

## بررسی دمای مخزن در یکی از میادین گازی ایران

محمدعلی کارگورپور\* شرکت مهندسی و توسعه نفت

چکیده

آگاهی از شیب حرارتی و بالطبع دمای یک مخزن هیدروکربوری از اهمیت زیادی در مدیریت علمی مخزن برخوردار است. این امر به ویژه در یک مخزن گازی به دلیل تأثیر دما در میزان و زمان تشکیل میعانات گازی اهمیت پیدا می کند. به طور کلاسیک، انتظار می رود که در یک مخزن و در یک عمق ثابت، دمای مخزن ثابت باشد. همچنین، در صورت وجود یک سامانه ی یکنواخت هیدروکربوری در سراسر مخزن، شیب زمین گرمایی نیز در سراسر مخزن ثابت باشد. با توجه به اطلاعات کسب شده در زمان حفاری دو حلقه چاه ارزیابی در یکی از مخازن گازی ایران و جابه جایی شیب حرارتی در این دو حلقه چاه، مطالعه ای جهت بررسی صحت موضوع و یافتن محملی علمی برای این امر انجام شد که در اینجا، نتایج آن آورده شده است.

دمای مخزن، شیب حرارتی مخزن، شعاع حرارتی، تغییرات دمای مخزن در عمق ثابت

واژگان کلیدی

### مقدمه

تعیین دمای یک مخزن هیدروکربوری از یک طرف از اهمیت زیادی برخوردار است و از طرف دیگر، به دلیل اندازه گیری آن توسط ابزار درون چاهی، با مشکلاتی شبیه مسائل اندازه گیری فشار مخزن همراه است. تقریب خوب دمای مخزن به خصوص در مخازن گازی اهمیت زیادی دارد. دمای یک مخزن گازی تأثیر مستقیمی بر تعیین فشار نقطه شبنم<sup>۱</sup> دارد که این امر نیز بر میزان میعان گاز در مخزن و بر میزان میعانات در تولید گاز در سیستم های فرآورش اثر گذار خواهد بود. میزان میعانات در مخزن به دلیل تأثیری که بر تراوایی نسبی سنگ مخزن دارد، بر عملکرد مخزن و به خصوص بر بازدهی چاه ها در طی بازه زمانی عمر مفید آن ها مؤثر است. همچنین، میزان مایعات حاصل در سطح زمین بر میزان درآمد حاصل از توسعه یک مخزن گازی تأثیر به سزایی دارد و در نتیجه در روند اخذ تصمیم نهایی برای توسعه یک مخزن گازی در اولویت قرار می گیرد. بدین ترتیب، ملاحظه می شود که دمای مخزن نه تنها در مدیریت بهینه یک مخزن گازی بلکه بر اقتصاد توسعه مخزن نیز تأثیر گذار است. در دست داشتن بیشترین اطلاعات از یک مخزن هیدروکربوری و به خصوص داده هایی مثل فشار و دما که بدون تعبیر و تفسیر و به صورت مستقیم قابل اندازه گیری است، در مدیریت بهینه مخزن از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین لحاظ، از طرف شرکت های خدماتی، ابزارهای مختلفی برای این منظور ابداع و به صنعت نفت معرفی شده اند. در سال ۱۹۷۵ میلادی ابزار آزمایش مکرر سازند<sup>۱</sup> (RFT) به بازار معرفی شد که قادر به اندازه گیری فشار نقاط مختلف مخزن طی یک عملیاتی

درون چاهی با استفاده از توپک و جدایی سازند از سیال درون چاه بود. با استفاده از این فشارها، اطلاعات مهمی در مورد سیال مخزن و سطوح تماس به دست می آید.

طی دهه های اخیر، این ابزار کامل تر شده و تحت نام MDT<sup>۳</sup> به بازار عرضه شده است. MDT علاوه بر کاربردهای RFT، قابلیت های دیگری از جمله نمونه گیری ته چاهی را داراست.

### ۱- داده های موجود

در میدان گازی تحت بررسی، سه حلقه چاه حفر شده است: در چاه- الف دسترسی به مخازن گازی میسر نبوده اما در چاه-ب که در ستیغ مخزن حفاری شده، کل ضخامت مخازن گازی حفاری شده است. در این چاه علاوه بر راندن MDT، آزمایش های ساق مته کامل<sup>۴</sup> نیز از چاه به عمل آمده است.

در چاه-ج که در دامنه مخزن قرار دارد، بخش عمده ی مخازن گازی حفاری شده است. در این چاه نیز ابزار MDT رانده شده و در یکی از آزمایش های تولید، علاوه بر آزمایش ساقه مته ی کامل، نمودار تولید<sup>۵</sup> نیز گرفته شده است.

