

مقدمه

جریان سیالات و انتقال حرارت در حوضه‌های رسوبی عامل اصلی ایجاد فرایندهای زمین‌شناسی گوناگون همانند: دیاژنز، مهاجرت هیدروکربن و کانی‌سازی فلزی است که برای بررسی و مطالعه آنها دوروش به کار گرفته می‌شود (Chi&Lavoie,2001):

۱- استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی برای بازسازی الگوها و تاریخ جریان سیالات

۲- استفاده از روش‌های عددی برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیالات و انتقال حرارت در شرایط خاص حوضه رسوبی

بررسی اثر فشردگی رسوبات ، جریان سیالات و انتقال حرارت در مهاجرت هیدروکربن با ارایه مدل عددی در سازندهای کنگان و دالان

فریبا عبدی - دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی
 دکتر محمدرضا رضایی - عضو هیات علمی و دانشیار دانشگاه تهران

بازسازی گردد. این روش که مدت‌ها توسط زمین‌شناسان به کار گرفته شده مستلزم جمع‌آوری تعداد بسیار زیادی نمونه از مقاطع مختلف حوضه رسوبی است که حتی برای دستیابی به نتایج کلی و اولیه فرایندی زمان‌بر و پرهزینه محسوب می‌گردد (Chi,2001).

در روش نخست با به کارگیری داده‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی نظیر داده‌های حاصل از تجزیه و تحلیل نمونه‌های کانی‌های دیاژنزی سعی می‌گردد الگوهای جریان سیالات و انتقال حرارت در حوضه رسوبی مورد مطالعه،

شماره ۲۳ - تیر ۱۳۸۴

محیط Basin2 صورت می‌پذیرد و در نتیجه توسعه مدل عددی، خروجی‌های Basin2 می‌تواند امکان تجزیه و تحلیل زیر را فراهم سازد (bethke et al, 2001):

۱- تخلخل و نفوذپذیری در لایه‌های

مقطع عرضی حوضه که با استفاده از محاسبات فشار روباره، فشارسیال و تاریخچه فشردگی رسوب تعیین می‌گردند.

۲- فشار سیال در لایه‌های حوضه که

بر مبنای اثرات فشردگی رسوب در طول دفن‌شدگی و باربرداری (Unloading) توسعه برآمدگی‌های توپوگرافی، انبساط حرارتی و مهاجرت سیال محاسبه می‌شود.

۳- الگوهای جریان آب‌های

زیرزمینی در حوضه مورد مطالعه در پاسخ به فشردگی رسوب، عدم فشردگی حین باربرداری، نیروهای شناوری و برآمدگی توپوگرافی

۴- دمای سراسر حوضه که توسط

هدایت حرارتی در حوضه، فلوی حرارتی پوسته و جابجایی حرارت با جریان آب‌های زیرزمینی کنترل می‌شود.

۵- مچوریتی حرارتی از مواد آلی

موجود در لایه‌های رسوبی شامل زمان زایش نفت و گاز و توزیع منابع نفتی در زمان زمین‌شناسی.

۶- شوری آب زیرزمینی حوضه که

برای تعیین پراکنندگی و انتشار هیدرودینامیکی حضور تبخیری‌ها محاسبه می‌شود.

۷- سیمانی شدن لایه‌های حوضه

رسوبی شامل نرخ ته‌نشینی سیمان و حل‌شدگی کانی‌ها در نتیجه مهاجرت آب‌های زیرزمینی در مسیری که دما فشار تغییر می‌یابد.

۸- ایزوتوپ‌های رادیوژنیک و

رادیواکتیو در آب‌های زیرزمینی حوضه که برای تخمین سن آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های رسوبی کاربرد دارد.

