وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم

پیش بینی خواص ترموفیزیکی برخی مایعات یونی با استفاده از معادلات حالتSAFT

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در
رشته شیمی گرایش شیمی فیزیک

سیده لیلا موسوی

استاد راهنما :

دکتر مریم درگاهی

بهمن۱۳۹۲

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم پایه

گروه شیمی

پیش بینی خواص ترموفیزیکی برخی مایعات یونی با استفاده از معادلات حالت SAFT

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته
شیمی گرایش شیمی فیزیک

سیده لیلا موسوی

استاد راهنما :

دکتر مریم درگاهی

استادمشاور:

دکترعلی مقاری

بهمن۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به پدر و مادر بزرگوار و همسر عزیزم

تقدیر و تشکر

خدا را شکر می گویم که توفیق بهرمندی از لذت تحصیل علم و معرفت از محضر اساتید عالیقدر و پیشکسوتان علم و فرهنگ را به بنده عطا فرمود. از خانم دکتر درگاهی و آقای دکتر مقاری که استاد راهنما و مشاور اینجانب در تدوین این پایان نامه بوده اند و مرا از راهنمایی های مفید و پرثمر خود بهرمند ساخته اند، سپاسگزاری می نمایم.

از اساتید گرامی گروه شیمی که پویندگان راه علم و فرهنگ می باشند ، کمال امتنان و تشکر را دارم.

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی – مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم تاییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله (فرم شماره ۳۰)

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان نامه کارشناسی ارشد سیده لیلا موسوی.. دانشجوی رشته شیمی گرایش ..شیمی فیزیک... تحت عنوان.پیش بینی خواص ترمودینامیکی برخی مایعات یونی با استفاده از معادلات حالت SAFT.. در تاریخ ۰۵/ ۱۱/ ۱۳۹۲ در دانشگاه برگزار گردید و این پایان نامه با نمره به عدد ۱۹/۳ و به حروف نوزده بیست با درجه عالی مورد تایید هیئت داوران قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	خانم دکتر مریم درگاهی	استادیار	دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین	
۲	استاد مشاور	آقای دکتر علی مقاری	استاد	دانشگاه تهران	
۳	داور	آقای دکتر غلامرضا رضایی بهبهانی	دانشیار	دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین	
۴	نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر الیاس شیوانیان	استادیار	دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین	
۵					

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب..سیده لیلا موسوی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد در رشته ...شیمی..... گرایش .شیمی فیزیک. که در تاریخ.....۱۳۹۲/۱۱/۰۵.. از پایان نامه ی خود تحت عنوان .پیش بینی خواص ترمودینامیکی برخی مایعات یونی با استفاده از معادلات حالت SAFT با کسب درجه ی عالی دفاع کرده ام، شرعا و قانونا متعهد می شوم:

۱. مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل تحقیق و مطالعه اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و غیره استفاده کرده ام، با رعایت کامل امانت ، مطابق مقررات، اقدام به ارجاع در متن و ذکر آن در فهرست منابع و مآخذ نموده ام.
۲. تمامی یا بخشی ازاین پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی به سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.
۳. مقالات مستخرج ازاین پایان نامه کاملا حاصل کار اینجانب بوده و از هرگونه جعل داده و یا تغییر اطلاعات پرهیز کرده ام.
۴. از ارسال همزمان و یا تکراری مقالات مستخرج ازاین پایان نامه (با بیش از ۳ درصد همپوشانی) به مجلات و یا همایش های گوناگون خودداری نموده و می نمایم.
۵. کلیه حقوق مادی و معنوی حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) بوده و متعهد می شوم هرگونه بهره مندی ویا نشر دستاوردهای حاصل از این تحقیق اعم از چاپ کتاب، مقاله، ثبت اختراع و غیره (چه در زمان دانشجویی و یا بعد از فراغت از تحصیل) با کسب اجازه از استاد (استادان) راهنما باشد.
۶. درصورت اثبات تخلف و نقض موارد پنجگانه فوق (درهر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) از درجه اعتبار ساقط و اینجانب هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام ونام خانوادگی دانشجو سیده لیلا موسوی

سوگندنامه دانش آموختگان کارشناسی ارشد دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