از کلیه اطلاعات به دست آمده طی آزمایش های فوق، برای تعیین شیب دما و نیز دمای مخزن استفاده شد. در شکل-۱، اطلاعات به دست آمده طی عملیات MDT در چاه های-ب و ج ترسیم شده است.

هر چند هر یک از بسته های دمایی کمابیش از یک شیب دمایی یکسان معادل ۱/۲ تا ۱/۳ درجه فارنهایت به ازای هر ۱۰۰ فوت برخوردارند، ولی

\*نویسنده عهده دار مکاتبات (kargarpour2000@yahoo.com)



دو نکته در این شکل بارز است:

- خط شیب دما نه تنها در دو چاه، جابه‌جا شده بلکه در هر یک از این چاه‌ها با تغییر ابزار و یا زمان اندازه‌گیری نیز تغییر کرده است:
- در چاه-ج، شیب دمای اندازه‌گیری شده با دو نوع دماسنج Quartz و Stain حدود ۲/۵ درجه فارنهایت جابه‌جا شده است.
- جایجایی شیب دما در ۲ حلقه چاه مذکور، به‌طور متوسط حدود ۱۶ درجه فارنهایت است.
- انحراف دما از شیب مذکور تا حدود ۲۵ درجه فارنهایت نیز قابل مشاهده است.

## ۲- اقدامات انجام شده

در طی بررسی‌های اولیه، از دو نکته اطمینان حاصل شد: اولاً به اندازه‌گیری‌های انجام شده، در محدوده دقت مهندسی، می‌توان اعتماد کرد. ثانیاً، اندازه‌گیری‌های دماسنج Quartz دقیق‌تر است. ثالثاً، در مخازن برخی میادین گازی دیگر نیز چنین پدیده‌ای مشاهده شده است. با توجه به این امر، بررسی‌هایی انجام شد که نتایج آن به شرح زیر ارائه می‌شود:

## ۲-۱- مبانی نظری

به‌طور کلی می‌توان گفت که دمای مخزن در حالت اولیه (قبل از هر گونه تولید و یا تزریق) در یک دمای متأثر از شیب دمایی زمین، تثبیت شده است. طی عملیات تولید و یا عملیات تزریق (مثلاً به دلیل گردش گل زمان حفاری)، دمای ته چاهی دهانه چاه تغییر پیدا می‌کند. این تغییرات، طبق دو فرایند همرفتی<sup>۶</sup> و هدایت<sup>۷</sup> انجام می‌شود. پس از قطع عملیات تولید و یا تزریق، دمای ته‌چاهی دهانه چاه تحت تأثیر شیب دمایی زمین، به دمای تثبیت شده‌ی مخزن برمی‌گردد. برگشت دما را با یک تقریب قابل قبول می‌توان طبق فرایند هدایت در نظر گرفت. به دلیل پیچیدگی لحاظ همزمان هر دو فرایند و جهت سادگی، مسأله تغییرات دما را

می‌توان پس از قطع جریان تا تثبیت مجدد آن، به صورت هدایت گرمایی غیریکنواخت<sup>۸</sup> لحاظ کرد.

این تغییرات از یک تابع دیفرانسیل جزئی<sup>۹</sup> همانند تغییرات فشار تبعیت می‌کند:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\alpha}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left( r \frac{\delta T}{\delta r} \right) \quad (1)$$

T: Temperature,

r: radius,

t: time,

$\alpha$ : Thermal Diffusivity:  $\alpha = \frac{\kappa}{c\rho}$

$\kappa$ : Thermal conductivity, Btu/ft-hr-F or W/m-C

c: Specific heat at constant pressure, Btu/lb-F or J/g-C

$\rho$ : Density, lb/ft<sup>3</sup> or Kg/m<sup>3</sup>

حل معادله مذکور برای یک سیلندر با شعاع  $r_m$  و با ارتفاع بی‌نهایت، به صورت زیر گزارش شده است (رابطه به گونه‌ای اصلاح شده تا برای دماهای حاصل از آزمایش‌های خیز فشار قابل استفاده باشد):

$$\frac{T_F - T_t}{T_F - T_{sw}} = 0.692e^{-5.78N_{Fo}} + 0.131e^{-30.5N_{Fo}} + 0.0534e^{-74.9N_{Fo}} + \dots \quad (2)$$

$$N_{Fo} = \frac{\alpha t}{r_m^2} = \text{Fourier Number}; \text{ft}^2/\text{hr} \text{ or } \text{m}^2/\text{sec} \quad (3)$$

