به طور مثال، نمودار تحول فلورسانس زایی چنین زغالی نشان داده شده است. در این نمودار می توان دید که در حالی که ویترنیت های ارتوهیدروس در نزدیکی مرکز نمودار واقع شده اند، اینرتنیت ها در ناحیه فلورسانس کم و لیپتنیت ها در ناحیه فلورسانس زیاد قرار گرفته اند. با توجه به اینکه برای نمونه های فروافتادگی دزفول نمودار فلورسانس زایی مخصوص تهیه نشده است، در این مطالعه برای نمونه های سازند پابده از نمودار ترشیری اندونزی و برای نمونه های سازندهای گورپی، کژدمی و گدوان از منحنی عمومی تهیه شده برای مزوزئیک استفاده شده است.

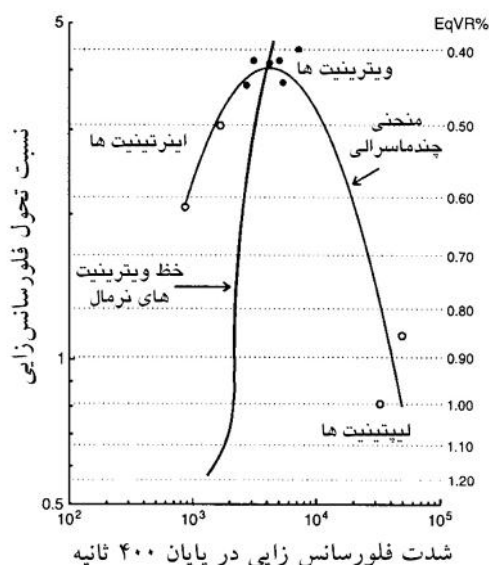
۳.۲ روش تعیین مقدار انعکاس ویترنیت براساس نمودار فم

برای کلیه نمونه هایی که حاوی ویترنیت ارتوهیدروس هستند، انعکاس ویترنیت معادل از مقدار مربوط به نقطه تقاطع منحنی چندماسرالی و خط ویترنیت های نرمال تعیین می شود.

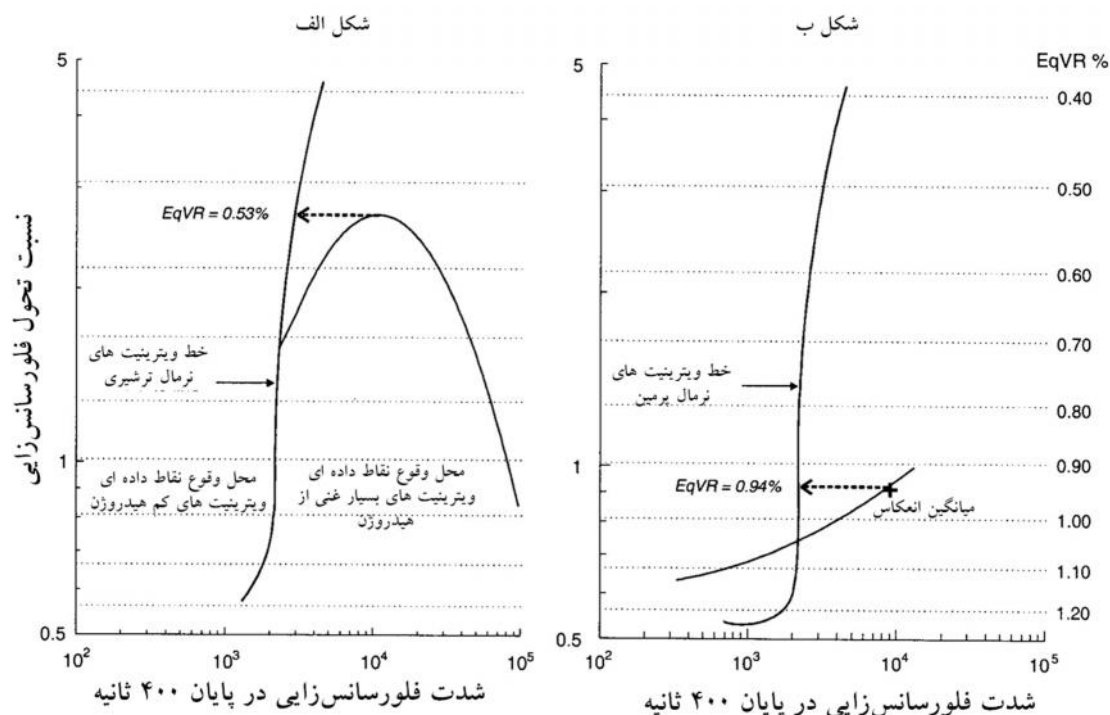
برای نمونه های حاوی ویترنیت پرهیدروس دو احتمال وجود دارد:

هنگامی که رأس منحنی چندماسرالی به طرف بالا است، مقدار معادل انعکاس ویترنیت مقدار مربوط به قله منحنی خواهد بود (شکل ۵-الف).

برای مواد آلی دارای بلوغ بالا، ممکن است رأس منحنی ماسرال های چندگانه منحنی به سمت پایین باشد (شکل ۵-ب). در این صورت، مقدار معادل انعکاس ویترنیت براساس میانگین نسبت تحول فلورسانس زایی تعیین می شود. در این حالت شناسایی صحیح جمعیت آماری ویترنیت لازم خواهد بود.