به نام خدا

سپاس ایزد منان را که مرا مشمول الطاف خویش نمود که با طی مراحل تحصیل موفق به اخذ درجه کارشناسی ارشد شوم. به شکرانه این نعمت بزرگ الهی که با امکانات این مرز و بوم، فراهم و نزد اینجانب به امانت گذاشته شده است، در پیشگاه ملت ایران به کتاب آسمانی خود، قرآن کریم، سوگند یاد می کنم که :

- در سراسر زندگی حرفه ای، در راه اعتلای کشور ایران و جامعه بشری به نحو احسن قدم برداشته و دراین راه از هیچ تلاشی دریغ ننمایم.
- در تمام فعالیت های تخصصی، رضای خدا را همراه با صداقت علمی و اجتماعی در نظر داشته و از موقعیت های به دست آمده در جهت رفع مشکلات جامعه استفاده کنم و در همه ی امور، منافع کشور را بر منافع فردی مقدم بدارم.
- همواره علم و دانش خود را به روز نگاه داشته و در ایفای مسئولیت و تعهدات حرفه ای در حد توان سعی و تلاش خود را به کار گیرم.
- و اینک از خداوند علیم توفیق بندگی و پای بندی به مفاد این سوگندنامه را خواستارم و از او می خواهم که مرا در ایفای رسالت علمی و انسانی خویش موفق بدارد.

نام ونام خانوادگی دانشجو

سیده لیلاموسوی

امضاء

مجوز بهره برداری از پایان نامه/ رساله

کلیه حقوق اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس و ... از نتایج این پایان نامه برای دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) قزوین محفوظ است. بهره برداری از این پایان نامه/ رساله در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می شود، بلامانع است:

☐ بهره برداری از این پایان نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☑ بهره برداری از این پایان نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلا مانع است.

☐ بهره برداری از این پایان نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

استاد راهنما می تواند یکی از گزینه های بالا را انتخاب کند و مسئولین کتابخانه موظف به رعایت موارد تعیین شده می باشد.

نام استاد و یا اساتید راهنما: مریم رضوی

تاریخ:

امضاء: ۹۲/۱۲/۱۲

چکیده

دراین پژوهش سعی شده است با استفاده از دو نسخه از معادلات حالت SAFT خواص ترموفیزیکی برخی از مایعات یونی پیش بینی شود. زیرا معادلات حالت توانایی زیادی در بررسی و پیش بینی خواص ترموفیزیکی اغلب ترکیبات دارند.یک مایع یونی شامل یک کاتیون حلقوی دارای زنجیره های آلکیلی ، و یک آنیون که متصل به کاتیون است، می باشد.در این پژوهش مایعات یونی با پایه ی ایمیدازولیوم انتخاب شده اند که دارای دو زنجیره ی آلکیلی هستند، یک زنجیره ی آلکیل ثابت (متیل) و زنجیره ی دیگر از بوتیل به هگزیل و اکتیل تغییر می کند. آنیون های این مایعات یونی نیزقابل تغییر است نظیر تترا فلوئورو بورات و هگزا فلوئورو فسفات و بیس(تری فلوئورو متیل سولفونیل) ایمید.

در این پژوهش با معادلات حالتPC-SAFT[1] و Heterosegmented-SAFT این مایعات یونی بررسی شده اند. محاسبات انجام شده به صورت ایزوترم در فشار های مختلف انجام شده است، یکبار با تغییر طول زنجیره ی آلکیلی و ثابت در نظر گرفتن آنیون و بار دیگر با ثابت نگه داشتن طول زنجیره ی آلکیلی و تغییر نوع آنیون خواص ترمو فیزیکی نظیر فشار، ظرفیت گرمایی در فشار ثابت ، ظرفیت گرمایی در حجم ثابت و سرعت صوت محاسبه شده است. هدف این است که اثرات تغییر طول زنجیره ی آلکیلی و همچنین تغییر نوع آنیون بر روی خواص ترموفیزیکی مشاهده شود و داده های تجربی و محاسباتی با هم مقایسه شوند ، و توانایی معادلات حالت PC-SAFT و Heterosegmented-SAFT در پیش بینی خواص ترموفیزیکی این مواد مورد بررسی قرار گیرد.نتایج حاصل نشان می دهد که هر دو معادله ی مذکور توانایی زیادی در پیش بینی خواص ترموفیزیکی مشتق مرتبه ی اول مثل حجم ، فشار و چگالی دارند ، و درچند مورد از مایعات یونی مورد بررسی، برای محاسبه ی خواص مشتق مرتبه ی دوم مثل ظرفیت گرمایی و سرعت صوت مناسب هستند، به طور مثال برای مایع یونی ۱-بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیوم تترا بورات درصد خطای ظرفیت گرمایی در فشار ثابت محاسبه شده با معادله ی حالت Heterosegmented-SAFT و معادله ی حالت PC-SAFT به ترتیب برابراست با ۲/۳ ٪ و ۲۹/۳٪. با توجه به نتایج حاصل از هر دو معادله ی حالت ، معادله ی حالت