$T_F$ : Formation temperature,

$T_t$ : Shut-in bore hole temperature at time t,

$T_{sw}$ : Shut-in bore hole temperature at time t=0,

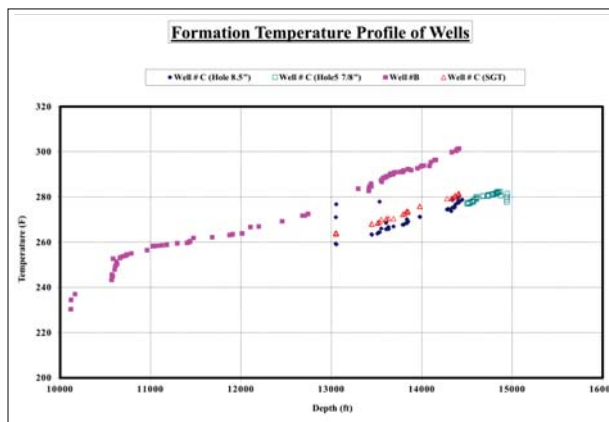
مقدار عددی  $(T_F - T_t)/(T_F - T_{sw})$  را اصطلاحاً باقیمانده تغییرات دما<sup>۱۰</sup> می‌گویند و این مقدار، نشان‌دهنده کسری از تغییرات دما می‌باشد که در زمان خاص باقیمانده است. با در نظر گرفتن روابط زیر برای چگالی ( $\rho$ )، ظرفیت ویژه گرمایی ( $c$ ) و ضریب رسانایی گرمایی ( $\kappa$ )، می‌توان مقادیر آن‌ها را با تقریب خوب برای مخازن گازی میدان مورد نظر به دست آورد:

$$\begin{aligned} c &= \phi c_F + (1 - \phi) c_R \\ \rho &= \phi \rho_F + (1 - \phi) \rho_R \\ \kappa &= \phi \kappa_F + (1 - \phi) \kappa_R \end{aligned} \quad (4)$$

متوسط مقادیر فوق و نیز ضریب  $\alpha$  به‌قرار زیر است:

$$\begin{aligned} \rho &= 2600 \text{ kg/m}^3, \\ c &= 0.23 \text{ cal/gr.}^\circ\text{k} = 0.23 \times 4.184 \times 10^3 \text{ J/kg.}^\circ\text{k}, \\ \kappa &= 2.5 \text{ w/m.}^\circ\text{k}, \\ \therefore \alpha &\cong 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec} \end{aligned} \quad (5)$$

در شکل-۲، رابطه-۲ در مقابل زمان ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود اگر تغییرات دما فقط حدود ۳۰ سانتی‌متر (یک فوت) از دهانه



۱ | پروفایل دمای چاه‌های میدان حاصل از MDT

در شکل-۳، تغییرات دما و فشار ته‌چاهی آزمایش-۱ در عمق ۴۳۵۲ متر حفار ترسیم شده است. همان‌گونه در شکل مشهود است، به دلیل عدم جریان، دما تغییر جزئی نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد افزایش دمای جزئی ناشی از روند تعادلی دما با شیب زمین-گرمائی پس از قطع گردش گل باشد. از شکل مذکور می‌توان دمای چاه در عمق فوق‌الاشاره را حدود ۱۳۶/۲ تا ۱۳۶/۴ درجه سانتی‌گراد تخمین زد.

در شکل-۴، تغییرات دما و فشار ته‌چاهی آزمایش-۲ الف در عمق ۴۰۱۸/۱۹ متر حفار ترسیم شده است. با توجه به راندن نمودار تولید (PSP) در طی این آزمایش، عملاً مدت زمان بستن چاه در حدی بوده است که بتوان گفت که چاه از نظر شیب زمین گرمائی به حالت تعادل رسیده است. بنابراین، دمای مخزن در عمق ۴۰۱۸/۱۹ متر را می‌توان حدود ۱۳۲/۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفت. همچنین، با استفاده از اطلاعات دمائی زمان خیز اصلی فشار، می‌توان رابطه-۶ را بررسی کرد. در شکل-۵، رابطه مذکور که با سعی و خطا برای آزمایش-۲ الف چاه-ج ترسیم شده، نشان داده شده است. بر اساس محاسبات به عمل آمده برای این شکل، شعاع متأثر حرارتی در این آزمایش حدود ۳۲ سانتی‌متر به دست می‌آید.

در شکل-۶، تغییرات دما و فشار ته‌چاهی آزمایش-۳ در عمق ۴۰۶۴/۸ متر حفار ترسیم شده است. در شکل-۷، رابطه-۶ که با سعی و خطا برای آزمایش-۳ چاه-ج ترسیم شده، نشان داده شده است. بر اساس محاسبات به عمل آمده برای این شکل، شعاع متأثر حرارتی در این آزمایش حدود ۳۳/۵ سانتی‌متر به دست می‌آید. دمای مخزن در عمق مذکور حدود ۱۳۳/۰۶ درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌گردد.

#### ۲-۲-۲-۲ چاه-ب

در چاه-ب در مجموع ۱۱ فقره آزمایش بهره‌برداری انجام شده است. از این تعداد، ۷ فقره منجر به جریان گاز به سطح شده است. هر چند در آزمایش-۱-جریانی مشاهده نشده است، ولی با توجه به

چاه را متأثر کرده باشد، پس از ۸ ساعت بستن چاه، حدود ۱۰ درصد تغییرات باقیمانده است؛ یعنی اگر تغییرات دما ۵ درجه باشد، پس از ۸ ساعت میزان خطای دمای اندازه‌گیری شده حدود ۰/۵ درجه است. برای شعاع ۱ متر، میزان خطا پس از حدود ۱۰ ساعت ۳ درجه است.

همچنین می‌توان رابطه-۲ را با مقداری تغییر به صورت زیر درآورد:

$$T_r = T_F - (T_F - T_{SW})E \quad (6)$$

E: Right hand side of equation (2)

رابطه-۶ بیان می‌کند که ترسیم دمای مخزن در مقابل مقدار E (سمت راست رابطه-۲) خط راستی است که شیب آن منفی و مقدار شیب برابر خواهد بود با تغییرات دما در زمان بستن چاه و عرض از مبداء آن دمای مخزن خواهد بود. با نگاهی به روابط-۲ و ۶ می‌توان متوجه شد که در رابطه-۶ دو مجهول وجود دارد: یکی دمای مخزن ( $T_F$ ) و دیگری شعاع متأثر از تغییرات دما ( $r_m$ ). در نتیجه، برای حل این رابطه برای حالات واقعی چاه‌ها باید از روش سعی و خطا استفاده کرد.

#### ۲-۲-۲-۲ محاسبات انجام شده

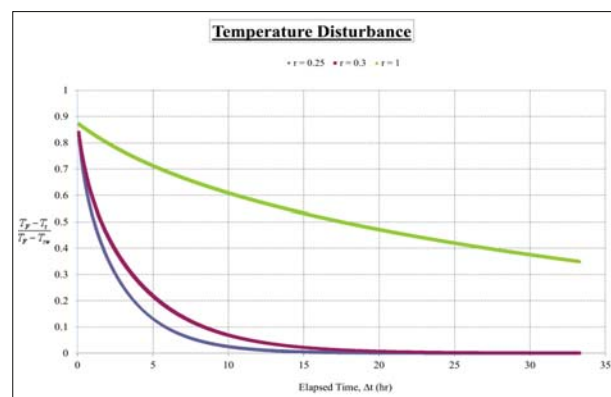
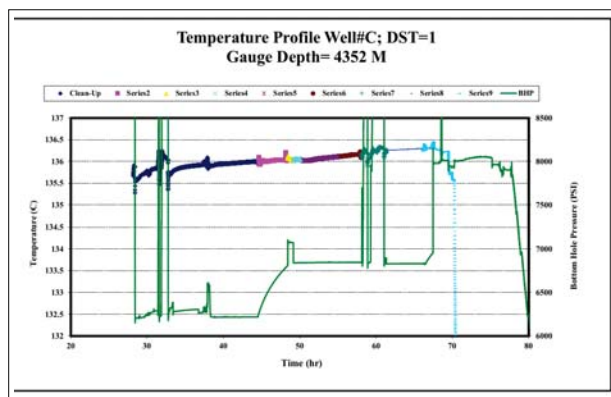
بر اساس مبانی تئوریک گفته شده، تلاش شد با استفاده از اطلاعات موجود، دمای نزدیک به واقعیت مخزن در دو حلقه چاه حفاری شده بوج به دست آید:

#### ۲-۲-۱-۲ چاه-ج

در چاه-ج سه آزمایش ساق مته کامل انجام شده است: آزمایش-۱ که در بخش حفره باز ۵۷/۸، انجام شد ولی جریانی ملاحظه نشد (از عمق ۴۴۱۲ تا ۴۵۷۰ متر حفار).

آزمایش-۲ الف که در مشبک‌های آستری "۷" (۴۳۹۵-۴۳۶۵ و ۴۲۲۵-۴۲۰۰ متر حفار) و حفره باز آزمایش-۱ انجام شد.

آزمایش-۳ که در مشبک‌های آستری "۷" (۴۱۵۹-۴۱۴۳ و ۴۱۳۳-۴۱۱۵ متر حفار) انجام شد.



