تبدیل سریع مدل سیال در نرم‌افزار PVTi به مدل سیال در نرم‌افزار PVTSim

مهدی ندری‌پری، کارشناسی‌ارشد مهندسی چاه/حفاری ■ حسن گلقندشتی، کارشناسی‌ارشد مهندسی نفت/مخازن هیدروکربوری

مدل سیال یکی از ارکان اصلی در شبیه‌سازی با نرم‌افزارهای مختلف است. از آنجا که هر یک از این نرم‌افزارها فرمت مدل سیال مخصوص به خود دارند بنابراین نیاز به نرم‌افزاری جامع که بتواند به نرم‌افزارهای مختلف خروجی دهد، الزامی است.

نرم‌افزار PVTsim قابلیت خروجی دادن طبق فرمت نرم‌افزارهای مدل‌سازی سطح‌الارضی و تحت‌الارضی را دارا می‌باشد. با این وجود شرکت‌ها تمایل بیشتری به استفاده از نرم‌افزار PVTi دارند که متاسفانه قابلیت مورد اشاره را ندارد.

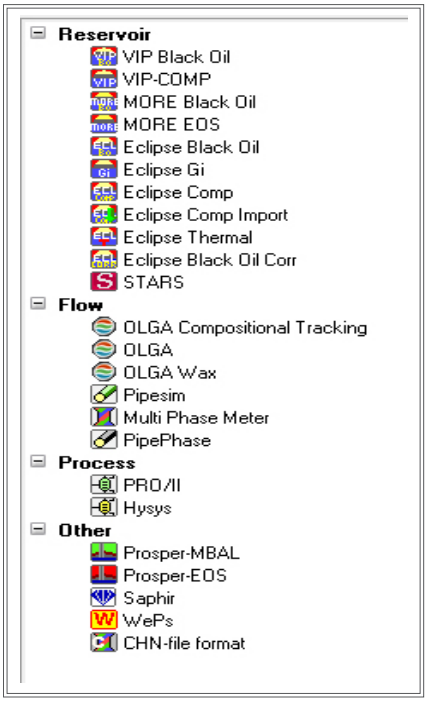
در این یادداشت فنی تلاش شده است با ارائه‌ی نمونه‌ی موردی، رویکردی ارائه شود تا به آسانی و در مدت زمان اندک بتوان مدل ساخته شده‌ی قبلی در نرم‌افزار PVTi را به طور مستقیم به نرم‌افزار PVTsim تبدیل کرد.

در زنجیره‌ی تولید شامل مخزن، چاه، خطوط لوله‌ی سطح‌الارضی و تاسیسات فرآورشی برای انجام تحلیل‌های فنی و پیش‌بینی رفتار جریانی در آینده نیاز به مدل‌سازی وجود دارد. یکی از اجزای مهم در مدل‌سازی، مدل سیال است.

یکی از نرم‌افزارهای قوی در زمینه‌ی مدل‌سازی سیال، نرم‌افزار PVTsim از شرکت Calsep است که قابلیت خروجی دادن به دیگر نرم‌افزارها مانند OLGA, Hysys, PROSPER و غیره را دارد. شکل ۱ نرم‌افزارهایی که PVTsim می‌تواند خروجی مدل سیال به آنها دهد را نشان می‌دهد.

عمدتا در تهیه‌ی مدل سیال برای استفاده در شبیه‌سازی تحت‌الارضی (نرم‌افزار Eclipse) از نرم‌افزار مدل‌سازی سیال PVTi استفاده می‌شود.

با توجه به عدم توانایی این نرم‌افزار در تهیه‌ی خروجی جهت استفاده در دیگر نرم‌افزارها کارشناسان ناچار به انجام مدل‌سازی دوباره‌ی سیال مربوطه در نرم‌افزار PVTsim می‌شوند. حال در این یادداشت فنی رویکردی اتخاذ شده تا با ترسیم روند تبدیل مستقیم مدل ساخته شده‌ی قبلی در نرم‌افزار PVTi به نرم‌افزار PVTsim، نیاز به انجام مدل‌سازی دوباره از ابتدا در این نرم‌افزار مرتفع شده و از طرفی مدل ایجاد شده در نرم‌افزار PVTi عینا به نرم‌افزار PVTsim جهت ایجاد خروجی‌های مورد نیاز انتقال یابد.