Basin2 در پی تلاشی ۱۵ ساله به سرپرستی Craig Bethke در سال ۱۹۸۲ میلادی تهیه شد. این نسخه طی سالیان بعد با تلاش تعداد زیادی از محققان و شرکت‌های نفتی تکمیل و عملیاتی گردید. از مهمترین امکاناتی که در فرایند تکمیل Basin2 بدان افزوده شده است می‌توان به مدول‌های شبیه‌سازی فرسایش سطحی، تکامل بخش انتقال جرم برای جابجایی نمک محلول و الگوریتم مدل‌سازی سیمانی شدن اشاره کرد. شایان ذکر است که در مطالعه حاضر از نسخه شماره ۵ محیط نرم‌افزاری Basin2 که در سال ۲۰۰۱ میلادی عرضه شده، استفاده گردیده است.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که Basin2 محیطی است که در آن با استفاده از روش‌های عددی، مدل‌سازی رژیم‌های جابجایی سیالات و انتقال حرارت در حوضه‌های رسوبی صورت می‌پذیرد. به کمک Basin2 می‌توان یک مدل عددی از اثر زمان روی تغییرات تدریجی رژیم‌های جریان آب زیرزمینی در حوضه‌های رسوبی را طراحی کرد. برای این کار مدل‌ساز باید اطلاعات ورودی نظیر ترتیب لایه‌های حوضه در مقطع عرضی، زمان ته‌نشینی و فرسایش رسوب و خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی رسوبات حوضه را آماده کند. براساس اطلاعات ورودی و با استفاده از معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیالات، انتقال حرارت و انتقال جرم مدل شکل‌گیری و تکامل حوضه رسوبی توسعه می‌یابد و نتایج خروجی آن به صورت جداول و نمودارهای مختلف در نرم‌افزار B2plot عرضه می‌شود. (شایان ذکر است که نسخه‌ای از نرم‌افزار Basin2 و B2plot برای اجرا با رایانه‌های شخصی، تحت محیط ویندوز توسعه یافته است. (Bethke et al, 2001).

براساس چگونگی آماده‌سازی اطلاعات ورودی که توسط مدل‌ساز در

تلاش‌هایی که در به‌کارگیری روش‌های عددی در تدوین و توسعه روش‌های تجزیه و تحلیل جریان سیالات و انتقال حرارت در حوضه رسوبی می‌شود، بخش مهمی از فضای تحقیقاتی زمین‌شناسی را در سال‌های اخیر تشکیل می‌دهند. هر چند این تلاش‌ها هنوز در ابتدای راه هستند ولی امیدوارکننده هستند. از مهمترین ویژگی‌های روش‌های عددی علاوه بر کاهش زمان و هزینه و افزایش دقت، امکان بررسی اثر فشار اضافی (Over Pressure) در سنگ منشا است. این اثر خود می‌تواند یکی از بزرگترین نیروهای حرکتی مهاجرت هیدروکربن از سنگ منشا به سنگ‌های مجاور قلمداد گردد.

با استفاده از ویژگی‌های روش‌های عددی در این مقاله سعی شده است که فشردگی رسوبات، جریان سیالات و انتقال حرارت در مخزن‌سازی سازندهای دالان و کنگان بررسی شود. برای انجام این بررسی ضمن توسعه مدلی تحت برنامه Basin2 از روش حل عددی اختلاف محدود (Finite Difference) برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر فشردگی رسوبات، جریان سیالات و انتقال حرارت استفاده گردیده است. روش اختلاف محدود روشی ساده و کارا برای حل معادلات دیفرانسیل مختلف بوده که به‌ویژه در حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال و توزیع حرارت کاربرد وسیعی یافته است.

برنامه Basin2

Basin2 محیط نرم‌افزاری است که طی یک پروژه تحقیقاتی توسط محققان دانشگاه Illinois آمریکا و با همکاری برخی از شرکت‌های نفتی به‌ویژه شرکت نفتی ARCO توسعه یافته است. نسخه مقدماتی

زمین شناسی منطقه

قطر شناخته شده است.