شکل ۴. نمودار تحول فلورسانس زایی (فم) برای یک نمونه زغال از اندونزی که انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده آن ۰/۴۳٪ است. در این نمودار خط ویترنیت نرمال برای ترشیری در اندونزی ایجاد شده است (اقتباس از ویلکینز و همکاران، ۱۹۹۲).



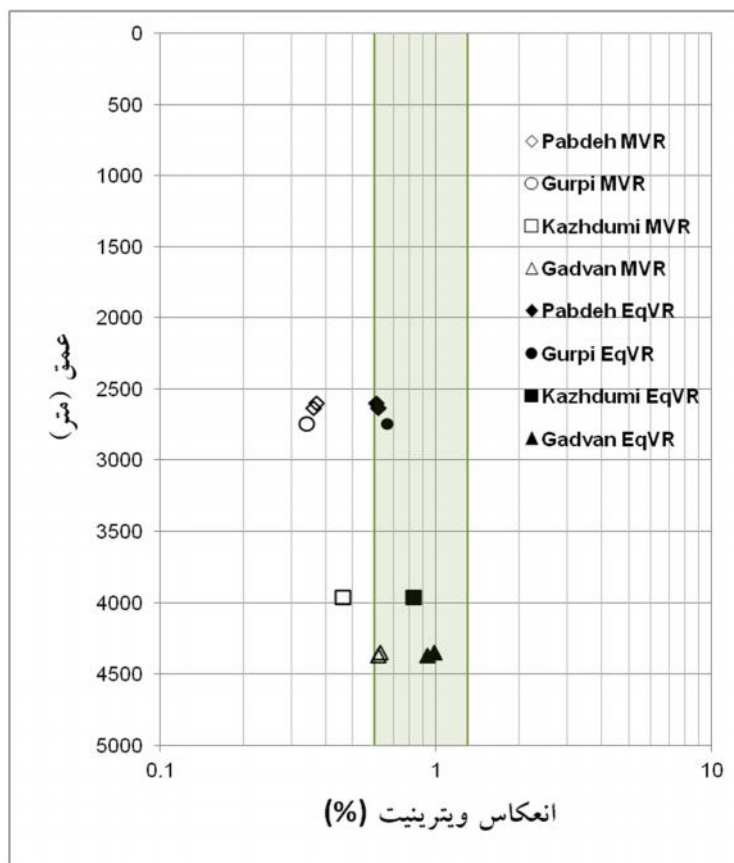
شکل ۵. در این نمودار، روش تعیین انعکاس ویترنیت معادل برای نمونه های حاوی ویترنیت های پرهیدروس به تصویر کشیده شده است. شکل الف- رأس منحنی چند ماسرالی به طرف بالا است. شکل ب- رأس منحنی چند ماسرالی به طرف پایین است (اقتباس از ویلکینز و همکاران، ۱۹۹۲).

۳. نتایج آنالیزها

داده های انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده و انعکاس ویترنیت معادل حاصل از آنالیز فم بر روی نمونه های سازندهای پابده، گورپی، کژدمی و گدوان در جدول ۱ آمده است. در این جدول مشاهده می شود که مقادیر انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده تا حدی قابل توجه (۰/۲۴ تا ۰/۳۷٪) از مقادیری که از آنالیز فم به دست آمده اند، کمتر هستند. طبق تفسیرهای انجام شده این مقدار تفاوت نشان دهنده تضعیف انعکاس در حد متوسط تا ضعیف است. بنابراین، سطح بلوغ حرارتی که براساس داده های انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده برآورد می شود تا حدی قابل توجه کمتر از واقع خواهد بود. در شکل ۶ روند تغییرات انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده و مقادیر معادل حاصل از روش فم در مقابل افزایش عمق دفن شدگی نشان داده شده است و محدوده آغاز هیدروکربن زایی و پایان آن مشخص شده است. بر روی نمودار، موقعیت نقاط داده ای انعکاس ویترنیت تصحیح نشده نشان می دهد که مواد آلی سازندهای پابده، گورپی، کژدمی هنوز به مرحله نفت زایی نرسیده اند و سازند گدون در آغاز مرحله نفت زایی قرار گرفته است؛ در حالی که داده های تصحیح شده افزایش بلوغ مواد آلی این سازندها از آغاز مرحله نفت زایی در سازند پابده تا مرحله حداکثر تشکیل نفت در سازند گدوان را نشان می دهند که با واقعیت مطابقت دارد.

جدول ۱. داده های انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده و انعکاس ویترنیت معادل حاصل از آنالیز فم بر روی نمونه های سازندهای پابده، گورپی، کژدومی و گدوان در چاه بینک-۴.