شکل ۱ | نمایی از پنجره‌ی نرم‌افزارهایی که PVTsim به آنها خروجی مدل سیال می‌دهد

۲- تبدیل مدل سیال PVTi به PVTsim

روند تبدیل مدل سیال از نرم‌افزار PVTi به PVTsim در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲ | روند تبدیل مدل سیال تطابق یافته در PVTi به PVTsim

در تبدیل مدل سیال از PVTi به PVTsim لازم است چند نکته‌ی مهم مدنظر قرار گیرد:

■ نخست آنکه مدل‌های سیال مورد استفاده در این دو نرم‌افزار با اندکی تفاوت در نامگذاری روبرو است که لازم است معادل‌سازی آنها انجام شود، مثلا در یک نمونه‌ی موردی، پنگ‌رابینسون سه پارامتری که با PR۳ در نرم‌افزار PVTi شناخته می‌شود در نرم‌افزار PVTsim به صورت Peneloux PR۷۸ است.

■ نکته‌ی حائزاهمیت دیگر آن است که عبارت Volume Shift که در نرم‌افزار PVTi مورد استفاده قرار می‌گیرد در نرم‌افزار PVTSim به عنوان عبارت Cpen می‌باشد که لازم است با استفاده از داده‌های مدل PVTi مقادیر مذکور بر طبق رابطه‌ی آن محاسبه و مورد استفاده قرار گیرد.

در نرم‌افزار PVTsim به صورت پیش‌فرض برای برخی از اجزای سیال Cpen وجود دارد. پیشنهاد می‌شود محاسبه‌ی Cpen فقط برای اجزایی از سیال انجام شود که در نرم‌افزار PVTsim به صورت پیش‌فرض وجود ندارد.

■ نکته‌ی ظریف و با اهمیت دیگر که اکثرا مغفول واقع می‌شـــود دقت در واحدهای به‌کار رفته در مدل‌ها و تبدیل مقادیر در مواقع لازم است.

در ادامه یک مطالعه‌ی موردی جهت شفاف‌تر شدن روند کار ارائه می‌شود.

۳- نمونه‌ی موردی

تبدیـــل یک مدل ســـیال در نرم‌افزار PVTi به نرم‌افـــزار PVTSim برای یک پروژه‌ی واقعی به صورت مرحله به مرحله در ارائه شده است.

۳-۱- مرحله‌ی اول: گرفتن خروجی به صورت ترکیبی (Compositional) از مدل ســـیال تطابق یافته در نرم‌افزار PVTi

در این مرحله، از مدل ســـیال تطابق یافته در دمای مخزن، خروجی ترکیبی گرفته می‌شود. (File/Export Keywords/Eclipse Compositional Fluid Model)

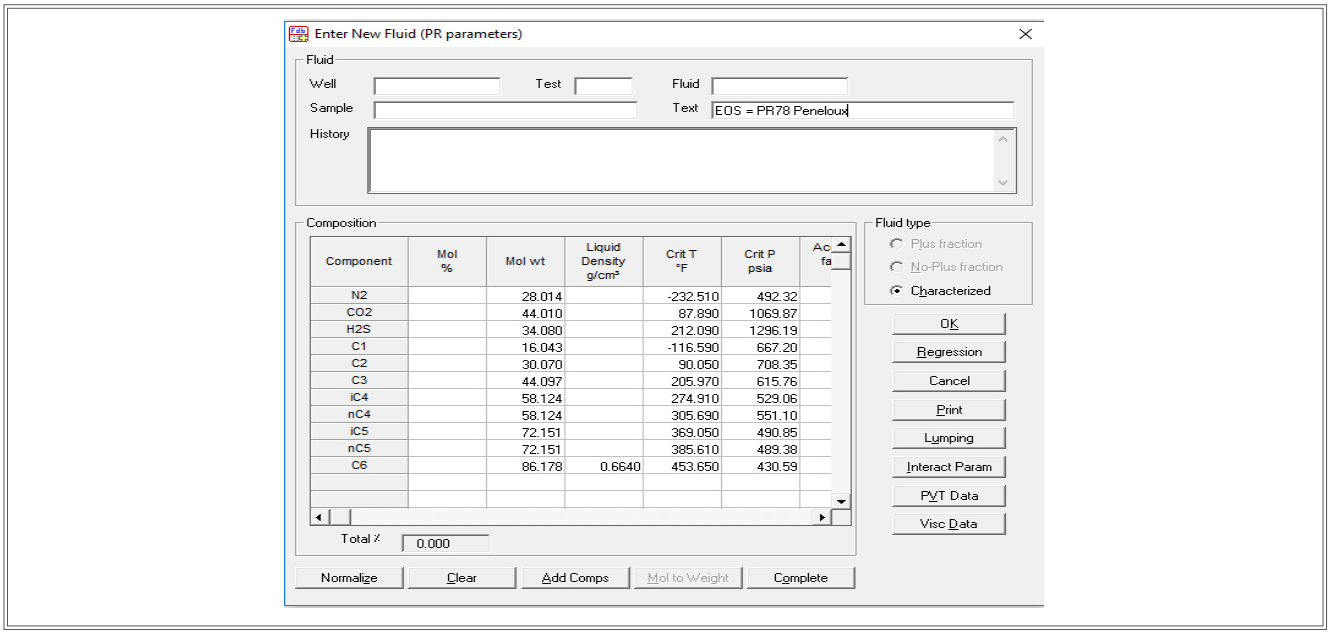
این خروجی شـــامل خصوصیات ترمودینامیکی تمامی اجزای سیال به همراه Binary Coefficient ها و LBC Coefficients است.