[1] -Perturbed Chain Statistical associating fluid theory

Heterosegmented-SAFT نسبت به PC-SAFT توانایی بیشتری در پیش بینی خواص ترموفیزیکی مایعات یونی مورد بررسی دارد.

کلید واژگان : معادلات حالت، مایعات یونی ،PC-SAFT ، Heterosegmented-SAFT

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

مقدمه

فصل اول- مایعات یونی

۱-۱- مایعات یونی.....۲

۱-۲- کاربرد های مایعات یونی.....۴

۱ -۲-۱- کاربرد در فرآیند های شیمیایی.....۴

۱-۲ – ۲ – کاربرد در دستگاه های الکتروشیمیایی.....۵

۱-۲ - ۳ – کاربرد در واکنش های کاتالیستی.....۵

۱- ۲ – ۴ – کاربرد صنعتی مایعات یونی.....۶

۱ – ۲ – ۵ - کاربرد به عنوان الکترولیت.....۶

۱ – ۲ – ۶ - کاربرد در فر آیند های جداسازی و آشکارسازی.....۷

۱ – ۲ – ۷ – کاربرد به عنوان حلال.....۷

۱ – ۳ – ویژگی های مایعات یونی.....۷

۱ – ۳ – ۱ – پایداری الکترو شیمیایی.....۷

۱ – ۳ – ۲ – رسانایی و هدایت الکتریکی.....۱۰

۱ – ۳ – ۳ – پایداری گرمایی.....۱۱

۱ – ۳ – ۴ – داشتن ویژگی های حلال مناسب.....۱۱

۱ – ۳ – ۵ – ویسکوزیته.....۱۲

۱ – ۳ -۶ – نقاط ذوب.....۱۳

۱ – ۳ – ۷ – دانسیته.....۱۳

۱ – ٤ – بررسی خواص فیزیکی مایعات یونی.....۱۴

۱ – ۴ – ۱ – مایعات یونی خالص.....۱۴

۱ – ۴ – ۲ – مخلوط های دوتایی و سه تایی.....۱۶

۱ – ۴ – ۳ – برخی معادلات بررسی تعادل فازی.....۱۹

فصل دوم - نظریه ی آماری سیالات تجمعی SAFT

۲ – ۱ – نظریه ی تجمع ورتیم.....۲۷

۲ – ۲ – رویکرد SAFT.....۳۲

۲ – ۲ – ۱ – سهم سگمان.....۳۳

۲ – ۲ – ۲ – سهم زنجیر.....۳۵

۲ – ۲ – ۳ – سهم تجمع.....۳۶

۲ – ۳ – مدل هونگ و رادوز.....۳۸

۲ – ۳ – ۱ – پارامتر های سیال در مدل هونگ و رادوز.....۳۹

۲ – ۳ – ۲ – بررسی جزئیات معادله ی هونگ و رادوز.....۴۱

۲ – ٤ – مدل چپمن.....۴۴

۲ – ۵ – انواع مدل های SAFT.....۴۶

فصل سوم – معادله ی حالت PC-SAFT و بررسی خواص ترمو فیزیکی برخی مایعات یونی

۳ – ۱ – مدل PC-SAFT.....۵۴

۳ – ۲ – کاربرد های PC-SAFT.....۵۸

۳ – ۳ – مزا یای معادله ی حالت PC-SAFT نسبت به دیگر معادلات حالت ۵۸

۳ – ٤ – بررسی جزئیات معادله ی حالت PC-SAFT ۵۹

۳ – ۴ – ۱ – سهم زنجیر سخت ۵۹

۳ – ۴ – ۲ – سهم پراکندگی معادله ۶۰

۳ – ۴ – ۳ – سهم تجمع ۶۱

۳ – ۴ – ۴ – سهم الکتروستاتیک ۶۳

۳ – ۴ – ۵ – سهم قطبش پذیری – قطبیت ۶۴

۳ – ۴ – ۶ – سهم انرژی آزاد الاستیک (کشسانی) یک شبکه ۶۷

۳ – ۵ – الگوسازی سیستم های با وزن مولکولی کم ۶۷

۳ – ۵ – ۱ – مخلوط های با قطبیت قوی و سیالات غیر قطبی ۶۸

۳ – ۵ – ۲ – سیالات تجمعی و مخلوط های دو قطبی ۶۸

۳ – ۵ – ۳ – مخلوط های کربوکسیلیک اسید ها ۶۹

۳ – ٦ – الگو سازی تعادل مایع – جامد ۷۰

۳ – ۷ – سیستم های پلیمری ۷۰

۳ – ۸ – بحث و نتیجه گیری ۷۲

نمودارها ۷۹

فصل چهارم : معادله ی حالت Heterosegmented-SAFT برای بررسی خواص ترمو فیزیکی مایعات یونی