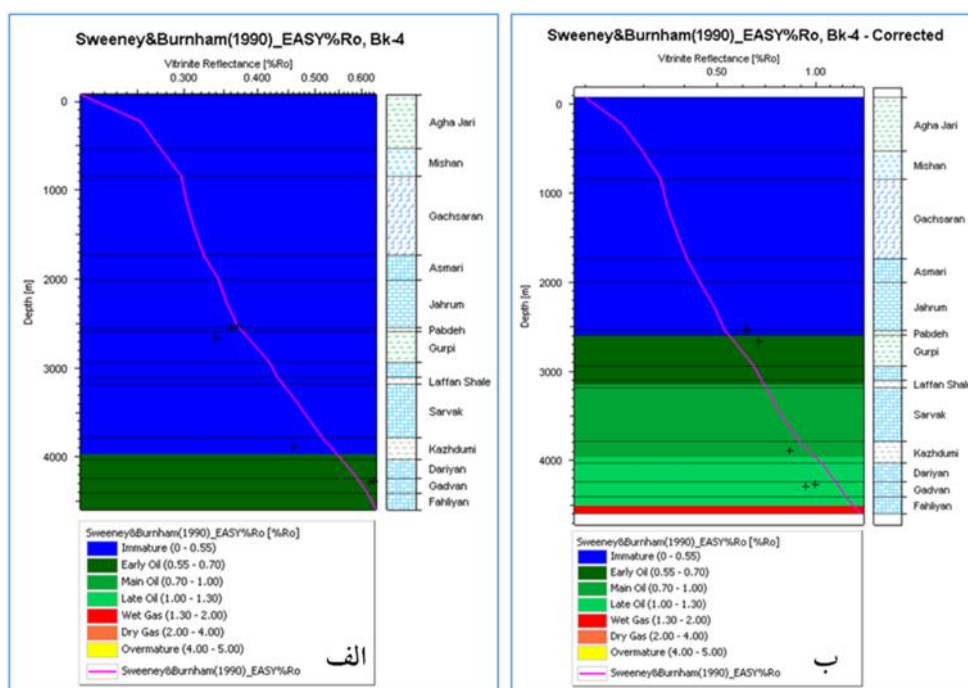
شماره نمونه	سازند	عمق (فوت)	میانگین انعکاس در R_o (روغن امرسیون) (%)	تعداد ذرات اندازه گیری	معادل انعکاس $EqVR$ ویترنیت (%)	شدت تضعیف (%)
۱	پابده	۸۵۲۵	۰/۳۷	۸	۰/۶۱	۰/۲۴
۲	پابده	۸۶۳۰	۰/۳۶	۴	۰/۶۲	۰/۲۶
۳	گورپی	۹۰۰۰	۰/۳۴	۱۲	۰/۶۷	۰/۳۳
۴	کژدومی	۱۳۰۰۵	۰/۴۶	۵	۰/۸۳	۰/۳۷
۵	گدوان	۱۴۲۷۵	۰/۶۳	۱	۰/۹۹	۰/۳۶
۶	گدوان	۱۴۳۳۴	۰/۶۲	۱	۰/۹۳	۰/۳۱



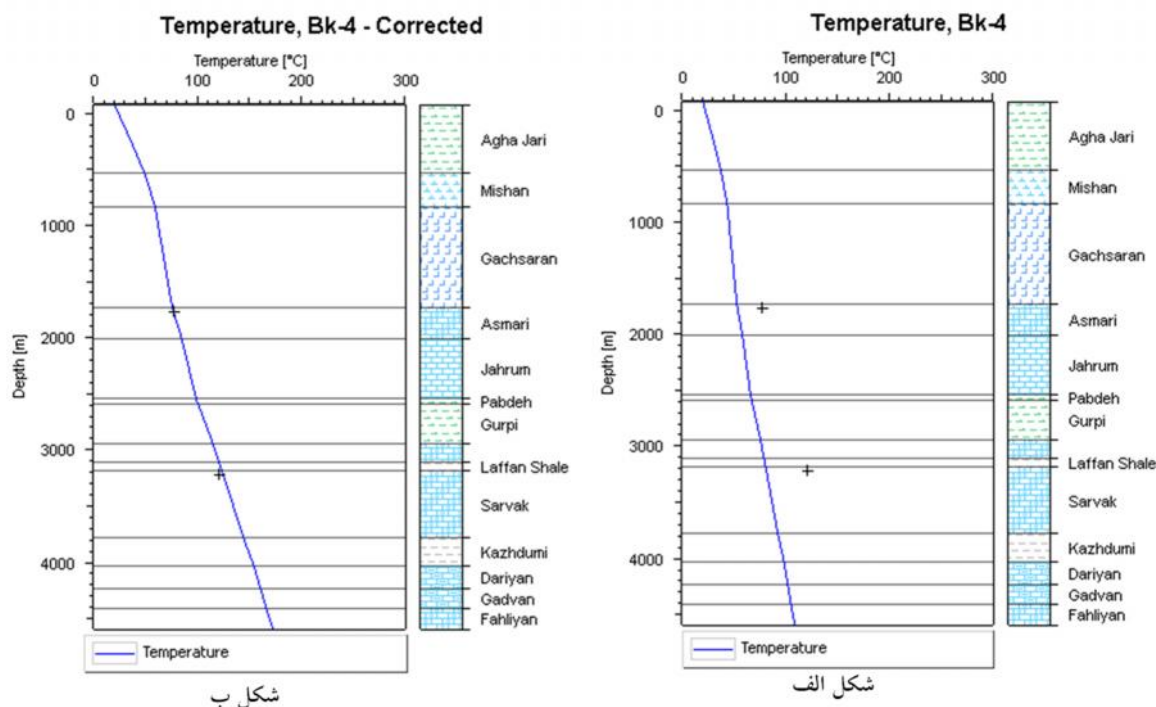
شکل ۶. روند تغییرات مقادیر انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده و مقادیر انعکاس حاصل از روش فم در مقابل افزایش عمق دفن شدگی سازندها در چاه بینک-۴ (MVR: انعکاس ویترنیت اندازه گیری شده به روش معمول و EqVR: انعکاس ویترنیت تصحیح شده با به کارگیری روش فم).