جدول ۱ خصوصیات ســـیال تطابـــق یافته در نرم‌افزار PVTi را نشـــان می‌دهد که به صورت ترکیبی از این نرم‌افزار خروجی گرفته شـــده و از فرمـــت خروجـــی در Notepad به نرم‌افزار Excel منتقل شده است.

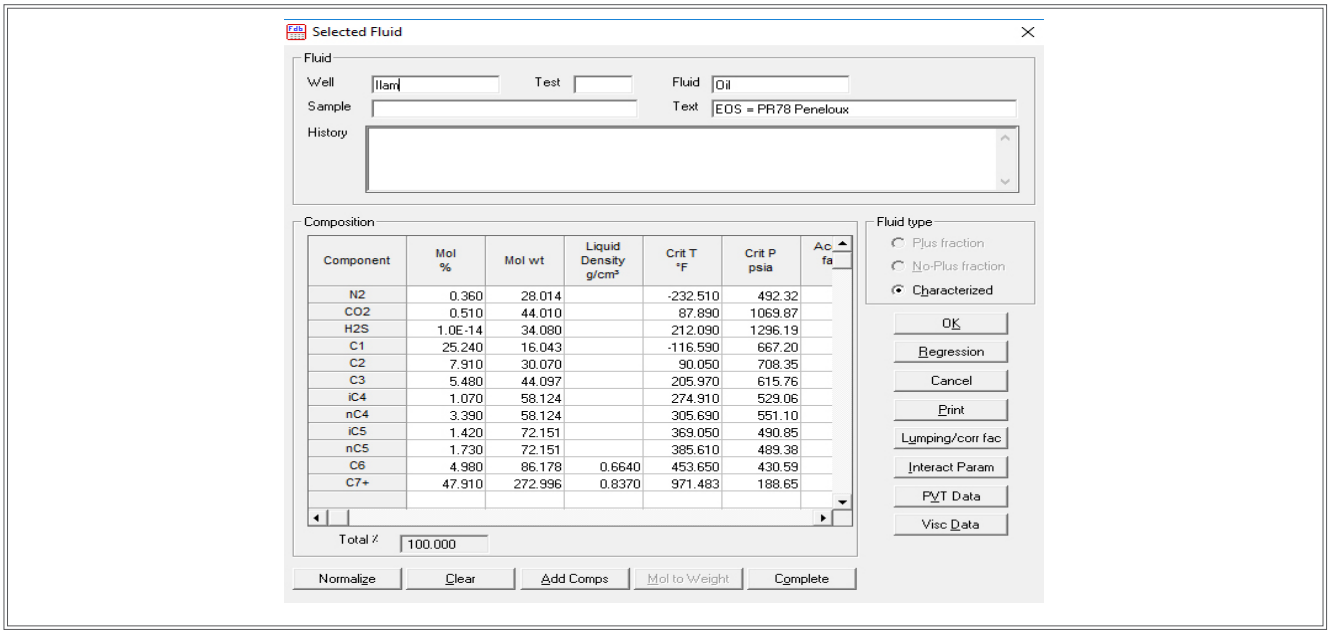
جدول ۱ | خصوصیات اجزای مدل سیال تطابق یافته در نرم‌افزار PVTi