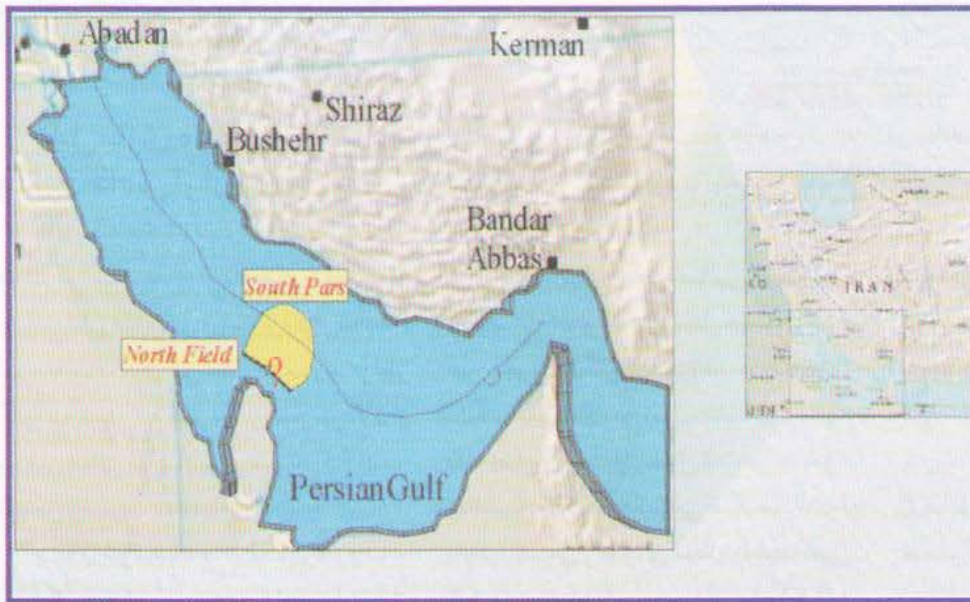
در حرکات کوهزایی دوران پرکامبرین (کاتانگایی) پوسته زمین در این مکان، بازشدگی و اتساع پیدا کرد و سرزمین های ایران، پاکستان، افغانستان، ترکیه و عربستان به صورت پلات فرم ثابت و پایدار درآمد. یک رسوب گذاری آرام در بستر دریای تیس از ابتدای دوره پرمین تا تریاس میانی ادامه داشت که رسوبات کربناته آهکی و دولومیتی سازندهای کنگان و دالان را به وجود آورد. لایه های مخزنی، K1, K2, K3, K4

منطقه مورد مطالعه، سازندهای دالان و کنگان در منطقه پارس جنوبی (خلیج فارس) است (شکل ۱). میدان گازی پارس جنوبی که در موقعیت ۵۱ تا ۵۱/۵ درجه شرقی و ۱۶/۵ تا ۱۷ درجه شمالی قرار دارد بزرگترین میدان فراساحلی جهان است که در بین ایران و قطر قرار گرفته و وسعت آن در سمت ایران نزدیک به ۳۷۰۰ کیلومتر مربع است که توسعه و بهره برداری از آن طبق برنامه پنج ساله سوم و چهارم با اولویت در دستور کار شرکت ملی نفت ایران قرار دارد.

توسعه مدل و انجام محاسبات در محیط Basin2 با آماده سازی سه گونه اطلاعات صورت می گیرد که عبارتند از:

- ۱- خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی انواع مختلف سنگ و رسوبات حوضه مورد مطالعه
 - ۲- ترتیب لایه در حوضه و تغییرات تدریجی حوضه در زمان زمین شناسی
 - ۳- تعیین کلید واژه هایی که در محیط Basin2 برای مشخص کردن چگونگی و جزئیات محاسبات مدل به کار گرفته می شوند.
- برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم،

Basin2 مقطع عرضی حوضه را در مختصات منحنی الخط شبکه بندی می کند. شبکه بندی حوضه تعداد بسیار زیادی بلوک را ایجاد می نماید که در ستون ها و ردیف هایی مرتب شده اند. تمام خصوصیات یک بلوک توسط مشخصات گره ای در مرکز آن نشان داده می شود. نرم افزار Basin2 تا حل معادلات دیفرانسیل حاکم، خصوصیتی همچون فشار، نما و نظایر اینها را در بازه های زمانی مختلف برای هر گره محاسبه می کند (Bethke et al. 2004).



شکل ۱- موقعیت میدان گازی پارس جنوبی

تقسیم می شود که محتوی گاز ترش است. لایه های دیگری در این میدان نیز وجود دارد که حفاری های انجام شده وجود نفت را در آن تایید کرده است (در این میان لایه نفتی داریان از اهمیت خاصی برخوردار است).

سنگ شناسی سازندهای دالان و کنگان در این حوضه شامل سنگ آهک های ریزبلور و آهک اواولیتی و میکرو کریستالین تا دولومیت دانه شکری با لایه های نازکی از شیل است. افق های انیدریت توده ای به ضخامت ۱ تا ۳ متر در

میدان عظیم پارس جنوبی یک ساختمان زمین شناسی تاقدیس پهن و کشیده شمالی جنوبی از قطر تا حدود یکصد کیلومتری آب های ایران در خلیج فارس است. این ساختمان دارای پال های ملایم بوده که خود تشکیل دهنده یکی از چند قله ساختمانی برآمدگی قطر- پارس جنوبی بر روی پلات فرم کربناته منطقه خاورمیانه است این ساختمان در واقع تداومی از پلانچ شمال شرقی ساختمان فوق عظیم گازی گنبدی شکل در شمال شرقی شبه جزیره قطر می باشد که تحت عنوان گنبد شمالی