۴. مدل سازی یک بعدی چاه بینک-۴

به منظور تبیین اهمیت تصحیح داده های انعکاس ویترنیت به عنوان معمول ترین و مهم ترین پارامتر جهت کالیبراسیون مدل های حرارتی و مشخص کردن زمان و عمق زایش نفت و گاز از سنگ های منشأ مطالعه شده، داده های انعکاس ویترنیت و فم در مدل سازی یک بعدی چاه بینک-۴ به کار برده شده و نتایج حاصل باهم مقایسه شده اند. در شکل ۷ مدل بلوغ حرارتی حاصل از مدل سازی یک بعدی چاه بینک-۴ نشان داده شده است. هنگامی که برای کالیبره کردن مدل بلوغ از داده های تصحیح شده استفاده میشود (شکل ۷-الف)، در مقایسه با زمانی که با داده های تصحیح نشده کالیبره می شود، سازندهای مورد نظر بلوغی بالاتر را نشان می دهند. مدل کالیبره شده با داده ای انعکاس ویترنیت تصحیح نشده نشان می دهد که مواد آلی سازندهای پابده، گورپی و کژدومی هنوز وارد پنجره نفت زایی نشده اند و فقط سازند گدون در آغاز مرحله نفت زایی قرار گرفته است؛ درحالی که کالیبراسیون مدل با داده های تصحیح شده افزایش بلوغ مواد آلی این سازندها را، از آغاز مرحله نفت زایی در سازند پابده تا مرحله حداکثر تشکیل نفت در سازند گدوان، نشان می دهند که با واقعیت مطابقت دارد. در شکل ۸ منحنی روند بلوغ مواد آلی مدل سازی شده برای چاه بینک ۴، برای زمان عهد حاضر با استفاده از داده های دمای اندازه گیری شده سازندهای سروک و آسماری، نشان داده شده است. داده های دمای اندازه گیری شده در چاه برای کالیبره کردن جریان گرمای عهد حاضر به کار برده شده است که ادامه جریان گرمایی قدیمه کالیبره شونده با داده های انعکاس ویترنیت می باشد. همان طور که در این شکل دیده می شود، نقاط داده ای مربوط به دماهای اندازه گیری شده بر منحنی روند بلوغی که با استفاده از داده انعکاس ویترنیت تصحیح نشده کالیبره شده است، منطبق نیستند (شکل ۸-الف). این امر بیانگر عدم مطابقت روند بلوغ کالیبره شده با داده های انعکاس ویترنیت تصحیح نشده با دمای اندازه گیری شده در سازندهای ذکر شده می باشد.

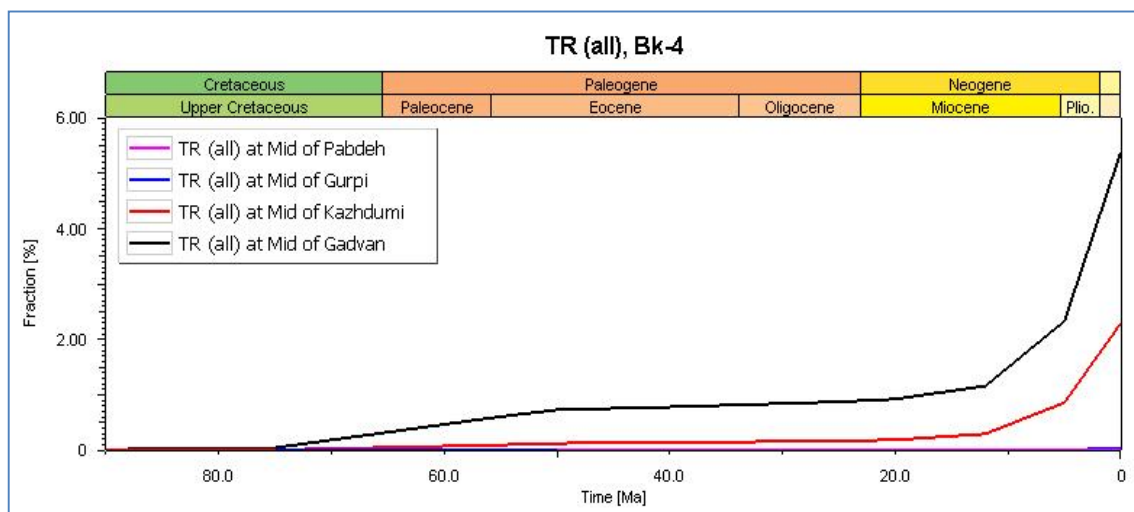
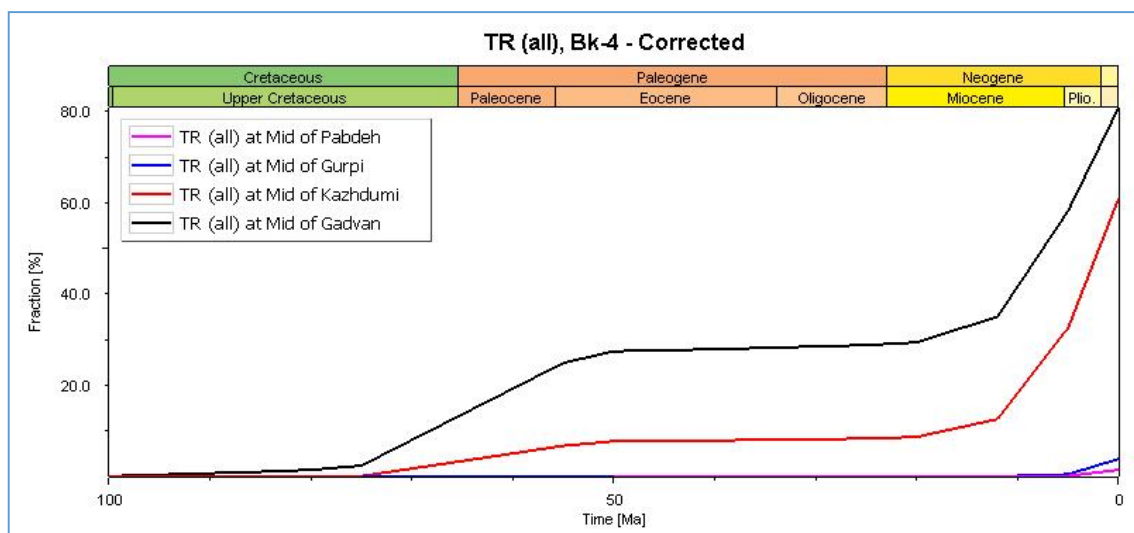