CNAMES	Molecular Weights	OMEGAA	OMEGAB	Critical Temperatures(R)	Critical Pressures(psia)	Critical Volumesft3 /lb-mole
N۲	۲۸.۰۱۳	۰.۳۷۳	۰.۰۶۹	۲۲۷.۱۶۰	۴۹۲.۳۱۳	۱.۴۴۲
CO۲	۴۴.۰۱۰	۰.۶۸۶	۰.۰۹۷	۵۴۸.۴۶۰	۱۰۷۱.۳۳۱	۱.۵۰۶
H۲S	۳۴.۰۷۶	۰.۳۷۳	۰.۰۶۹	۶۷۲.۴۸۰	۱۲۹۶.۱۷۸	۱.۵۷۰
C۱	۱۶.۰۴۳	۰.۳۷۳	۰.۰۶۹	۳۴۳.۰۸۰	۶۶۷.۷۸۲	۱.۵۷۰
C۲	۳۰.۰۷۰	۰.۶۸۶	۰.۰۹۷	۵۴۹.۷۷۴	۷۰۸.۳۴۲	۲.۳۷۱
C۳	۴۴.۰۹۷	۰.۶۸۳	۰.۱۱۷	۶۶۵.۶۴۰	۶۱۵.۷۵۸	۳.۲۰۴
IC۴	۵۸.۱۲۴	۰.۵۸۳	۰.۱۱۷	۷۳۴.۵۸۰	۵۲۹.۰۵۲	۴.۲۱۳
NC۴	۵۸.۱۲۴	۰.۵۸۳	۰.۱۱۷	۷۶۵.۳۶۰	۵۵۰.۶۵۵	۴.۰۸۵
IC۵	۷۲.۱۵۱	۰.۴۹۴	۰.۰۳۹	۸۲۸.۷۲۰	۴۹۱.۵۷۸	۴.۹۳۴
NC۵	۷۲.۱۵۱	۰.۴۹۴	۰.۰۳۹	۸۴۵.۲۸۰	۴۸۸.۷۸۶	۴.۹۸۲

CNAMES	SSHIFT(Volume Shift)	Acentric Factors	PARACHOR	VCRITVIS(ft3 /lb-mole)	Critical Z-Factors	ZI
N۲	۰.۰۰۰	۰.۰۴۰	۴۱.۰۰۰	۱.۴۴۲	۰.۲۹۱	۰.۰۰۴
CO۲	-۰.۱۵۳	۰.۲۲۵	۷۸.۰۰۰	۱.۵۰۶	۰.۲۷۴	۰.۰۰۵
H۲S	۰.۰۰۰	۰.۱۰۰	۸۰.۰۰۰	۱.۵۷۰	۰.۲۸۲	۰.۰۰۰
C۱	۰.۰۰۰	۰.۰۱۳	۷۷.۰۰۰	۱.۵۷۰	۰.۲۸۵	۰.۲۵۲
C۲	-۰.۳۷۰	۰.۰۹۹	۱۰۸.۰۰۰	۲.۳۷۱	۰.۲۸۵	۰.۰۷۹
C۳	-۰.۲۲۵	۰.۱۵۲	۱۵۰.۳۰۰	۳.۲۰۴	۰.۲۷۶	۰.۰۵۵
IC۴	-۰.۱۳۶	۰.۱۸۵	۱۸۱.۵۰۰	۴.۲۱۳	۰.۲۸۳	۰.۰۱۱
NC۴	-۰.۱۱۹	۰.۲۰۱	۱۸۹.۹۰۰	۴.۰۸۵	۰.۲۷۴	۰.۰۳۴
IC۵	-۰.۰۴۱	۰.۲۲۷	۲۲۵.۰۰۰	۴.۹۳۴	۰.۲۷۳	۰.۰۱۴
NC۵	-۰.۰۳۰	۰.۲۵۱	۲۳۱.۵۰۰	۴.۹۸۲	۰.۲۶۸	۰.۰۱۷



شکل ۳ | ایجاد یک فایل سیال جدید در نرم‌افزار PVTsim به صورت Characterized قبل از وارد کردن اطلاعات خروجی نرم‌افزار PVTi



