

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی شیمی و مواد

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سرامیک

ساخت و بررسی خواص شیشه‌های سربی جاذب امواج الکترومغناطیس

نگارنده:

ابوالفضل خدادادی

استاد راهنما:

دکتر رضا طاهریان

شهریور ۱۳۹۸

شماره: ۹۸/۱۵۲
تاریخ: ۹۸/۷/۱۷

پایسه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای ابوالفضل خدادادی با شماره دانشجویی ۹۵۰۵۳۴۴ رشته مهندسی مواد گرایش سرامیک تحت عنوان ساخت و بررسی خواص شیشه های سربی جاذب امواج الکترومغناطیس که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود <input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه:)			
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/> عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر رضا طاهریان	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	استادیار	-
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مصطفی کاهانی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر مجتبی قطعی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر مریم شجاعی بهاء آباد	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: محمد جعفری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تیسره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم بہ روح پاک پدرم و مادر مہربانم و ہمسردلسوز و فداکارم کہ بی شک بدون حمایت ہامی
او این امر میسر نمی کردید و دختر عزیزتر از جانم آلا

تعهدنامه

اینجانب ابوالفضل خدادادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سرامیک دانشکده مهندسی شیمی و مواد دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ساخت و بررسی خواص شیشه‌های سربی جاذب امواج الکترومغناطیس " تحت راهنمایی آقای دکتر دکترا رضا طاهریان متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضاء دانشجو

تاریخ:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزار و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوط ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان
- نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

امروزه شیشه‌های جاذب امواج الکترومغناطیس به ویژه شیشه‌های سیلیکات سربی به‌منظور کاربردهای حفاظت در برابر این امواج با انرژی بالا به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این شیشه‌ها هم در امور روزمره پزشکی از جمله برای حفاظت کارکنان و بیماران در آزمایش‌های مربوط به پرتو بوسیله دستگاه‌های مولد اشعه ایکس و هم در علوم مهندسی مواد در آزمایشگاه‌ها و دستگاه‌های پیشرفته تحقیقاتی (در آنالیز و شناسایی ساختمان مواد)، برای حفاظت و ایمنی دستگاه استفاده می‌شود. سرب با توجه به عدد اتمی بالای خود دارای ضریب جذب بالایی بوده و قدرت جذب مناسبی جهت جذب امواج الکترومغناطیس دارد لذا ماده جاذب اصلی در ترکیب این نوع شیشه‌ها، اکسید سرب است.

هدف از این تحقیق دستیابی به شیشه‌های سیلیکاتی سربی با میزان جذب بالا با افزودن اکسیدهای مختلف جهت به دست آوردن بالاترین جذب بهینه می‌باشد. در این تحقیق به تعدادی از مضرات امواج الکترو مغناطیس اشاره شده و فرآیند ساخت شیشه‌های سیلیکاتی سربی ارائه بیان گردیده است و میزان قدرت جذب آنها با توجه به افزودن اکسیدهایی نظیر اکسید باریم، اکسید روی، اکسید بور و اکسید کلسیم به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مولی به نمونه پایه با ۶۰ درصد مولی اکسید سیلیسیم و ۴۰ درصد مولی اکسید سرب مقایسه گردیده است.

همچنین آنالیزهایی از قبیل گرماسنجی روبشی تفاضلی، تفرق اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی، چگالی و طیف سنجی انعکاسی نفوذی جهت محاسبه، بحث و بررسی بر روی پارامترهای مختلفی از جمله ساختار فازی و مورفولوژی، دمای شیشه‌های شدن در نرخ‌های مختلف حرارتی، انرژی اکتیواسیون، انرژی باند ممنوعه، شاخص شکنندگی، ضریب شکست و میزان جذب انجام گردید و ضریب جذب جرمی نمونه‌ها با استفاده از نرم افزار XCOM مقایسه گردید و در نهایت پس از انجام آزمون‌های مختلف و مقایسه خواص نمونه با ۱۵ درصد مولی افزودنی اکسید روی به عنوان نمونه بهینه شناسایی گردید.

واژه‌های کلیدی: شیشه سیلیکاتی سربی، شیشه جاذب، امواج الکترومغناطیس، گرماسنجی روبشی تفاضلی، تفرق اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی، چگالی، طیف سنجی انعکاسی نفوذی، XCOM