شکل ۷. مدل بلوغ کالیبره شده با مقادیر انعکاس ویترنیت تصحیح نشده (الف) و تصحیح شده (ب) برای چاه بینک-۴.



شکل ۸. مدل دما کالیبره شده با مقادیر دمای اندازه گیری شده در چاه بینک-۴: (الف) مدل های خروجی انعکاس و پترینیت تصحیح نشده و (ب) مدل های خروجی انعکاس و پترینیت تصحیح شده چاه بینک-۴.

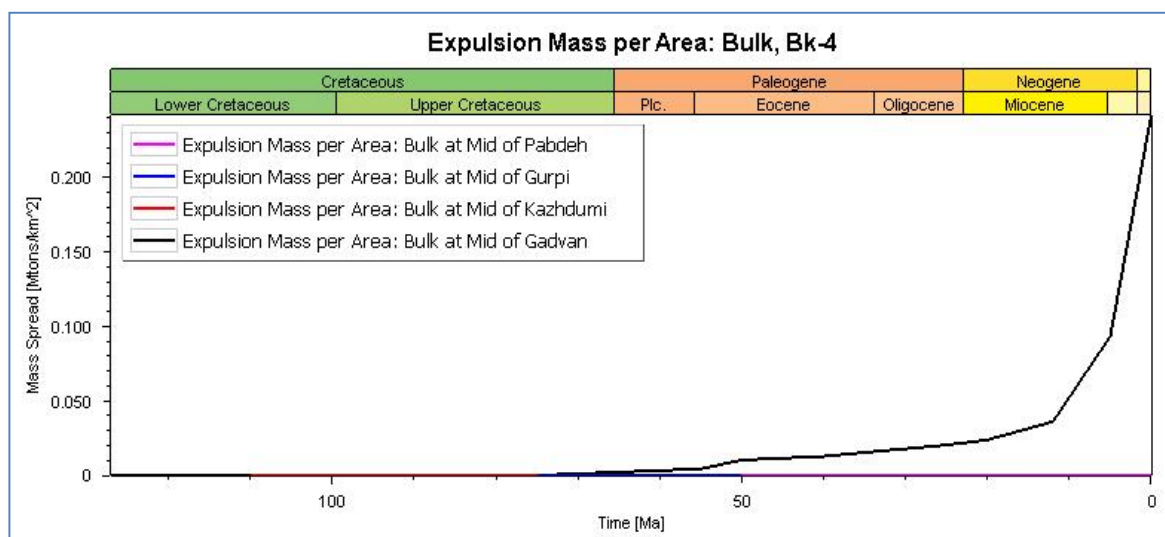
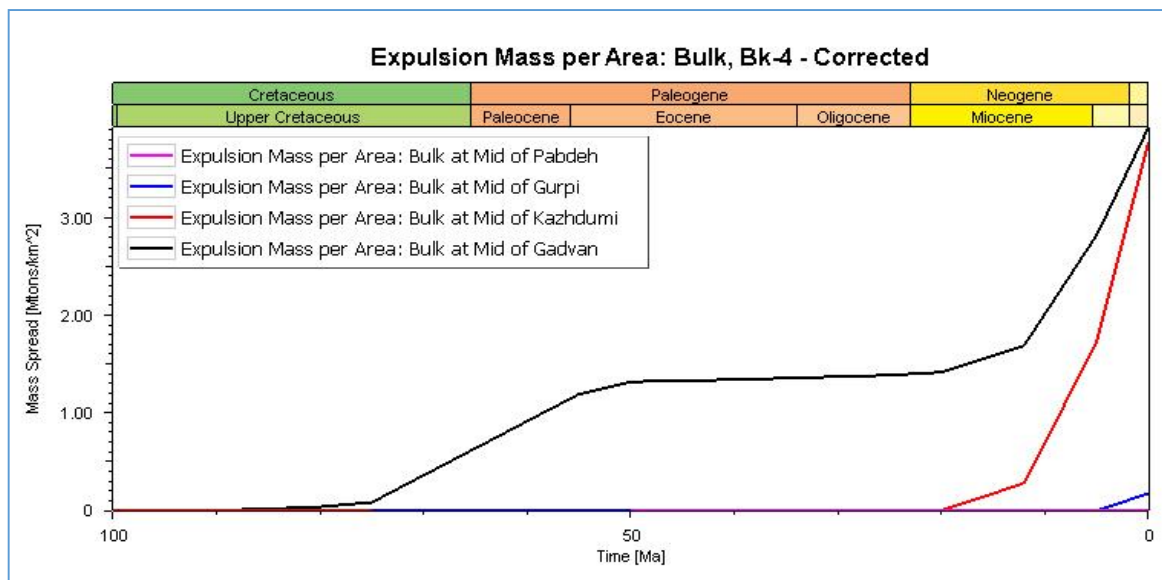
در حالی که در شکل ۸-ب نقاط داده ای مربوط به دماهای اندازه گیری شده بر روی منحنی روند بلوغی که با استفاده از داده های و پترینیت تصحیح شده کالیبره شده است، منطبق اند. این امر خود دلیلی بر تضعیف انعکاس و پترینیت در نمونه های اندازه گیری شده است. یکی از پارامترهایی که به طور مسقیم به بلوغ ارتباط دارد، نرخ تبدیل (کروژن به نفت) است. نرخ تبدیل، نسبت مقدار هیدروکربن تولید شده به حداکثر مقدار قابل تولید در یک فرایند بلوغ کامل است. در طی مرحله بلوغ، نرخ تبدیل به طور پیوسته از ۰ تا ۱۰۰٪ افزایش می یابد. در شکل ۹ مدل های نرخ تبدیل ماده آلی سازندهای پابده، گورپی، کژدمی و گدوان که با داده های انعکاس تصحیح شده و تصحیح نشده کالیبره شده اند، به عنوان مثال ارائه شده است. مدلی که با استفاده از داده های درصد انعکاس تصحیح نشده کالیبره شده است (شکل ۹-الف) نشان می دهد که هیچ بخشی از ماده آلی موجود در سازند پابده و گورپی به هیدروکربن تبدیل نشده است و مقدار تبدیل شده از سازند کژدمی و گدوان بسیار اندک (حدود ۲۰٪ و ۵۰٪) است؛ درحالی که مدلی که با استفاده از داده های انعکاس تصحیح شده کالیبره شده است (شکل ۹-ب) نشان میدهد که مقداری بسیار اندک از ماده آلی سازند پابده و گورپی و بخش بزرگی از مواد آلی سازند کژدمی و گدوان (حدود ۶۵٪ و ۸۰٪) به هیدروکربن تبدیل شده است. مقدار رانش نفت از سنگ منشأ پارامتر دیگری است که نشان دهنده مرتبه بلوغ است. برای اینکه نفت تولید شده در سنگ منشأ از آن خارج شود، باید مقدار آن به آستانه اشباع معینی برسد.