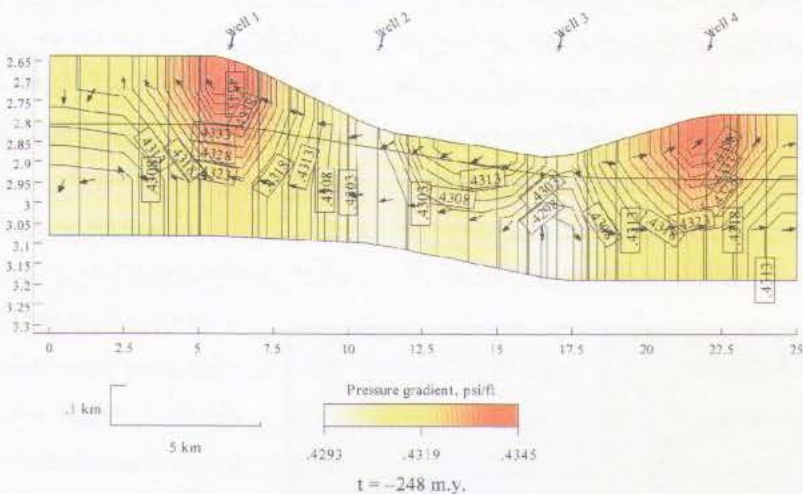
سته به مدل توسعه یافته، Basin2 حجم بسیار زیادی از اطلاعات را تولید می نماید. به همین علت برنامه B2plot همراه برنامه Basin2 جهت ارائه خروجی ها منظور شده است با استفاده از B2plot اطلاعات خروجی Basin2 را به دو صورت می توان مشاهده کرد:

- ۱- به صورت جداول
- ۲- به صورت نمودارهای گرافیکی نوعی (شامل شبکه ها، بردار جریان، لیزر و ... و اینواریاها)

محل‌هایی از این نمودار جریان سیال از رابطه پتانسیل فوق پیروی نمی‌کند. علت این امر متغیر بودن چگالی سیال است. بر اساس نتایج مقدماتی مدل توسعه یافته، بیشترین پتانسیل هیدرولیکی در اطراف چاه‌های ۱ و ۴ و در عمق حدود ۳۰۰۰ متری

ویرایش نهایی نیز در نرم افزار Corel Draw انجام شد. شکل ۲ نتایج مقدماتی این زیر مدل را نشان می‌دهد. طبق این نمودار بر اساس نتایج مقدماتی مدل توسعه یافته گرادیان فشار سیال منفذی در این میدان از 0.4293psi/ft تا 0.4345psi/ft می‌باشد.

بعضی افق‌های مخزنی فوق باعث کندی حرکت گازها می‌شوند. از دیدگاه محیط رسوب گذاری سازند کنگان در یک محیط دریایی بین جزرومدی (Intertidal) و سازند دالان در بخش پرمین بالایی در محیط دریایی زیر منطقه جزرومدی با رسوب گذاری متراکم تر و لایه‌های انیدریتی (تشکیلات تخیری) و خواص مخزنی ضعیف تر و بالاخره سازند دالان در بخش پرمین میانی از محیط بین جزرومدی تا زیر جزرومدی با رسوبات آهکی اوولیتی تشکیل شده‌اند که چنین شرایط محیط رسوبی زیربنای پیدایش خواص مخزنی مناسب رابه وجود آورده است.



شکل ۲- گرادیان فشار سیال منفذی در سازند دالان و کنگان

دیده می‌شود. نتایج مقدماتی مدل، دامنه تغییرات پتانسیل هیدرولیکی در سازندهای دالان و کنگان را از 13.82psi تا 17.79psi نشان می‌دهد.