فهرست مطالب

فصل ۱ : مقدمه ۱

۱-۱ - امواج الکترومغناطیس ۲

۱-۱-۱ - معرفی امواج الکترومغناطیس ۲

۱-۱-۲ - اثرات امواج الکترومغناطیس بر روی انسان ۳

فصل ۲ : مروری بر منابع ۵

۱-۲ - شیشه و انواع آن ۶

۲-۲ - شیشه های جاذب امواج الکترومغناطیس ۸

۳-۲ - مکانیزم های جذب ۱۱

۱-۳-۲ - پراکندگی منسجم ۱۲

۲-۳-۲ - اثر فوتوالکتریک ۱۳

۳-۳-۲ - اثر کامپتون ۱۵

۴-۳-۲ - پدیده تولید زوج الکترون-پوزیترون ۱۶

۲-۳-۵ - پدیده نورفروپاشی ۱۷

۴-۲ - پارامترهای کلیدی در بررسی خواص شیشه ۱۸

۲-۵ - بررسی کارهای دیگران ۲۷

۶-۲ - نقش ساختاری اکسید سرب درون سیستم سیلیکات سربی ۲۹

۲-۷ - مقایسه قدرت جذب شیشه سربی با سایر شیشه ها ۳۲

۱-۷-۲ - سیستم شیشه BaO و Bi_2O_3 ۳۲

۸-۲ - سیستم شیشه WO_3 ۳۵

۱-۸-۲ - سیستم شیشه ZnO و B_2O_3 ۳۸

فصل ۳ : روش انجام آزمایش ۴۳

۱-۳ - شرح فرایند ساخت نمونه ۴۴

۱-۱-۳ - مواد اولیه مصرفی ۴۴

۲-۱-۳ - انتخاب و تعیین ترکیب مورد نظر ۴۵

۳-۱-۳ - تعیین فرمولاسیون شیشه ها ۴۵

- ۳-۱-۴ - کد بندی نمونه ها ۴۶
- ۳-۲ - نحوه استفاده از فست میل ۴۷
- ۳-۳ - رژیم حرارتی و اتمسفری ساخت شیشه ۴۸
- ۳-۴ - تخلیه مذاب ۴۹
- ۳-۵ - بررسی خواص پس از ساخت نمونه های شیشه ۵۰
- ۳-۵-۱ - محدوده دمای شیشه ای شدن و دمای انتقال (T_g) ۵۰
- ۳-۵-۲ - بررسی فازی نمونه ها ۵۰
- ۳-۵-۳ - بررسی ریز ساختاری نمونه ها ۵۱
- ۳-۵-۴ - آنالیز آزمون اندازه گیری میزان بازتاب پخشی (DRS) ۵۱
- ۳-۵-۵ - آنالیز اندازه گیری چگالی نمونه ها ۵۲

فصل ۴ : تحلیل نتایج ۵۵

- ۴-۱ - نتایج حاصل از آزمون DSC ۵۶
- ۴-۲ - نتایج حاصل از اندازه گیری چگالی نمونه ها ۶۱
- ۴-۳ - نتایج حاصل از آنالیز فازی ۶۳
- ۴-۴ - نتایج حاصل از آنالیز ریز ساختاری نمونه ها ۶۵
- ۴-۵ - نتایج حاصل از آزمون اندازه گیری طیف سنجی میزان بازتابش نفوذی (UV-VIS) DRS ۷۹
- ۴-۵-۱ - بررسی میزان ضریب جذب نمونه های ساخته شده ۸۸