شکل ۳ دمای ته‌چاهی آزمایش-۱ چاه-ج

شکل ۴ باقیمانده تغییرات دمای ته‌چاهی با توجه به شعاع متأثر



۲-۳- فیلتر کردن اطلاعات

بر اساس اقدامات فوق، مجدداً اطلاعات حاصل ترسیم شدند (توجه شود که با توجه به اینکه از دقت بهتر دماسنج کوارتز ابراز اطمینان حاصل گردید و همچنین، با توجه به یکسان بودن نتایج دماسنج کوارتز با دماسنج مقاومتی، در اینجا فقط از اطلاعات دماسنج کوارتز استفاده شد). کماکان استنتاج نتیجه منطقی از این اطلاعات مشکل است. در شکل ۸- کلیه اطلاعات هر چاه به صورت مستقل نشان داده شده است. از این شکل می توان نتیجه گرفت که با کمی بازی با اطلاعات می توان شیب دمایی یکسانی برای هر دو چاه به دست آورد.

با بررسی مجدد گزارش ها و اطلاعات مبنای گزارش های MDT با لحاظ نکات زیر می توان محمل منطقی برای فیلتر کردن اطلاعات به دست آورد:

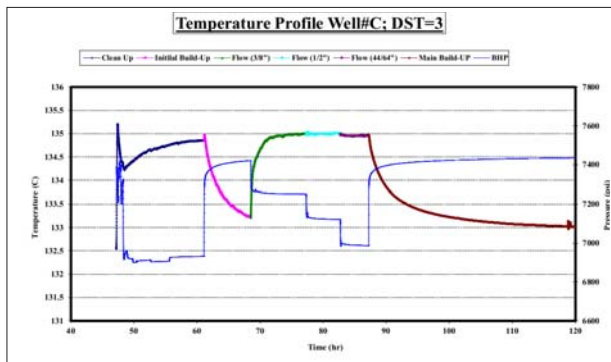
- ۲۰ متر اول سازند مورد نظر مخزن نیست، بنابراین از اطلاعات آن می توان صرف نظر کرد.
- در چاه- ج، از عمق ۴۱۲۵/۳۲ متر به بالا دماسنج کوارتز با دماسنج نوع مقاومتی همخوانی ندارد. بنابراین از اطلاعات این اعماق

بررسی به عمل آمده، می توان دمای مخزن را در عمق ۳۹۴۰/۵۸ متر حفار حدود ۱۳۷/۶ درجه سانتی گراد در نظر گرفت.

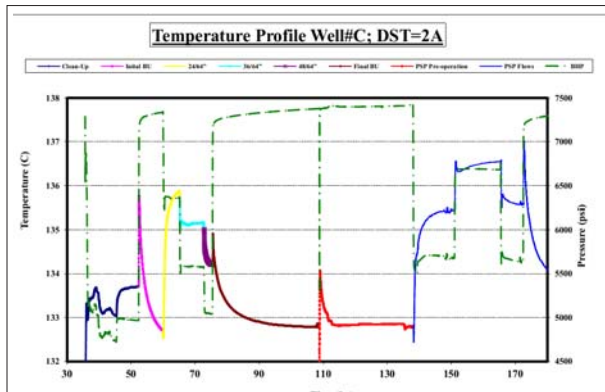
از آزمایش های ۲، ۳، ۴، الف و ۵ اطلاعات مفید قابل استنادی نمی توان استنتاج کرد.

در بررسی های انجام شده برای سایر آزمایش ها، مشابه آنچه که در مورد چاه- ج انجام شد، دمای مخزن برای هر چاه به دست آمد (جدول- ۱).

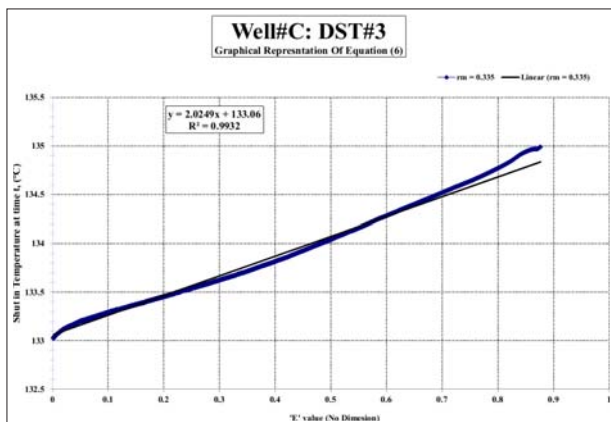
شماره آزمایش	عمق (متر حفار)	دما (درجه سانتی گراد)
۱	۳۹۴۰/۵۸	۱۳۷/۶
۶	۳۸۳۳/۶۹	۱۳۷/۳۳
الف ۷	۳۶۷۳/۱۹	۱۳۳/۵۱
۸	۳۵۸۲/۹۷	۱۳۳/۵۱
۹	۳۴۰۸/۳	۱۲۷/۷۵
۱۰	۳۲۱۶/۵۷	۱۲۷/۱۷
۱۱	۳۱۸۴/۴۶	۱۲۷/۴۱