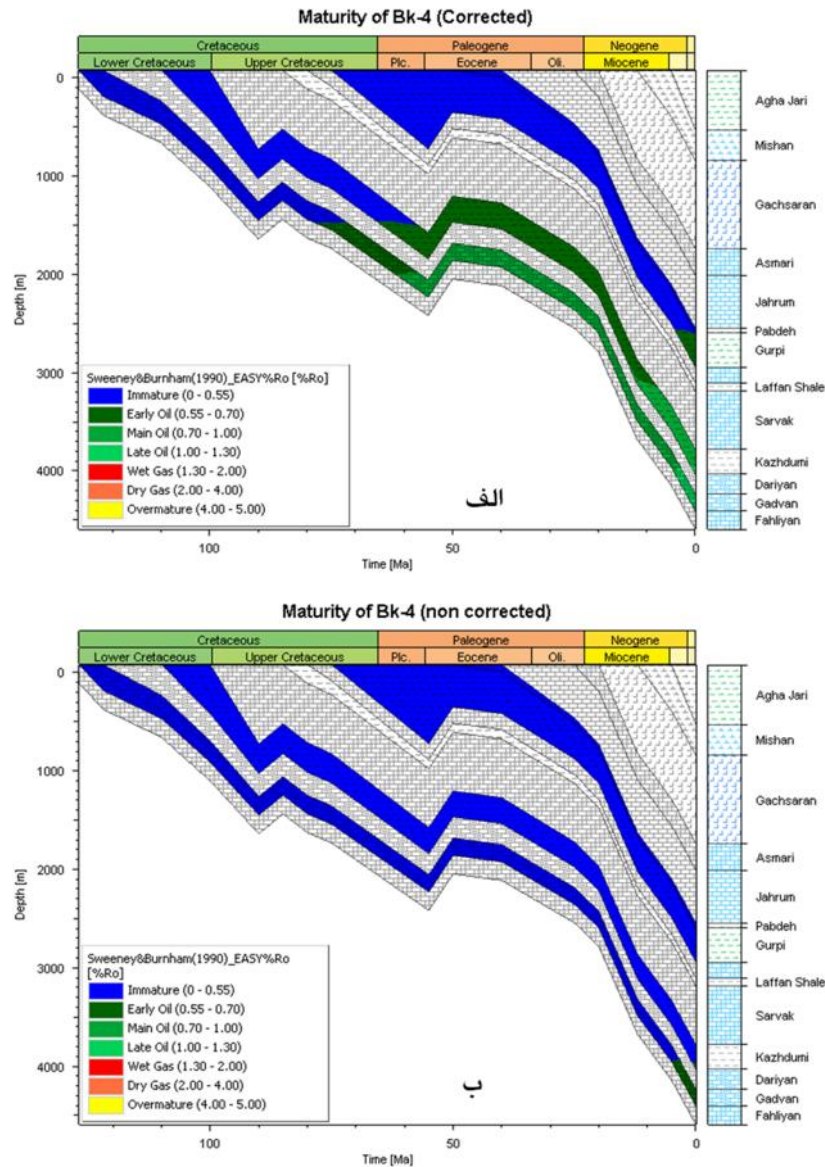
شکل ۹. نمودار درصد تبدیل مواد آلی به هیدروکربن در سازندهای منشاء پابده، گورپی، کژدمی و گدوان در اثر بلوغ؛ کالیبره شده با مقادیر انعکاس ویترنیت تصحیح شده (الف) و تصحیح نشده (ب) در چاه بینک-۴.