فصل ۵ : جمع بندی و پیشنهادات

..... ۱۰۲

- ۵-۱ - نتیجه گیری ۱۰۳
- ۵-۲ - پیشنهادات ۱۰۳

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) محدوده فرکانسی طیف امواج الکترومغناطیس ۳
- شکل (۱-۲) تقسیم بندی شیشه ها از لحاظ ترکیب شیمیایی..... ۷
- شکل (۲-۲) پراکندگی منسجم..... ۱۳
- شکل (۳-۲) پدیده فوتوالکتریک ۱۴
- شکل (۴-۲) اثر کامپتون ۱۵
- شکل (۵-۲) پدیده تولید زوج الکترون-پوزیترون..... ۱۷
- شکل (۶-۲) پدیده نورفروپاشی ۱۸
- شکل (۷-۲) شماتیک نحوه اتصالات اکسیژن های پا ساز و اکسیژن های غیر پل ساز در شبکه شیشه [۲۹]..... ۲۲
- شکل (۸-۲) نحوه محاسبه مقادیر Tg در واکنش گرماگیر [۲۹]..... ۲۵
- شکل (۹-۲) نمودار $\ln \beta$ بر حسب Tg/1000 جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون [۲۹]..... ۲۶
- شکل (۱۰-۲) مقایسه طیف وابستگی انرژی باند گپ $Pb4f7/2$ به غلظت PbO در ترکیب شیشه [۳۶]..... ۳۱
- شکل (۱۱-۲) نمودار طیف نوری شیشه سیلیکاتی شامل ۶۰ درصد وزنی اکسیدهای فلزی PbO و Bi2O3 و BaO [۴۱] ۳۳
- شکل (۱۲-۲) نمودار پارامتر HVL بر حسب تابعی از ترکیب شیمیایی در سیستم شیشه PbO-SiO₂ در ۱۱۷۳، ۶۶۲ و keV1332. خطوط خط چین مقدار تئوری مربوط به بتن آهنی برای مقایسه است [۲۰]..... ۳۵
- شکل (۱۳-۲) نمودار ضریب جذب جرمی (α) بر حسب طول موج مربوط به سیستم مورد مطالعه [۴۲]..... ۳۶
- شکل (۱۴-۲) شماتیک تنظیمات اندازه گیری ضریب جذب جرمی با استفاده از منبع Cs-137 [۲۲]..... ۳۷
- شکل (۱۵-۲) طیف عبوری مربوط به نمونه مورد مطالعه [۲۲]..... ۳۸
- شکل (۱۶-۲) نمودار تغییرات ضریب جذب خطی با انرژی فوتونی در محدوده ۱۵ MeV - ۰/۰۱۵ برای شیشه های حاوی فلزات سنگین [۴۳]..... ۳۹
- شکل (۱۷-۲) ضریب جذب جرمی شیشه های مورد آزمایش در بازه انرژی ۱۵ MeV - ۰/۰۱۵ [۴۴]..... ۴۱
- شکل (۱-۳) دستگاه فست میل ۴۷
- شکل (۲-۳) کوره ATBIN ذوب شیشه ۴۹
- شکل (۳-۳) دستگاه XRD philips PW1730 ۵۰
- شکل (۴-۳) دستگاه VEGA// TESCAN SEM ۵۱
- شکل (۵-۳) دستگاه طیف سنجی انعکاسی نفوذی..... ۵۲
- شکل (۶-۳) ترازوی دیجیتالی به همراه کیت مکمل جهت اندازه گیری چگالی بصورت مستقیم ۵۳
- شکل (۱-۴) نمودار DSC مربوط به نمونه پایه با نرخ حرارتی ۱۰°C/min به همراه رسم مماس های مربوط ۵۶
- شکل (۲-۴) نمودار DSC مربوط به نمونه پایه با نرخ حرارتی ۱۵°C/min به همراه رسم مماس های مربوط ۵۷
- شکل (۳-۴) نمودار DSC مربوط به نمونه پایه با نرخ حرارتی ۲۰°C/min به همراه رسم مماس های مربوط ۵۷
- شکل (۴-۴) نمودار $\ln \beta$ بر حسب Tg/1000 جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون بر اساس شیب نمودار..... ۵۹
- شکل (۵-۴) الگوی پراش اشعه ایکس تمامی نمونه ها ۶۴
- شکل (۶-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbB5 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۶۵

- شکل (۷-۴) نمونه SiPbB5 (الف EDX) ب MAP ۶۶
- شکل (۸-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbB10 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۶۷
- شکل (۹-۴) نمونه SiPbB10 (الف EDX) ب MAP ۶۸
- شکل (۱۰-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbZn5 در بزرگنماییهای: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۶۹
- شکل (۱۱-۴) نمونه SiPbZn5 (الف EDX) ب MAP ۶۹
- شکل (۱۲-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbZn10 در بزرگنماییهای: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۷۰
- شکل (۱۳-۴) نمونه SiPbZn10 (الف EDX) ب MAP ۷۱
- شکل (۱۴-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbZn۱۵ در بزرگنماییهای: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۷۱
- شکل (۱۵-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbBa۵ در بزرگنماییهای: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۷۲
- شکل (۱۶-۴) نمونه SiPbZn15 (الف EDX) ب MAP ۷۳
- شکل (۱۷-۴) نمونه SiPbBa5 (الف EDX) ب MAP ۷۴
- شکل (۱۸-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbBa10 در بزرگنماییهای: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۷۴
- شکل (۱۹-۴) نمونه SiPbBa10 (الف EDX) ب MAP ۷۵
- شکل (۲۰-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbBa15 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۷۵
- شکل (۲۱-۴) نمونه SiPbBa15 (الف EDX) ب MAP ۷۶
- شکل (۲۲-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbCa5 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x ، د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۷۶
- شکل (۲۳-۴) نمونه SiPbCa5 (الف EDX) ب MAP ۷۷
- شکل (۲۴-۴) تصویر ریزساختاری الکترونیهای ثانویه نمونه SiPbCa10 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV ۷۷
- شکل (۲۵-۴) نمونه SiPbCa10 (الف EDX) ب MAP ۷۸
- شکل (۲۶-۴) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید روی با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه ۷۹
- شکل (۲۷-۴) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید باریم با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه ۸۰
- شکل (۲۸-۴) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید بور با مقادیر ۵ و ۱۰ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه ۸۰
- شکل (۲۹-۴) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید کلسیم با مقادیر ۵ و ۱۰ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه ۸۱
- شکل (۳۰-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید روی با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۱
- شکل (۳۱-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید روی با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۲
- شکل (۳۲-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید باریم با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۳
- شکل (۳۳-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید باریم با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۳