شکل ۴ | فایل سیال اولیه در نرم‌افزار PVTsim بعد از کپی اطلاعات خروجی نرم‌افزار PVTi

۲-۳- مرحله‌ی دوم: ایجاد یک فایل اولیه‌ی مدل سیال در نرم‌افزار PVTsim

ابتدا با تعیین معادله‌ی حالت به صورت متناظر با معادله‌ی حالت در نرم‌افزار PVTi یک سیال جدید به صورت Characterized در نرم‌افزار PVTSim تعریف می‌شود. برای این نمونه با توجه به استفاده از معادله‌ی حالت پنگ‌رابینسون سه پارامتره در مدل سیال در PVTi، معادله‌ی حالت Peneloux PR۷۸ انتخاب شد.

۳-۳- مرحله‌ی سوم: کپی کردن اطلاعات خروجی PVTi در مدل سیال PVTsim

در این مرحله اطلاعات ارائه شده در مرحله‌ی اول در مدل سیال ارائه شده در مرحله‌ی دوم متناظر با هر یک از اجزای سیال کپی می‌شود.(شکل۴) در قسمت Interact Param در نرم‌افزار PVTSim نیز ضرایب باینری (BinaryCoefficient) مربوطه در ماتریس(-)kij کپی می‌شود.(شکل۵)

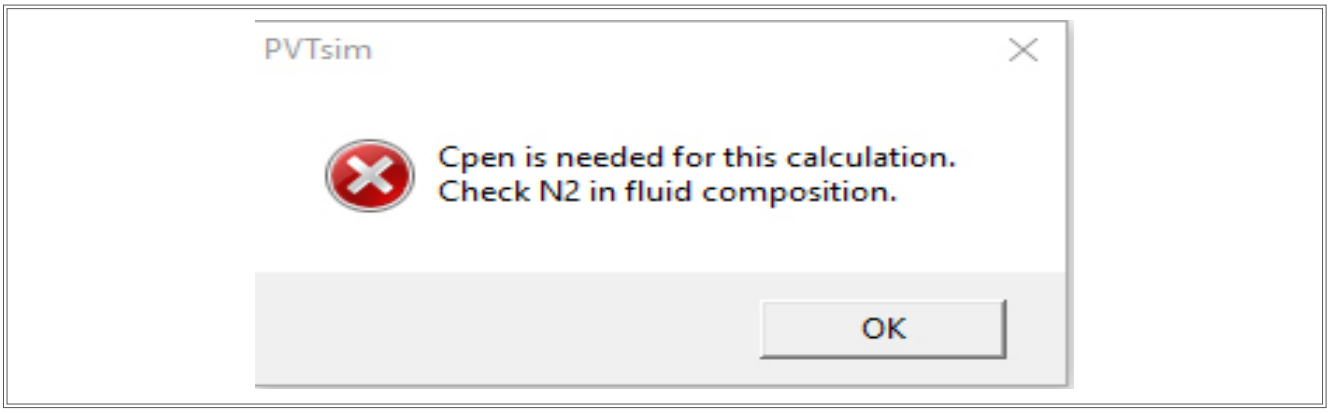
Interaction Parameters (PR)

Mixing rule | kij (-) | HV alfa (-) | HV g/R (K) | HV g-T/R (-) | kij A (-) | kij B (-) | kij C (1/K) | kij PC-SAFT (-)

Component	N2	CO2	H2S	C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5	C6	C7+
N2												
CO2	-0.0120											
H2S	0.1760	0.0960										
C1	0.0500	0.1000	0.1000									
C2	0.0500	0.1000	0.1000	0.0000								
C3	0.0500	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000							
iC4	0.0500	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000						
nC4	0.0500	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000					
iC5	0.0500	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000				
nC5	0.0500	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
C6	0.0500	0.1000	0.1000	0.0279	0.0100	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
C7+	0.0500	0.1000	0.1000	0.0526	0.0100	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

T-dep=Classic
Vc kij's
Exponent n
1.0
OK
Print
Cancel

شکل ۵ | وارد کـردن ضرایب باینری در نرم‌افزار PVTsim



شکل ۶ | خطای PVTsim در هنگام خروجی گرفتن برای OLGA و PROSPER در صورت نبود پارامتر Cpen

۴-۳- مرحله‌ی چهارم: محاسبه‌ی Cpen برای اجزای مدل سـیال و وارد کردن آن در مدل سیال PVTsim

مقادیر مربوط به Volume Shift که در معادله‌ی حالت مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نرم‌افزار PVTi نیز با همین پارامتر خوانده می‌شـود در نرم‌افزار PVTSim تحت عنوان Cpen شـناخته می‌شـود. در نرم‌افزار PVTsim جهت خروجی گرفتن برای نرم‌افزارهای OLGA و PROSPER پارامتر Cpen اهمیت زیادی دارد که در صورت نبود آن، خطای شکل ۶ ایجاد می‌شود.