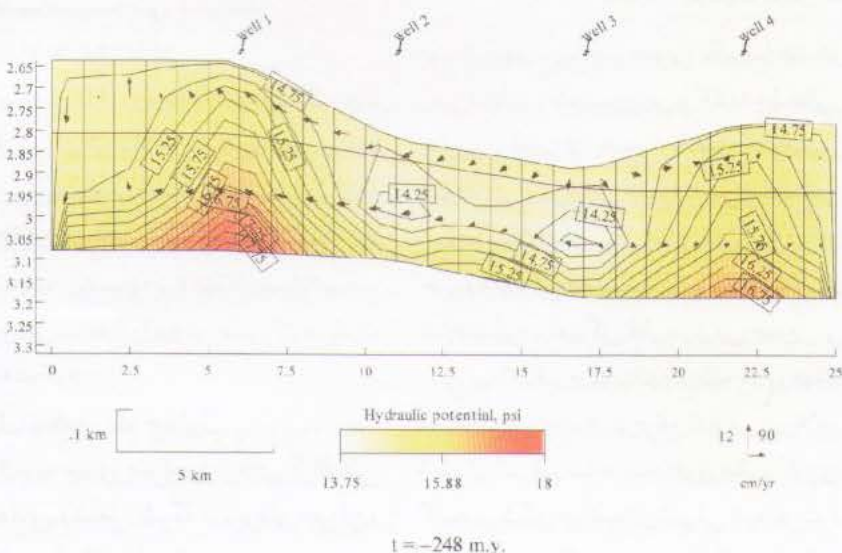
شایان ذکر است که در شکل‌های ۲ و ۳ فلش‌های مشخص کننده، جهت حرکت و نرخ حرکت سیال را نشان می‌دهند. در شکل ۲ جهت جریان

در شکل ۳ نتایج مقدماتی حاصل از زیر مدل تغییرات پتانسیل هیدرولیکی و نرخ جریان سیالات را در سازندهای کنگان و دالان می‌توان مشاهده کرد. باتوجه به رابطه پتانسیل بیشتر به محل با پتانسیل کمتر حرکت می‌کند. این امر به نفوذپذیری و چگالی سیال وابسته است. نکته قابل توجه آن است که در

مدل سازی منطقه مورد مطالعه و نتایج حاصل از آن

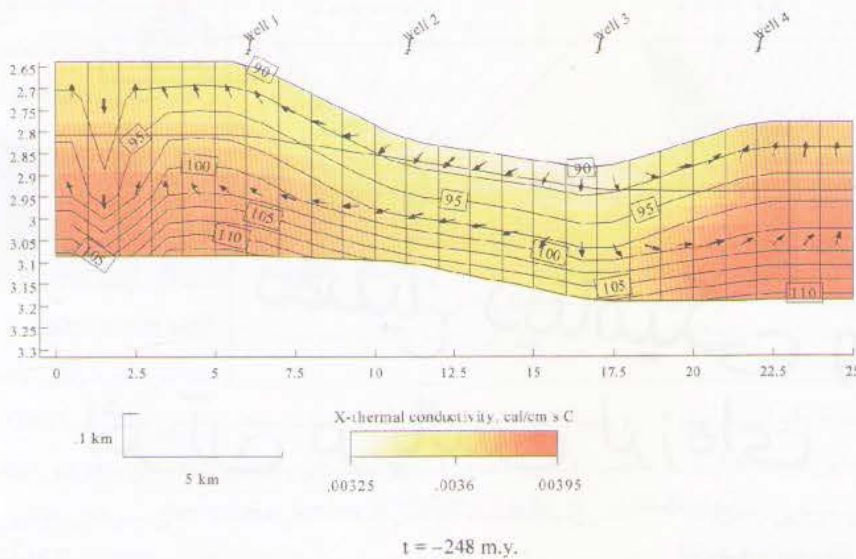
نظر به محدود بودن اطلاعات در دسترس با استفاده از داده‌های اولیه چهار چاه، مدلی مقدماتی تحت نرم افزار Basin2 توسعه یافت. در این مدل دو سازند در نظر گرفته شد که عبارتند از: سازند دالان از پرمین میانی تا بالایی و سازند کنگان در تریاس زیرین.

مدل توسعه داده شده در نرم افزار Basin2 با به کارگیری اطلاعات اولیه از چهار چاه منطقه اجرا گردید. نتایج مقدماتی حاصل از اجرای مدل در شکل‌های ۲ الی ۴ مشاهده می‌شود. زیر مدل گرادیان فشار سیال منفذی با فرض متغیر بودن چگالی سیال و باز بودن مرزهای راست و چپ حوضه و مشخص نمودن لیتولوژی‌ها برای هر چاه در عمق‌های مختلف، عمق آب، ضخامت سازندها در هر چاه و سایر خصوصیات فیزیکی و هیدرولژیکی برای هر یک از انواع لوتولوژی‌ها با استفاده از نرم افزار Basin2 اجرا و نتایج مقدماتی آن در برنامه B2plot رسم گردید.