- شکل (۴-۳۴) نمودار تاک افزودنی اکسید بور با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۴
- شکل (۴-۳۵) نمودار تاک افزودنی اکسید بور با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۴
- شکل (۴-۳۷) نمودار تاک افزودنی اکسید کلسیم با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۵
- شکل (۴-۳۶) نمودار تاک افزودنی اکسید کلسیم با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه ۸۵
- شکل (۴-۳۸) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید روی در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصدهای مولی مختلف ۸۹
- شکل (۴-۳۹) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید روی در درصدهای مولی مختلف ۹۰
- شکل (۴-۴۰) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید روی در درصدهای مولی مختلف ۹۱
- شکل (۴-۴۱) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید باریم در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصدهای مولی مختلف ۹۱
- شکل (۴-۴۲) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید باریم در درصدهای مولی مختلف ۹۳
- شکل (۴-۴۳) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید باریم در درصدهای مولی مختلف ۹۳
- شکل (۴-۴۴) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید بور در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصدهای مولی مختلف .. ۹۴
- شکل (۴-۴۵) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید بور در درصدهای مولی مختلف ۹۵
- شکل (۴-۴۶) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید بور در درصدهای مولی مختلف ۹۵
- شکل (۴-۴۷) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید کلسیم در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصدهای مولی مختلف ۹۶
- شکل (۴-۴۸) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید کلسیم در درصدهای مولی مختلف ۹۸
- شکل (۴-۴۹) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید کلسیم در درصدهای مولی مختلف ۹۸

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) خلاصه سیستم های شیشه ذکر شده و تاثیرات عوامل مختلف..... ۲۷
- جدول (۱-۳)) آنالیز شیمیایی مواد اولیه..... ۴۴
- جدول (۲-۳) مشخصات و خلوص اکسید های افزودنی به نمونه پایه..... ۴۵
- جدول (۳-۳) درصد مولی مواد اولیه مصرفی در شیشه سربی..... ۴۶
- جدول (۴-۳) کدبندی نمونه ها..... ۴۶
- جدول (۵-۳) نحوه پر کردن بوتله فست میل..... ۴۸
- جدول (۱-۴) مقادیر Tg مربوط به نمونه پایه (SiPb) در سه نرخ حرارتی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ، 15 و 20 ۵۸
- جدول (۲-۴) اعداد مربوط به محاسبه انرژی اکتیواسیون و ضریب شکنندگی جهت نمونه پایه در سه نرخ حرارتی 10 ، 15 و 20 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)..... ۵۹
- جدول (۳-۴) مقدار محاسبه شده ضریب شکنندگی میانگین جهت نمونه پایه سه نرخ حرارتی 10 ، 15 و 20 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)..... ۶۰
- جدول (۴-۴) مقادیر دمای انتقال جهت شیشه با 5 ، 10 و 15 درصد مولی افزودنی اکسید روی..... ۶۱
- جدول (۵-۴) نتایج حاصل از اندازه گیری چگالی نمونه ها..... ۶۱
- جدول (۶-۴) جرم مولکولی و چگالی اکسید های افزودنی در مقایسه با اکسید سرب..... ۶۲
- جدول (۷-۴) مقادیر انرژی نوار ممنوعه غیرمستقیم و انرژی نوار ممنوعه مستقیم نمونه های ساخته شده با توجه نمودار تاک مربوط به هر نمونه..... ۸۶
- جدول (۸-۴) مقادیر ضریب شکست و مقدار فلزی شدن محاسبه شده جهت نمونه های ساخته شده..... ۸۸

فصل ۱ : مقدمه

۱-۱- امواج الکترومغناطیس

۱-۱-۱- معرفی امواج الکترومغناطیس

امواج الکترومغناطیس طیف گسترده ای از امواج را شامل می شود که می تواند از فرکانس های پایین در حدود ۳ هرتز (فرکانس های با انرژی پایین) تا فرکانس های بالا در حدود 10^{18} هرتز (فرکانس های با انرژی بالا) تغییر کند. این امواج به صورت دو موج الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم انتشار می یابند. انرژی این امواج با توجه به طول موج آنها می تواند تغییر کند به طوریکه امواج با طول موج های بالا انرژی انتشار پایین و امواج با طول موج های پایین انرژی بالایی دارند. امواج الکترومغناطیس با توجه به طول موج یا فرکانس به نواحی مختلفی به شرح زیر تقسیم می شوند که هر بازه کاربرد و خواص مخصوص به خود را دارد.

امواج گاما

این بازه شامل طیفی از امواج الکترومغناطیس است که فرکانس هایی بالاتر از $10^{18} \times 3$ هرتز (طول موج کمتر از ۱۰۰ پیکومتر) را شامل می شود. این امواج از باطله های هسته ای، انفجارات هسته ای و به طور کلی از هسته اتم ها تولید می شود. از آنجاییکه این امواج با توجه به اینکه با سرعت نور حرکت می کنند می توانند مسافت های زیادی را طی کنند. در بین امواج الکترومغناطیس امواج گاما بالاترین میزان انرژی را دارا هستند.

امواج ایکس

امواج ایکس فرکانس های بین $10^{18} \times 3$ و $10^{16} \times 3$ (طول موج بین ۱۰ نانومتر تا ۱۰۰ پیکومتر) را شامل می شود. امواج ایکس بر خلاف امواج گاما در روش تولید فرق دارند و به صورت ساختگی از طریق الکترون هایی که در اطراف اتم وجود دارند تولید می شوند. امواج ایکس به دو نوع سخت و نرم تقسیم می شوند که انرژی امواج ایکس سخت از امواج ایکس نرم بیشتر است.