برای محاسـبه‌ی این پارامتر باید به این صورت عمل کرد:

Cpen (ft^3/lbmol)=SSHIFT*b

b=Omegab*R(psi.ft^3/(lbmol.R))*TC(R)/PC(psia)

R=۱۰.۷۳۲psi.ft^3/(lbmol.R)

مقادیر Cpen محاسـبه شده برای هر جزء باید در ستون مربوطه به عنوان یکی از خواص اجزا وارد شود.

مراحـل بعدی صرفا برای کنترل مدل سـیال ایجاد شده در نرم‌افزار PVTsim برای اطمینان از صحت تبدیل و پیش‌بینی‌های مدل است.

۵-۳- مرحله‌ی پنجم: مقایسه‌ی فشار اشباع یا شبنم در دو مدل ساخته شده

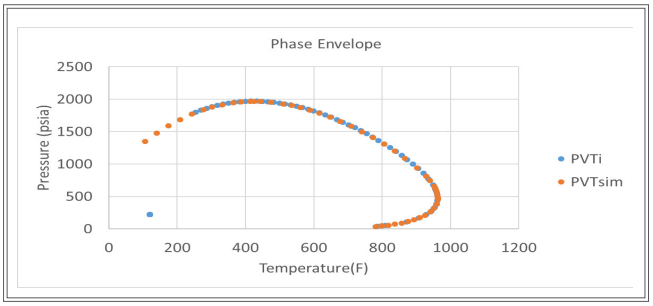
در نرم‌افزار PVTsim در قسمت PVT Simulations فشار اشباع (Saturation Point) در دمای مخزن محاسـبه می‌شـود که در این نمونه‌ی موردی حدود ۱۷۱۶ psia محاسبه شد که با عدد نرم‌افزار PVTi که ۱۷۱۹ psia همخوانی مناسبی دارد.

همچنین از این قسـمت به عنوان معیار برای تعیین معادله‌ی حالت در نرم‌افزار PVTsim که متناظر معادله‌ی حالت در نرم‌افزار PVTi است، استفاده می‌شود.

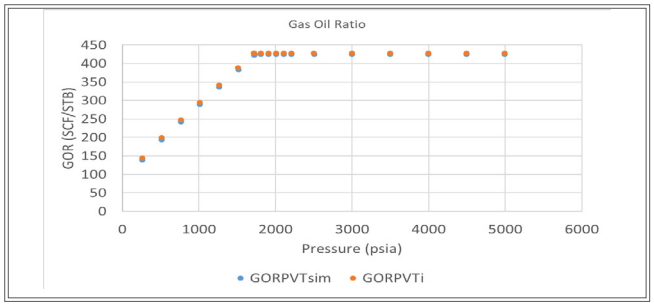
۶-۳- مرحله‌ی ششـم: مقایسـه‌ی خروجی نمودارهای Phase Envelope, BO, GOR, RelativeVolume و OilViscosity

برای اطمینان از صحت مدل ایجاد شـده در نرم‌افـزار PVTsim موارد مورد اشـاره نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

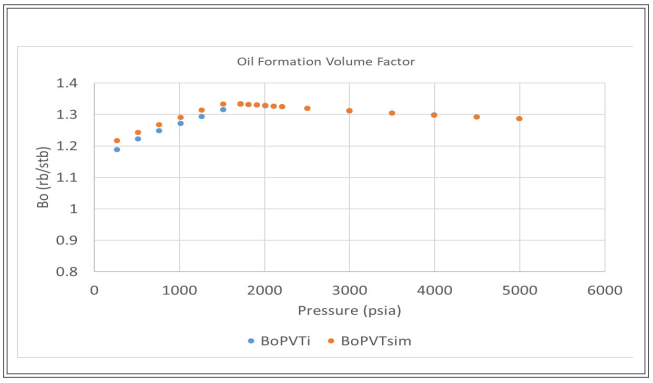
در این نمونـه‌ی موردی phase envelope, BO, GOR, RelativeVolume و OilViscosity در هر دو نرم‌افزار اختلاف ناچیزی با یکدیگر داشتند که در اشکال ۷ تا ۱۱ نشان داده شده است.