شکل ۳- تغییرات پتانسیل هیدرولیکی و جریان سیالات در سازند دالان و کنگان

۱۰
تاریخ
۱۳۸۸



شکل ۴- تغییرات درجه حرارت و هدایت حرارتی در سازندهای دالان و کنگان

و در شکل ۳ نرخ جریان که مقدار آن در دو جهت افقی و عمودی مشخص شده است دیده می شود.

همچنین لازم به ذکر است که این دو زیرمدل در برنامه Basin2 در حالت ناپایدار که به معنی تغییر رژیم های جریان سیالات در طول زمان می باشد بررسی شده است (در حالت پایدار تغییرات حوضه در یک نقطه از زمان نشان داده می شود).

مدل توسعه یافته تحت نرم افزار Basin2 همچنین می تواند رژیم های گرمایی رسوبات حوضه را براساس هدایت حرارتی حوضه و دمای سطحی لایه ها محاسبه کند. تغییرات در جریان حرارتی، دمای سطحی و یا انتقال حرارت در طول مقطع عرضی می تواند سبب حرکت افقی سیال شود.

برای انجام چنین امری در مدل توسعه یافته (تحت نرم افزار Basin2) حالت پایدار در نظر گرفته شد و با فرض ثابت بودن چگالی سیال، بسته بودن مرزهای راست و چپ حوضه، محاسبه دما در هر دو جهت افقی و عمودی، مشخص بودن خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی لایه ها برنامه اجرا گردید. در شکل ۴ نتایج مقدماتی حاصل از آن نشان داده شده است.

براساس نتایج ارایه شده در شکل ۴

دامنه تغییرات دما در این سازندها بین ۹۰-۱۱۳/۸ درجه سانتیگراد تغییر می یابد. بیشترین دما را در عمق های ۳۰۰۰ تا ۳۱۰۰ متری حوضه می توان مشاهده کرد. یورتورها تقریباً افقی هستند. در این نمودار هدایت حرارتی سازندهای کنگان و دالان نیز مشخص شده که در مرکز حوضه هدایت حرارتی نسبت به حاشیه های حوضه کمتر است.

منابع:

- 1- Bethke. Craig M & Lee Ming- Kuo & Park Jungho., 2001 Basin Modeling With Basin2, Release 5.0, University of Illinois, USA, 220p.
- 2- Chi. G & Lavoie. D, 2001, The BsnMod Program and Preliminary Application to Paleo-Fluid Flow Modeling in the Anticosti Basin, Geological Survey of Canada-Quebec Division.
- 3- Chi. G., 2001, BsnMod: A Windows Program for Simulating Basin- Scale Fluid Flow and Heat Transfer Processes Related to Sediment Compaction and Tectonic Uplifting in Two Dimensions, Geological Survey of Canada-Quebec Division.

این هدایت حرارتی از عمق ۲۸۰۰ متری به پایین بیشترین مقدار را دارد. از جمله متغیرهای دیگر قابل بررسی با استفاده از مدل توسعه یافته می توان به مقدار نفوذپذیری در دو جهت افقی و عمودی و به تفکیک برای هر نوع لیتولوژی تعریف شده در برنامه، تخلیه مخصوص (Specific Discharge) سرعت جریان سیال در دو جهت افقی و عمودی، تغییرات تخلخل به تفکیک برای لیتولوژی های مختلف در حوضه مورد مطالعه، ویسکوزیته، چگالی سیال و کل و عمق تدفین اشاره کرد.

نتیجه گیری

با توجه به مدل عددی توسعه یافته تحت نرم افزار Basin2 متغیرهای نفوذپذیری، تخلخل، سرعت جریان سیال، جهت جریان سیال، تغییرات فشار هیدرواستاتیک، هدایت حرارتی، گرادیان فشار سیال منفذی در سازندهای کنگان و دالان از حوضه پارس جنوبی، تخمین زده شده است و دسترسی به اطلاعات جامع از حوضه مورد مطالعه می تواند کمک شایانی به تکمیل مدل توسعه یافته کند. این امر به علاوه بررسی جامع از این متغیرها، الگوی مهاجرت هیدروکربن را در سازندهای مورد مطالعه، روشن می نماید. □