امواج ماوراء بنفش

این امواج فرکانس های بین $10^{16} \times 3$ و $10^{14} \times 3$ هرتز (طول موج بین ۱ میکرومتر تا ۱۰ نانومتر) را شامل می شود. این ناحیه از امواج الکترومغناطیس بر خلاف دو ناحیه قبل که جابجایی الکترون ها در مقیاس اتمی باعث به وجود آمدن آنها می شود در اثر جابجایی الکترون از اربیتال های مولکولی داخلی به اربیتال های مولکولی در سطوح بالاتر به وجود می آیند.

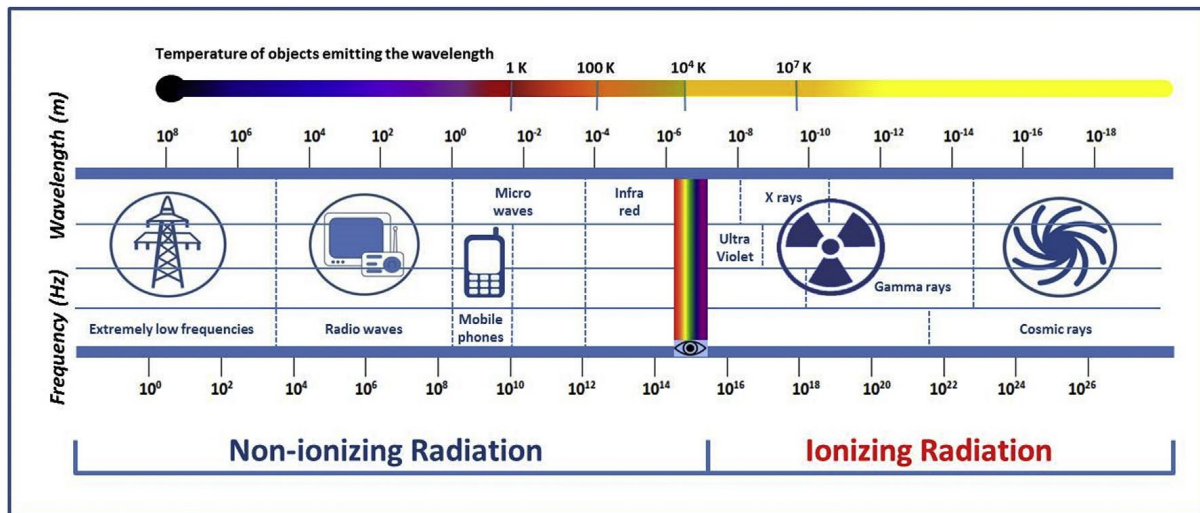
امواج مادون قرمز

این امواج طیف فرکانسی از 3×10^{14} تا 3×10^{12} هرتز (طول موج بین ۱ میکرومتر تا ۱۰۰ میکرومتر) را شامل می شود. امواج مادون قرمز هنگامی که توسط مولکول های مواد جذب شود باعث تغییراتی در نوسان و چرخش مولکول ها می شود.

امواج مایکروویو

این امواج طیف فرکانسی از 3×10^{11} تا 3×10^9 هرتز (طول موج بین ۱ سانتی متر تا ۱۰۰ میکرومتر) را شامل می شود. بر خلاف امواج مادون قرمز این طیف از امواج الکترومغناطیس هنگامی که توسط ماده ای جذب شود تنها باعث تغییرات در میزان چرخش مولکول ها می شود [۱].

شکل (۱-۱) بطور شماتیک محدوده فرکانسی طیف امواج الکترومغناطیس را به طور مختصر نشان می دهد [۲].



شکل (۱-۱) محدوده فرکانسی طیف امواج الکترومغناطیس

۱-۱-۲- اثرات امواج الکترومغناطیس بر روی انسان

در زندگی روزمره امواج الکترومغناطیس به طور وسیع در فرکانس ها و کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. از امواج رادیویی، تلفن های موبایل و امواج مربوط به مودم های خانگی گرفته تا امواج پر انرژی که

در درمان بیماری ها و سرطان ها مورد استفاده قرار می گیرند همگی در طیف امواج الکترومغناطیس قرار دارند [۲]. مطالعات زیادی نشان داده است که امواج الکترومغناطیس می توانند بر DNA تاثیر داشته و باعث شکست آنها شوند [۲].

یانگ و همکارانش [۲] مطالعاتی در مورد ارتباط بین سرطان خون و ترانسفرماتورهای الکتریکی و خطوط انتقال برق انجام دادند و نشان دادند که ارتباطاتی بین سرطان خون کودکان و خطوط انتقال برق وجود دارد. همچنین با توجه به افزایش استفاده از تلفن های همراه، امواج این تلفن ها می توانند بر روی میزان باروری در افراد مختلف تاثیر منفی داشته باشند [۲]. به طور کلی عبور امواج از درون بافتها سلولی موجب ایجاد گرما می شود که این حرارت می تواند بر بافت های حساس تاثیر بیشتری داشته باشد به طوری که ایجاد اختلاف دمایی در حدود ۱ تا ۵ درجه سانتی گراد می تواند تاثیرات اختلال عملکردی در ارگانهای مختلف ایجاد کند [۳].