٤ – ۱ – مدل Heterosegmented-SAFT ۱۰۴

٤ – ۲ – کاربرد های مدل Heterosegmented-SAFT ۱۰۵

٤ – ۳ – شرح سهم های مختلف معادله ی حالت Heterosegmented-SAFT ۱۰۶

۴ – ۳ – ۱ – سهم کره ی سخت ۱۰۶

۴ – ۳ – ۲ – سهم پراکندگی ۱۰۷
۴ – ۳ – ۳ – سهم زنجیر ۱۱۰
۴ – ۳ – ۴ – سهم تجمع ۱۱۰
٤– ٤ – مدلسازی ترمودینامیکی ۱۱۲
۴ – ۴ – ۱ – تعیین پارامتر های برای کاتیون و آنیون..... ۱۱۳
۴ – ۴ – ۲ – تعیین پارامتر ها برای آلکیل ها..... ۱۱۳
٤– ٥ – بحث و نتیجه گیری ۱۱۶
نمودارها..... ۱۲۵
منابع..... ۱۴۹
پیوست ها ۱۶۲

فهرست نمودارها

عنوان.....صفحه

شکل (۳-۱) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ در دمای ۳۱۳،۱۵K ۸۰

شکل (۳-۲): نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ در دمای ۳۳۳،۱۵K ۸۰

شکل (۳-۳) : نمودار فشاردر برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ دردمای ۳۵۳،۱۵K ۸۱

شکل (۳-۴) : نمودارخطای نسبی حجم در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$..... ۸۱

شکل (۳-۵) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ ۸۲

شکل (۳-۶) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ ۸۲

شکل (۳-۷) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$..... ۸۳

.شکل (۳-۸) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای$[C_n\text{mim}][\text{B}F_4$]..... ۸۳

شکل (۳-۹) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ در فشار 1atm..... ۸۴

شکل (۳-۱۰): نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ در دمای ۳۱۳،۱۵K..... ۸۴

شکل (۳-۱۱): نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ در دمای ۳۳۳،۱۵ K..... ۸۵

شکل (۳-۱۲) : نمودار فشاردر برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ در دمای ۳۵۳،۱۵K..... ۸۵

شکل (۳-۱۳) : نمودار خطای نسبی حجم دربرابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$..... ۸۶

شکل (۳-۱۴) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$..... ۸۶

شکل (۳-۱۵) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ در فشار1atm ۸۷

شکل (۳-۱۶) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ در دمای ۳۰۳،۱۵K..... ۸۷

شکل (۳- ۱۷) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ ، در دمای ۳۱۳ .۱۵ K..... ۸۸

شکل (۳-۱۸): نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ در دمای ۳۲۳،۱۵K..... ۸۸

شکل (۳-۱۹) : نمودار خطای نسبی حجم در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$..... ۸۹

شکل (۳-۲۰): نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$..... ۸۹

شکل (۳-۲۱): نمودار سرعت صوت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$..... ۹۰