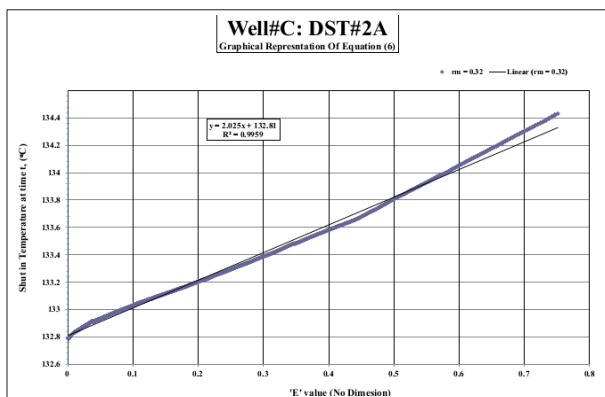
شکل ۶ | دمای ته چاهی آزمایش ۳- چاه ج



شکل ۴ | دمای ته چاهی آزمایش ۲- الف چاه ج



شکل ۷ | تخمین دمای مخزن با استفاده از رابطه ۶- و دمای ته چاه آزمایش ۳- چاه ج



شکل ۵ | تخمین دمای مخزن با استفاده از رابطه ۶- و دمای ته چاهی آزمایش ۲- الف چاه ج

نیز صرف نظر شد.

$$q = k_A A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x_A} = k_B A \frac{T_2 - T_3}{\Delta x_B} = k_C A \frac{T_3 - T_4}{\Delta x_C} = \dots = k_N A \frac{T_{n-1} - T_n}{\Delta x_N} \quad (۸)$$

اندیس‌های A، B و C، ... نشان‌دهنده‌ی لایه‌های مختلف زمین؛  $DX_A$ ،  $DX_B$  و  $DX_C$ ، ... نشان‌دهنده‌ی ضخامت لایه‌های مختلف زمین و اندیس‌های  $(T_1 - T_2)$  و  $(T_2 - T_3)$  و  $(T_3 - T_4)$ ، ... نشان‌دهنده‌ی اختلاف دمای دو سر لایه‌های مختلف زمین است  
از حل هم‌زمان روابط (۸)، رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$q = \frac{T_1 - T_n}{\Delta x_A / k_A A + \Delta x_B / k_B A + \Delta x_C / k_C A + \dots + \Delta x_N / k_N A} \quad (۹)$$

از روابط مذکور می‌توان به دو نتیجه مهم زیر دست یافت:  
■ شیب زمین گرمایی هر لایه با لایه دیگر حتی در راستای عمودی متفاوت می‌باشد و متناسب با عکس ضریب رسانائی تغییر می‌کند.  
■ هر چند در یک لایه، شیب زمین گرمائی یکسان است، ولی در دو نقطه‌ی افقی متفاوت و در یک عمق و یک لایه یکسان، دما می‌تواند متفاوت باشد.

با توجه به دو منبع گرمائی اصلی اثرگذار بر دمای لایه‌های زمین (مغزه و جو زمین که هر دو را می‌توان از نظر فیزیکی دو منبع با عملکرد بی‌نهایت در نظر گرفت)، با تقریب بسیار خوب می‌توان گفت که میزان انتقال حرارت (q) در دو نقطه با فاصله افقی چندین کیلومتر در یک میدان برابر می‌باشد. بنابراین، برای دو چاه-ب و ج رابطه-۱۰ را می‌توان نوشت (مبنا، دمای عمق ۱۴۰۰۰ فوتی است):

$$q = \frac{T_{14000-B} - T_S}{\Delta x_{A-2} / k_{A-2} A + \Delta x_{B-2} / k_{B-2} A + \dots + \Delta x_{N-2} / k_{N-2} A} =$$

در شکل-۹ اطلاعات فیلتر شده هر دو چاه به صورت مستقل ترسیم شده‌اند. همان‌گونه که از این شکل پیداست، شیب زمین گرمائی هر دو چاه کمابیش یکسان است (چاه-ب معادل ۱/۲۵ درجه فارنهایت در ۱۰۰ فوت و چاه شماره-ج معادل ۱/۱۴ درجه فارنهایت در ۱۰۰ فوت) ولی با جابه‌جایی حدود ۲۰ درجه فارنهایت. بدین ترتیب در یک عمق مشابه، دمای مخزن در چاه-۲ حدود ۲۰ درجه فارنهایت از دمای چاه-۳ بیشتر است. در این مورد خاص نیز بررسی‌هایی صورت گرفته که به شرح زیر ارائه می‌شود:

### ۳-۲- مقایسه دمای مخزن در دو چاه

انتقال حرارت به صورت هدایت و یکنواخت<sup>۱۱</sup> از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$$q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (۷)$$

k: Thermal conductivity, Btu/ft-hr-F or W/m-C

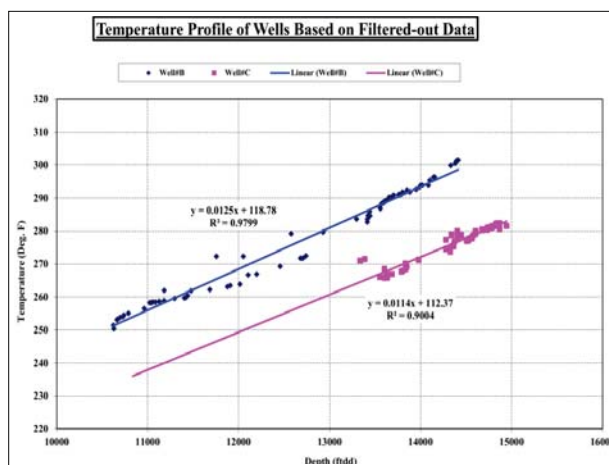
q: Amount of Heat, Btu/hr or W

A: Area of heat transfer, ft<sup>2</sup> or m<sup>2</sup>

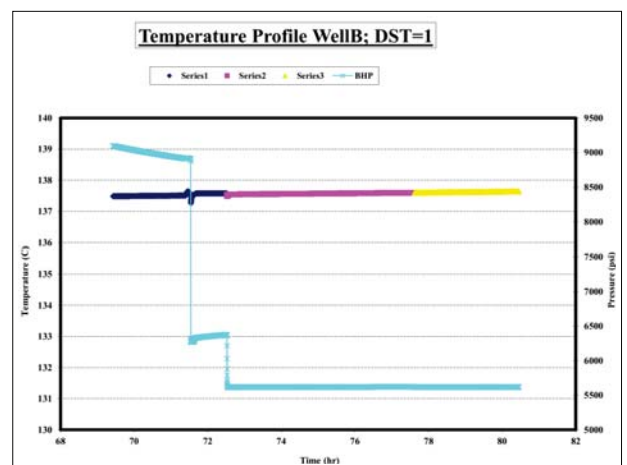
DT: Temperature difference between two points, °F or °C

Dx: Distance between two points, ft or m

در مورد شیب زمین گرمائی، در واقع بین دو منبع گرمائی اعماق زمین و سطح آن انتقال حرارت به عمل می‌آید. فرض بر این است که لایه‌های زمین هر یک به صورت یک رسانا (یا یک عایق) عمل می‌کنند که در حالت سری قرار گرفته‌اند. در این صورت میزان انتقال حرارت برای همه لایه‌ها یکسان است ولی با توجه به میزان رسانائی آن‌ها، هر یک، شیب دمائی متفاوتی خواهند داشت:



شکل ۹ | پروفایل دمای چاه‌های میدان به صورت مستقل



شکل ۸ | پروفایل دمای چاه‌های میدان به صورت مستقل



$$(14000 - 10556)/k_{reservoir} + 10556/k_{non-reservoir} < (14000 - 13025)/k_{reservoir} + 13025/k_{non-reservoir} \quad (12)$$

$$\therefore k_{reservoir} > k_{non-reservoir} \quad (13)$$

رابطه-۱۳ که از جابه‌جایی ترم‌های رابطه-۱۲ به‌دست آمده، بیان می‌کند که ضریب معادل رسانائی سازندهای بالای سازندهای مخزنی در میدان مذکور باید کوچک‌تر از مخازن کنگان و دالان باشد. با توجه به جنس سنگ مخزن که از نوع کربنات می‌باشد و جنس سنگ سازندهای غیر مخزنی که در بین آن‌ها شیل نیز دیده می‌شود و رجوع به مراجع ارائه‌دهنده ضریب حرارتی رسانائی سنگ‌ها (برای نمونه جدول-۲)، به‌خوبی می‌توان صادق بودن رابطه-۱۳ را تأیید کرد.