فصل ۲ : مروری بر منابع

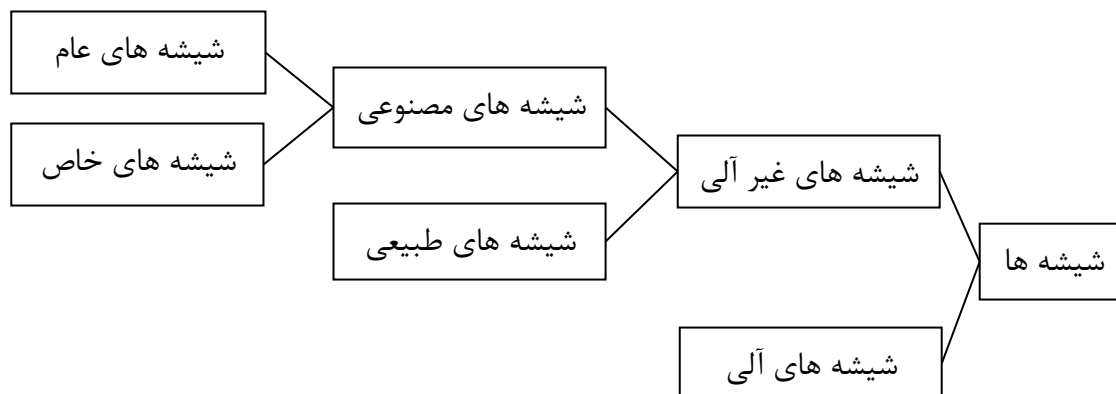
۱-۲ - شیشه و انواع آن

برای شیشه در زمان های مختلف تعاریف مختلفی با توجه به میزان پیشرفت علم در آن زمان ارائه شده است بطوریکه به عنوان مثال در سال ۱۹۳۲ زاخاریاسن [۴] شیشه را ماده ای به صورت شبکه سه بعدی گسترده نامید که میزان انرژی آن با میزان همان ماده به صورت غیر کریستال و نامتقارن قابل مقایسه می باشد. در سال ۱۹۹۴ وارشنیا [۵] شیشه را به صورت جامد آمورف ساده یا غیر کریستالی تعریف نمود که ساختاری شبیه ساختار مایع دارد.

در سال ۲۰۱۰ وارشنیا و مائورو [۶] شیشه را به صورت جامدی که ساختار غیر کریستالی دارد و به صورت پیوسته در اثر حرارت دادن به مایع تبدیل می شود تعریف کردند. در سال ۲۰۱۵ کارماکار [۷] شیشه را به صورت جامدی غیر کریستالی تعریف نمود که دچار تغییر حجم ناگهانی در مقدار آنتالپی یا حجم در محدوده دمای شیشه ای شدن می شود.

شیشه ها جامداتی آمورف هستند که به صورت عمده از لحاظ ترکیب شیمیایی به دو دسته شیشه های آلی و شیشه های غیرآلی تقسیم می شوند. همچنین شیشه های غیر آلی نیز با توجه به منشأ به دو دسته طبیعی و مصنوعی (ساختگی) تقسیم می شوند. شیشه های طبیعی در صخره های ولکانیک دیده می شوند و شیشه های مصنوعی (ساختگی) توسط انسان با روش های ذوب و ریخته گری تولید می شوند.

به همین ترتیب شیشه های مصنوعی با توجه به ماهیت کاربردی به دو دسته شیشه های عمومی و شیشه های خاص تقسیم بندی می شوند. شیشه های عام شیشه هایی هستند که به صورت عمومی در اطراف خودمان با آنها برخورد داریم مثل شیشه های در و پنجره ساختمان، بطری ها و سایر موارد. نوع دیگری از شیشه های مصنوعی شیشه هایی هستند که استفاده های خاص دارند مثل شیشه های محافظ امواج ، شیشه های لیزر و شیشه های بایو [۷].