شکل (۳-۲۲): نمودار فشار در برابر حجم برای ([C_4mim][BF_4], ...) در دمای ۲۹۸,۱۵ K ۹۰
شکل (۳-۲۳) : نمودارفشار در برابر حجم برای ([C_4mim][BF_4], ...)در دمای ۳۰۳,۱۵K ۹۱
شکل (۳-۲۴) : نمودار فشار در برابر حجم برای ([C_4mim][BF_4], ...) در دمای ۳۲۳,۱۵K ۹۱
شکل (۳-۲۵) : نمودار خطای نسبی حجم دربرابر دما برای ([C_4mim][BF_4], ...) ۹۲
شکل (۳-۲۶): نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابرفشار برای ([C_4mim][BF_4],) ۹۲
شکل (۳-۲۷) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای ([C_4mim][BF_4], ...) ۹۳
شکل (۳-۲۸) : نمودار ظرفیت گرمایی در حجم ثابت در برابرفشار برای ([C_4mim][BF_4], ..) ۹۳
شکل (۳-۲۹) : نمودار ظرفیت گرمایی در حجم ثابت در برابر فشار برای ([C_4mim][BF_4], ...) ۹۴
شکل (۳-۳۰) : نمودار سرعت صوت در برابر فشار برای ([C_4mim][BF_4], ...) ۹۴
شکل (۳-۳۱) : نمودار سرعت صوت در برابر فشار برای ([C_4mim][BF_4], ...) ۹۵
شکل(۳-۳۲): نمودار ظرفیت گرمایی درفشارثابت در برابر دما برای([C_4mim][BF_4], ...) ۹۵
شکل (۳-۳۳) : نمودار ظرفیت گرمایی در حجم ثابت در برابر دما برای([C_4mim][BF_4], ..) ۹۶
شکل (۳-۳۴) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای([C_4mim][BF_4], ...) ۹۶
شکل (۳-۳۵) : نمودار فشار در برابر حجم برای ([C_6mim][BF_4], ...) در دمای ۳۱۳,۱۵K ۹۷
شکل (۳-۳۶) : نمودار فشار در برابر حجم برای([C_6mim][BF_4], ...) در دمای ۳۳۳,۱۵K ۹۷
شکل (۳-۳۷) : نمودار فشار در برابر حجم برای([C_6mim][BF_4], ...) در دمای ۳۵۳,۱۵K ۹۸
شکل (۳-۳۸) : نمودار خطای نسبی حجم در برابر دما برای([C_6mim][BF_4], ...) ۹۸
شکل (۳-۳۹) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای([C_6mim][BF_4], .) ۹۹
شکل (۳-۴۰) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای([C_6mim][BF_4], ...) ۹۹
شکل (۳-۴۱): نمودار فشار در برابر حجم برای([C_8mim][BF_4], ...) در دمای ۳۱۳,۱۵K ۱۰۰
شکل (۳-۴۲): نمودار فشار در برابر حجم برای([C_8mim][BF_4], ...) در دمای ۳۳۳,۱۵K ۱۰۰
شکل (۳-۴۳): نمودار فشار در برابر حجم برای([C_8mim][BF_4], ...) در دمای ۳۵۳,۱۵K ۱۰۱
شکل (۳-۴۴): نمودار خطای نسبی حجم در برابر دما برای([C_8mim][BF_4], ...) ۱۰۱
شکل (۳-۴۵): نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برا بر دما برای([C_8mim][BF_4],) ۱۰۲
شکل (۳-۴۶) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای([C_8mim][BF_4], ...) ۱۰۲
شکل (۴-۱): نمودار فشار در برابر حجم برای([C_4mim][BF_4], ...) در دمای ۲۹۸,۱۵K ۱۲۶
شکل (۴-۲): نمودار فشار در برابر حجم برای([C_4mim][BF_4], ...) در دمای ۳۰۳,۱۵K ۱۲۶