بنابراین، وجود یک شیب زمین‌گرمائی کمابیش یکسان در سراسر یک مخزن در یک میدان قابل‌انتظار است ولی باید همچنین انتظار جابه‌جایی این شیب را در گستره افقی میدان داشت.

#### نتیجه‌گیری و پیشنهاد

بازگشت به دمای در حال تعادل با مخزن، در صورت ایجاد هرگونه تغییر دمائی، ساعت‌ها به‌طول می‌انجامد، هر چند ممکن است خیز فشار در مدت زمان کوتاهی باشد.

در آزمایش‌هایی از قبیل (MDT) ممکن است دماسنج ته‌چاهی برای برخی از نقاط اندازه‌گیری از تنظیم خارج شود. بدین لحاظ مقایسه آن‌ها با دو دماسنج پیشنهاد می‌شود.

به‌نظر می‌رسد در چاه‌ها، شعاع متأثر از تغییرات حرارتی در حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر باشد.

شیب زمین‌گرمائی متأثر از جنس سنگ مخزن است ولی دمای مخزن بیشتر متأثر از جنس سنگ لایه‌های بالای مخزن می‌باشد.

در شبیه‌سازی مدل مخزنی مخازن بزرگ و با تفاوت عمق زیاد، باید به این نکته توجه نمود که دمای مخزن در یک عمق ثابت یکسان نیست.

$$\frac{T_{14000-C} - T_S}{\Delta x_{A-3}/k_{A-3}A + \Delta x_{B-3}/k_{B-3}A + \dots + \Delta x_{N-3}/k_{N-3}A} \quad (10)$$

در این رابطه،  $T_{14000-C}$ ،  $T_{14000-B}$  و  $T_S$  به‌ترتیب دمای چاه‌های ب و ج در عمق ۱۴۰۰۰ فوتی و دمای سطح می‌باشند.

در رابطه-۱۰، با فرض اینکه میزان انتقال حرارت برای هر دو مورد یکسان است و نیز صورت کسر برای چاه-ب کوچک‌تر از صورت کسر برای چاه-ج می‌باشد (با توجه به اطلاعات واقعی به‌دست آمده‌ی پیش‌گفته)، می‌توان نوشت:

$$\Delta x_{A-2}/k_{A-2} + \Delta x_{B-2}/k_{B-2} + \dots + \Delta x_{N-2}/k_{N-2} < \Delta x_{A-3} + \Delta x_{B-3}/k_{B-2} + \dots + \Delta x_{N-3}/k_{N-3} \quad (11)$$

برای سادگی و صرفاً بررسی کیفی موضوع، ضخامت عمودی هر چاه را به دو بخش مخزنی و غیرمخزنی می‌توان تقسیم کرد. با توجه به عمق مقیاس ۱۴۰۰۰ فوتی و عمق سرسازندهای مخزنی در دو چاه مذکور (به‌ترتیب معادل ۱۰۵۵۶ و ۱۳۰۲۵ فوت در چاه‌های ب و ج) می‌توان نوشت:

ضریب حرارتی رسانائی برخی مواد		
	$Wm^{-1}K^{-1}$	Source
Earth's crust	2.0-2.5	Kappelmeyr and Haenel (1974)
Rocks	1.2-5.9	Sass et al. (1971)
Sandstones	2.5	Clark (1966)
Shales	1.1-2.1	Clark (1966), Blackwell and Steele (1989)
Limestones	2.5-3	Clark (1966), Robertson (1967)
Water	0.6	At 20 o C
Oil	0.15	At 20 o C
Ice	2.1	Gretnener (1981)
Air	0.025	CRC (1974) Handbook
Methane	0.033	CRC (1974) Handbook

#### پانویس‌ها

1. Dew Point Pressure
2. Repeat Formation Test (RFT)
3. Modular Formation Dynamic Tester
4. Full Bore DST
5. Production Logging Tool
6. convection
7. conduction
8. Unsteady State Heat Conduction
9. Partial Differential Equation
10. Unaccomplished Temperature Change
11. Steady State Conduction

#### منابع

- [1] McCabe, Warren L. and Smith, Julian C.: "Unit Operations of Chemical Engineering," McGraw-Hill Kugakusha Ltd., Tokyo, 1976.
- [2] Kutasof, I.M.: "Applied Geothermics for Petroleum Engineers," Elsevier, Amsterdam, 1999.
- [3] Hagoort, Jacques: "Ramey's Wellbore Heat Transmission Revisited," SPE Journal, December 2004, PP. 465474-.
- [4] SOMERTON, W.H.: "Thermal Properties and Temperature-Related Behavior of Rock/Fluid Systems," Elsevier, Amsterdam, 1992.
- [5] Holman, J.P.: "Heat Transfer," fifth edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981.