شکل (۱-۲) تقسیم بندی شیشه ها از لحاظ ترکیب شیمیایی

د

به شرح زیر می باشد :

- شیشه های اپتیکال : شیشه های دوربین، عینک ها و منشورها در این دسته قرار قرار دارند.
- شیشه های نوری : شیشه های لامپ های مهتابی و لامپ های هالوژن در این دسته قرار می گیرند.
- شیشه های ساختمانی : شیشه های پنجره و تامین نور در ساختمان های مسکونی در این دسته قرار دارند.
- شیشه های حرارتی : شیشه های مربوط به کوره های حرارتی و حرارت سنج ها در این دسته قرار دارند.
- شیشه های شیمیایی : شیشه های مربوط به نگهداری مواد شیمیایی و نوشیدنی های خوراکی در این دسته قرار می گیرند.
- شیشه های الکتریکی : عایق های خطوط انتقال برق و تیوب های تولید اشعه ایکس در این دسته قرار دارند.
- شیشه های الکترونیکی : شیشه های آب بندی جهت قطعات الکترونیکی از جمله رله ها، دیودها و ترانزیستورها در این دسته قرار دارند.
- شیشه های هدایت الکتریکی در میکرومدارها نیز در دسته شیشه های الکترونیکی قرار دارند.
- شیشه های مکانیکی : غلطک های راهنما در صنایع نساجی، شیشه های هدایت در صنایع اکستروژن، قالب های ساخت پلاستیک ها در این دسته قرار می گیرند.

- شیشه های فوتونیک^۱ : شیشه های لیزر جهت تولید لیزر در طول موج های مختلف در این دسته قرار دارند.
- شیشه های افتالمیک^۲ : عینک های محافظ چشم در جوشکاری، عینک های آفتابی، عینک های فوتوکرومیک و عینک های تصحیح دید در این دسته قرار دارند [۸].

۲-۲ - شیشه های جاذب امواج الکترومغناطیس

تشعشعاتی که از ماشین های الکتریکی در اثر تخلیه و یا از رادیوایزوتوپ ها ساطع می شوند نه تنها برای انسان مضر هستند بلکه می توانند موجب خرابی در تجهیزات آزمایشگاهی حساس شوند. به همین منظور ماده ای با کیفیت بالا که قابلیت جذب امواج در مقیاس قابل قبول را داشته باشد مورد نیاز است. مواد سیمانی، کاشی ها و مواد رسی به صورت سنتی به این منظور مورد استفاده قرار می گیرند. ولی در هر صورت استفاده از موادی به عنوان محافظ که همانند شیشه ها شفاف باشند مخصوصا در مخازن تولید تشعشع و تجهیزات تصویر برداری اشعه ایکس در پزشکی بسیار مهم است.

در سال های اخیر انواع مختلفی از شیشه ها به منظور محافظت در برابر امواج مورد بررسی قرار رفته اند که می توان از شیشه هایی با پایه بور، سیلیکات، بوروسیلیکات، فسفری و تلورایتی را از این دسته نام برد. در بیشتر این شیشه ها از سرب به خاطر وزن جرمی بالا و تولید شیشه با چگالی بالا استفاده می شود. مطالعات قبلی [۹] تاثیر مقادیر مختلف اکسید سرب بر روی شیشه های بوراتی را بررسی کردند و شیشه هایی با چگالی حداکثر ۵ گرم بر سانتی متر مکعب تولید نمودند.

اسکندر و همکارانش [۱۰] تاثیر امواج گاما را بر روی شیشه های بوراتی سرب تلورایت از لحاظ خواص نوری و ساختاری مورد بررسی قرار دادند. افزایش تشعشعات گاما باعث ایجاد عیوب الکترونیکی و شکست پیوند های شبکه می شوند. به هر حال سرب باعث ایجاد خواص ناخواسته بر روی مغز، کلیه و سایر بافت های بدن می شود.

به همین خاطر از بیسموت به عنوان جایگزین مناسب سرب می توان استفاده نمود. بیسموت موجب افزایش چگالی شده و خواص محافظتی بهتری نسبت به سرب از خود نشان می دهد.

^۱ Photonic

^۲ Ophthalmic

یاساکا و همکارانش [۱۱] تاثیر اکسید بیسموت در شیشه های با سیستم بورات روی را به عنوان سیستم محافظ در برابر امواج مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش اکسید بیسموت احتمالا باعث بهبود ضریب جذب جرمی می شود که نشان دهنده جذب بیشتر است [۱۲].

اصل پایه محافظت در برابر امواج الکترومغناطیس این است که از هرگونه اثر خطرناک ممکن بر روی سلول ها جلوگیری شود. تابش های الکترومغناطیسی همانند اشعه ایکس و اشعه گاما در مکان های متنوعی از جمله رادیولوژی، پرتودرمانی، پزشکی هسته ای، راکتورهای هسته ای و صنایع مورد استفاده قرار می گیرند. اصطلاح محافظت شاید مهم ترین عبارت در برخورد با تشعشعات یونیزه کننده باشد. معمولا سرب عمومی ترین ماده باشد که به این منظور مورد استفاده قرار می گیرد. در هر صورت سرب دارای محدودیت هایی همچون سمی بودن، خواص مکانیکی ضعیف و غیرمنعطف بودن را داراست. به این دلیل استفاده از جایگزین های مناسب سرب همواره مورد توجه بوده است.

در این راستا شیشه های حاوی تلورایت به صورت وسیعی در کاربردهایی همچون فیبر نوری، طیف سنجی (اسپکتروسکوپی) و کاربردهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. شیشه های تلورایتی دارای چگالی بالا، انرژی فوتون پایین، پایداری خوب، خواص غیر خطی نوری مناسب و دمای انتقال به حالت شیشه پایین هستند [۱۳].