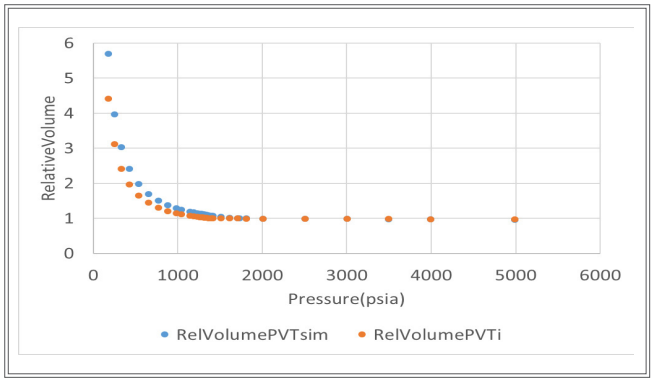
شکل ۷ | منحنی فازی در دو نرم‌افزار



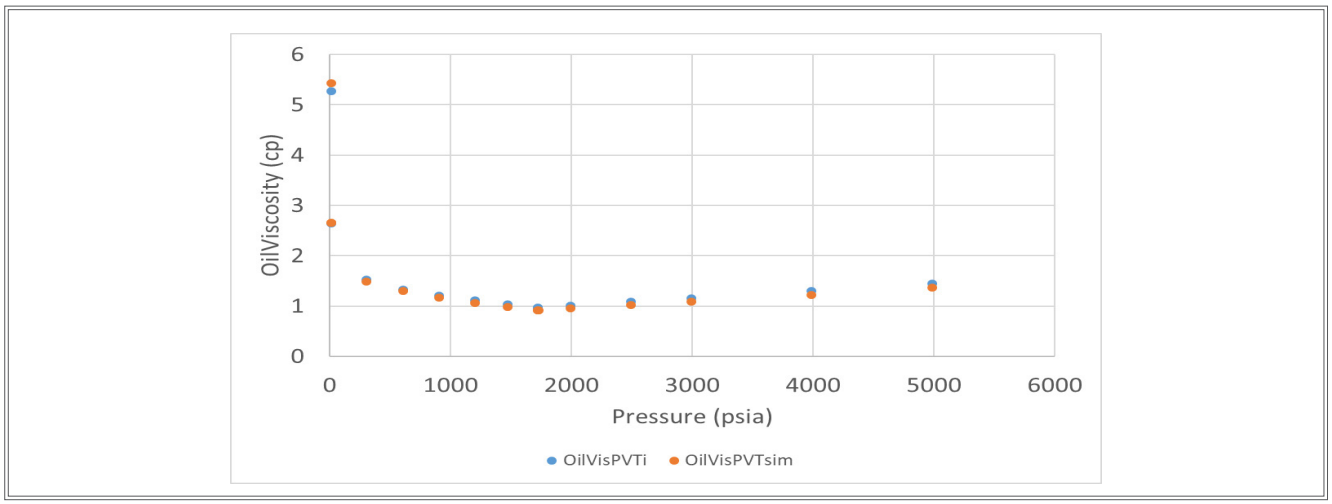
شکل ۹ | نمودار نسبت گاز به نفت در دو نرم‌افزار



شکل ۸ | نمودار ضریب حجمی نفت در دو نرم‌افزار



شکل ۱۰ | نمودار حجم نسبی در دو نرم‌افزار



شکل ۱۱ | نمودار گرانروی نفت در دو نرم‌افزار

نتیجه‌گیری

در این یادداشت فنی سعی شد تا روند کاری تبدیل مدل سیال ساخته شده در نرم‌افزار PVTi به نرم‌افزار PVTsim به همراه نکات مهم آن و ذکر یک نمونه‌ی موردی ارائه شود تا شرکت‌ها بتوانند بدون نیاز به انجام مدل‌سازی دوباره از ابتدا، با سرعت و دقت لازم این فعالیت را انجام داده و متعاقب آن خروجی لازم به دیگر نرم‌افزارهای سطح‌الارضی و تحت‌الارضی را ارائه دهند.■