این آستانه به حجم فضاهای خالی درون سنگ بستگی دارد. تا قبل از این آستانه، در مراحل اولیه بلوغ ماده آلی، نفت تولید شده در سنگ باقی می ماند. اما زمانی که در اثر بلوغ بیشتر درجه اشباع سنگ از مقدار آستانه فراتر رود، مقدار نفت اضافی تولید شده از سنگ خارج می شود. بنابراین، مقدار اشباع همواره با مقدار آستانه برابر باقی می ماند. در شکل ۱۰ نمودارهای جرم هیدروکربن رانده شده از چهار سازند منشاء پابده، گورپی، کژدمی و گدوان در چاه بینک-۴، که با استفاده مقادیر انعکاس ویترنیت تصحیح شده و تصحیح نشده کالیبره شده اند، نشان داده شده است. براساس نمودار ۱۰-الف، از سازندهای پابده، گورپی و کژدمی هیچ نفتی رانده نشده است و مقدار نفت رانده شده از سازند گدوان بسیار ناچیز است. در حالی که نمودار ۱۰-ب، که با استفاده از داده های تصحیح شده کالیبره شده است نشان می دهد که از سازند کژدمی و گدوان مقداری نفت خارج شده است. تاریخچه تدفین رسوبات سازندها در چاه بینک-۱ بازسازی شده و توسط شکل ۱۱ نشان داده شده است. در حالتی که کالیبراسیون با استفاده از داده های تصحیح نشده انجام شده است (شکل ۱۱-الف)، این نمودار نشان می دهد

که هیچ یک از سازندهای پابده و یا کژدمی به مرحله نفت زایی نرسیده اند و تنها سازند گدوان در مرحله اولیه پنجره نفتی قرار دارد. درحالی که کالیبراسیون با داده های تصحیح شده نشان می دهد که سازند کژدمی و گدوان در زمان حاضر در مرحله تولید عمده نفت قرار دارد.



شکل ۱۰. نمودار مقدار هیدروکربن رانده شده از چهار سازند منشاء پابده، گورپی، کژدمی و گدوان در چاه بینک-۴؛ کالیبره شده با مقادیر انعکاس ویترنیت تصحیح شده (الف) و تصحیح نشده (ب).



شکل ۱۱. نمودار تاریخچه تدفین-پختگی دو سازند منشاء پایده و کژدمی در چاه بینک-۴؛ کالیبره شده با مقادیر انعکاس ویتترینیت تصحیح شده (الف) و تصحیح نشده (ب).

۴. نتیجه گیری

روند تغییرات انعکاس ویتترینیت تصحیح نشده در مقابل افزایش عمق دفن شدگی نشان می دهد که مواد آلی سازندهای پایده، گورپی، کژدمی هنوز به مرحله نفت زایی نرسیده اند و سازند گدون در آغاز مرحله نفت زایی قرار گرفته است؛ درحالی که روند تغییرات انعکاس ویتترینیت تصحیح شده (با استفاده از روش فم) افزایش بلوغ مواد آلی این سازندها را، از آغاز مرحله نفت زایی در سازند پایده تا مرحله حداکثر تشکیل نفت در سازند گدون، نشان می دهند که با واقعیت مطابقت دارد. مدل بلوغ حرارتی حاصل از مدل سازی یک بعدی چاه بینک-۴ نشان می دهد هنگامی که برای کالیبره کردن مدل از داده های تصحیح شده استفاده می شود (شکل ۷-الف)، در مقایسه با زمانی که از داده های تصحیح نشده استفاده می شود،