شکل (۴-۳) : نمودار فشار در برابر حجم برای ($[C_4mim][BF_4]$,...) در دمای ۳۱۳٫۱۵K ۱۲۷
شکل (۴-۴) : نمودار خطای نسبی حجم در برا بر دما برای ($[C_4mim][BF_4]$,...) ۱۲۷
شکل (۴-۵) : نمودار ظرفیت گرمایی در حجم ثابت در برابر فشار برای ($[C_4mim][BF_4]$,..) ۱۲۸
شکل (۴-۶) : نمودار ظرفیت گرمایی در حجم ثابت در برابر فشار برای ($[C_4mim][BF_4]$,.) ۱۲۸
شکل (۴-۷) : نمودار ظرفیت گرمایی در حجم ثابت در برابر دما برای ($[C_4mim][BF_4]$,..) ۱۲۹
شکل (۴-۸) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای ($[C_4mim][BF_4]$,.) ۱۲۹
شکل (۴-۹) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای ($[C_4mim][BF_4]$,..) ۱۳۰
شکل (۴-۱۰) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای ($[C_4mim][BF_4]$,.) ۱۳۰
شکل (۴-۱۱) : نمودار سرعت صوت در برابر فشار برای ($[C_4mim][BF_4]$,...) ۱۳۱
شکل (۴-۱۲) : نمودار سرعت صوت در برابر فشار برای ($[C_4mim][BF_4]$,...) ۱۳۱
شکل (۴-۱۳) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای ($[C_4mim][BF_4]$,....) ۱۳۲
شکل (۴-۱۴) : نمودار فشار در برابر حجم برای ($[C_6mim][BF_4]$,...) ۱۳۲
شکل (۴-۱۵) : نمودار فشار در برابر حجم برای ($[C_6mim][BF_4]$,...) ۱۳۳
شکل (۴-۱۶) : نمودار فشار در برابر حجم برای ($[C_6mim][BF_4]$,...) ۱۳۳
شکل (۴-۱۷) : نمودار خطای نسبی حجم در برا بر دما برای ($[C_6mim][BF_4]$,...) ۱۳۴
شکل (۴-۱۸) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای ($[C_6mim][BF_4]$,.) ۱۳۴
شکل (۴-۱۹) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای ($[C_6mim][BF_4]$,...) ۱۳۵
شکل (۴-۲۰) : نمودار فشار در برابر حجم برای ($[C_8mim][BF_4]$,...) ۱۳۵
شکل (۴-۲۱) : نمودار فشار در برابر حجم برای ($[C_8mim][BF_4]$,...) ۱۳۶
شکل (۴-۲۲) : نمودار فشار در برابر حجم برای ($[C_8mim][BF_4]$,...) ۱۳۶
شکل (۴- ۲۳) : نمودار خطای نسبی حجم در برابر دما برای ($[C_8mim][BF_4]$,...) ۱۳۷
شکل (۴- ۲۴) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای ($[C_8mim][BF_4]$,.) ۱۳۷
شکل (۴- ۲۵) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای ($[C_8mim][BF_4]$,...) ۱۳۸
شکل (۴-۲۶) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_nmim][BF_4]$ در دمای ۳۱۳٫۱۵K ۱۳۸
شکل (۴-۲۷): نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_nmim][BF_4]$ در دمای ۳۳۳٫۱۵K ۱۳۹
شکل (۴-۲۸) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_nmim][BF_4]$ در دمای ۳۵۳٫۱۵K ۱۳۹
شکل (۴-۲۹) : نمودار خطای نسبی حجم در برابر دما برای $[C_nmim][BF_4]$ ۱۴۰

شکل (۴-۳۰) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ ۱۴۰
شکل (۴-۳۱) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ ۱۴۱
شکل (۴-۳۲) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر فشار برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ ۱۴۱
شکل (۴-۳۳) : نمودار ظرفیت گرمایی درفشار ثابت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ ۱۴۲
شکل (۴-۳۴) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{B}F_4]$ ۱۴۲
شکل (۴-۳۵): نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ در دمای ۳۱۳,۱۵K ۱۴۳
شکل (۴-۳۶) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ در دمای ۳۳۳,۱۵K ۱۴۳
شکل (۴-۳۷): نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ در دمای ۳۵۳,۱۵K ۱۴۴
شکل (۴-۳۸): نمودار خطای نسبی حجم در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ ۱۴۴
شکل (۴-۳۹) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ ۱۴۵
شکل (۴-۴۰): نمودار سرعت صوت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{P}F_6]$ ۱۴۵
شکل (۴-۴۱) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ در دمای ۳۰۳,۱۵K ۱۴۶
شکل (۴-۴۲) : نمودار فشار در برا بر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ در دمای ۳۱۳,۱۵K ۱۴۶
شکل(۴-۴۳) : نمودار فشار در برابر حجم برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ در دمای ۳۲۳,۱۵K ۱۴۷
شکل (۴-۴۴) : نمودار خطای نسبی حجم در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ ۱۴۷
شکل (۴-۴۵) : نمودار ظرفیت گرمایی در فشار ثابت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ ۱۴۸
شکل (۴-۴۶) : نمودار سرعت صوت در برابر دما برای $[C_n\text{mim}][\text{NT}F_2]$ ۱۴۸