سازندهای مطالعه شده بلوغی بالاتر را نشان می دهند. نمودارهای روند بلوغ مواد آلی مدل سازی شده برای چاه بینک ۴، که با استفاده از داده های انعکاس ویترنیت تصحیح شده و تصحیح نشده کالیبره شده اند، همراه با داده های دماهای اندازه گیری شده در سازندهای سروک و آسماری، ارائه شده اند. در این نمودارها مشاهده می شود هنگامی که روند بلوغ مدل سازی شده با استفاده از داده های انعکاس ویترنیت تصحیح نشده کالیبره می شود، منحنی روند بلوغ بر نقاط داده ای مربوط به دماهای اندازه گیری شده منطبق نمی شود؛ در حالی که منحنی روند بلوغ که با استفاده از داده های ویترنیت تصحیح شده کالیبره شده است، بر این نقاط داده ای منطبق است. این امر خود دلیلی بر وقوع پدیده تضعیف انعکاس ویترنیت در نمونه های اندازه گیری شده است. نمودار نرخ تبدیل ماده آلی به هیدروکربن، که با استفاده از داده های انعکاس تصحیح نشده کالیبره شده است، نشان می دهد که هیچ بخشی از مواد آلی موجود در سازند پابده و گورپی به هیدروکربن تبدیل نشده است و مقدار تبدیل شده در سازند کژدمی و گدوان بسیار اندک است؛ درحالی که نمودار نرخ تبدیل، که با استفاده از داده های انعکاس تصحیح شده کالیبره شده است، نشان می دهد که مقداری اندک از مواد آلی سازند پابده و بخشی بزرگ از مواد آلی سازند کژدمی و گدوان به هیدروکربن تبدیل شده است. نمودارهای مدل سازی جرم هیدروکربن رانده شده از دو سازند منشاء پابده و کژدمی در چاه بینک-۴، نشان داده شده است. براساس نموداری که با استفاده از مقادیر انعکاس ویترنیت تصحیح شده کالیبره شده است، از سازندهای پابده، گورپی و کژدمی هیچ نفتی رانده نشده است و مقدار نفت رانده شده از سازند گدوان هم بسیار ناچیز است. در حالی که نموداری که با استفاده از داده های تصحیح شده کالیبره شده است نشان می دهد که از سازند کژدمی و گدوان مقداری نفت خارج شده است. تاریخچه تدفین رسوبات سازندهای حفر شده در چاه بینک-۱ بازسازی شده و نمودارهای مربوطه نشان داده شده اند. درحالی که کالیبراسیون با استفاده از داده های تصحیح نشده انجام شده است، نمودار مربوطه نشان می دهد که هیچ یک از سازندهای پابده، گورپی و کژدمی به مرحله نفت زایی نرسیده اند و فقط سازند گدوان در مرحله ابتدایی پنجره نفتی قرار دارد. درحالی که کالیبراسیون با داده های تصحیح شده نشان می دهد که سازند کژدمی و گدوان در زمان حاضر در مرحله اصلی تولید عمده نفت قرار دارد.

تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر کمالی و دکتر سلیمانی بخاطر داوری مقاله سپاسگزاری می گردد. از واحد تحصیلات تکمیلی پژوهشگاه صنعت نفت که اجازه انتشار مقاله حاضر را به اینجانبان ارائه دادند، کمال تشکر را داریم. از جناب آقای دکتر علی صیرفیان سردبیر محترم نشریه علمی - پژوهشی زمین شناسی نفت ایران و داوارن محترم که با دقت نظر موجب ارتقای کیفیت مقاله شدند، قدردانی می شود.

۵. منابع

- HUNT, J.M., 1996, *Petroleum Geochemistry and Geology*. 2nd Edition. W.H. Freeman and Company, New York, 332.
- KALKREUTHA, W., SHERWOOD, N., CIOCCARIA, G., CORRE[^]A DA SILVAA, Z., SILVAA, M., ZHONGC, N., and ZUFAD, L., 2004, The application of (Fluorescence Alteration of Multiple Macerals) analyses for evaluating rank of Parana´ Basin coals, Brazil: *International Journal of Coal Geology*, **57**, 167–185
- LEWAN, M.D., 1993, Identifying and understanding suppressed vitrinite reflectance through hydrous pyrolysis experiments (abstract): *TSOP Abstracts and Program*, **10**, 1-3.
- PRICE, L.C., and BARKER, C.E., 1985, Suppression of vitrinite reflectance in amorphous rich kerogen; a major unrecognized problem: *Journal of Petroleum Geology*, **8**, 59-84.
- SEEWALD J.S., and EGLINTON, T.I., 1999, Laboratory Simulations of Organic Matter Thermal Maturation. The Encyclopedia of Geochemistry. *Earth Science Encyclopedia Series (C.P. Marshall, ed.) Kluwer, The Netherlands*.
- TEICHMULLER, M., and OTTENJAN, K., 1977, Art und Diagenese von Liptiniten und lipoiden Stoffen in einem Erdolmuttergestein auf Grund fluoreszenzmikroskopischer Untersuchungen: *Erdöl und Kohle*, **30**, 387–398.
- WILKINS, R.W.T., WILMSHURST, J.R., RUSSELL, N.J., HLADKY, J, ELLACOTT, M.V., and BUCKINGHAM, C.P., 1992, Fluorescence alteration and the suppression of vitrinite reflectance: *Organic Geochemistry*, **18**, 629-640.
- WILKINS, R.W.T., RUSSELL, N.J., and ELLACOTT, M.V., 1994, Fluorescence alteration and thermal maturity modeling of Carnarvon Basin wells. In PURCELL, P.G., and PURECELL, R.R., (Eds.). *The sedimentary basin of Western Australia: Proceedings of the Petroleum Exploration Society of Australia Symposium, Perth*, 415-432.
- WILKINS, R.W.T., WILMSHURST, J.R., HLADKY, G., ELLACOTT, M.V., and BUCKINGHAM, C.P., 1995, Should fluorescence alteration replace vitrinite reflectance as a major tool for thermal maturity determination in oil exploration: *Organic Geochemistry*, **22**, 191-209.
- WILKINS, R.W.T., BUCKINGHAM, C.P., SHERWOOD, N., RUSSELL, N.J., FAIZ, M., and KURUSINGAL, J., 1998, The current status of the FAMM thermal maturity technique for petroleum exploration in Australia: *Australian Petroleum Production and Exploration Association Journal*, **38**, 421-437.
- WILKINS, R.W.T., DIESSEL, C.F.K., and BUCKINGHAM, C.P., 2002, Comparison of two petrographic methods for determining the degree of anomalous vitrinite reflectance: *International Journal of Coal Geology*, **52**, 45– 62.