برهمکنش بین فوتون های با انرژی بالا با مواد مختلف در صنایع پزشکی، بیولوژی، مهندسی هسته ای و فن آوری های فضایی بسیار مهم و قابل توجه است. شیشه ها شفاف هستند و شیشه های جاذب امواج توانایی جذب تشعشعات گامایی یا نوترونی را دارا هستند که قابلیت بزرگی را برای کسانی که با تشعشعات با انرژی بالا کار می کنند فراهم می کند تا بتوانند بر کار خود تسلط داشته باشند.

سیلیس یکی از مواد ارزان قیمت است که در طبیعت به وفور وجود دارد و در ساختار شیشه جهت شیشه سازی استفاده می شود. سرب از جمله عناصر سمی و زیان آور محیط زیستی محسوب می شود که به میزان زیادی در ساختار شیشه های جاذب امواج مورد استفاده قرار می گیرد و با توجه به وزن بالای اتمی عناصری همچون باریم و بیسموت، استفاده از این عناصر با وزن اتمی بالا نسبت به سایر عناصر به عنوان جایگزین سرب نقش مهمی در شیشه های جاذب امواج بازی می کنند و استفاده از این عناصر رو به افزایش است [۱۴].

شیشه های اپتیکی جهت عبور نور مرئی در بازه طول موج های ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر بهینه شده اند. معمولا این عبور با توجه به نزدیکی بازه طول موج های مرئی به بازه امواج ماوراءبنفش و مادون قرمز باعث می شود که طول موج های مربوط به این بازه ها نیز از شیشه عبور کند. به عنوان یک نتیجه عمومی شیشه های تولید شده با شاخص پراکندگی پایین موجب عبور طول موج های کوتاه در بازه ماوراءبنفش شود که در

صورت تولید شیشه با شاخص پراکندگی بالاتر باعث می شود لبه جذب در امواج ماوراءبنفش به بازه طول موج های مرئی نزدیکتر شود یا به عبارتی طول موج های بازه ماوراءبنفش کمتر عبور کنند. البته به طور عام ممکن است که این قضیه اتفاق نیفتد ولی با توجه به فن آوری های جدید ذوب امکان تهیه شیشه های با شاخص پراکندگی بالا فراهم شده است [۱۵].

یکی دیگر از کاربردهای شیشه های جاذب امواج استفاده از این شیشه ها با مواد اصلاح کننده جهت استفاده به عنوان مواد تشخیص دهنده تشعشع (دوزیمتر) است. به طور عمده مواد تجاری ترمولومینسنت و تشخیص دهنده های لومینیسنت نوری دارای ساختار کریستالی هستند که این مواد می توانند برای سلامتی انسان مضر باشند. شیشه ها را می توان با توجه به سادگی روش تولید و فرم دادن به شکل خاص و ضریب جذب معادل با بافت های انسان به عنوان تشخیص دهنده تشعشع (دوزیمتر) استفاده نمود. بایستی توجه داشت که در دوره استفاده از فن آوری های سطح بالا تشعشعات پراکنده به صورت وسیعی در زمینه فعالیت های انسانی مورد استفاده قرار می گیرند. در نتیجه اندازه گیری و پایش میزان تشعشعی که انسان با آن سروکار دارد ضروری به نظر می رسد.

بعضی از انواع شیشه ها با مقادیر کمی از یون های فلزات واسطه به عنوان فعال ساز در ساختار آنها می توانند به عنوان تعیین کننده میزان تشعشعات پراکنده (دوزیمتر) مورد استفاده قرار گیرند. پیشرفت فن آوری های هسته های و تشعشعی موجب می شود روش های تشخیص میزان تشعشع به صورت دقیق به کار گرفته شود. روش های اندازه گیری میزان تشعشع اطلاعاتی درباره میزان جذب در بازه های مختلف در دسترس قرار می دهند تا بتوان میزان در معرض بودن را محاسبه نمود که این میزان برای بیماران مخصوصا بیماران سرطانی نیز مهم است. مطالعات ترمولومینیسنت^۱ شیشه های بوراتی به خاطر نزدیک بودن ضریب جذب معادل با بافت های انسان، قابلیت خوب قبول مواد قلیایی و قلیایی خاکی، یون های نادر، هزینه تولید پایین، پایداری حرارتی و اینکه تا حد زیادی به ترکیب شیمیایی وابسته هستند بسیار جذاب است. شیشه های بوراتی با وارد کردن مواد اصلاح کننده می توانند پاسخ مناسبی به اندازه گیری میزان مواد ترمولومینسنت نشان دهند. CeO_2 یکی از موادی است که جهت اصلاح و بهبود خواص لومینیسنت^۲ در شیشه های بوراتی استفاده می شود [۱۶].

بتن ها نیز از جمله موادی هستند که عموماً به منظور محافظت در برابر امواج در سازه ها مورد استفاده قرار می گیرند ولی وجود آب و غیرهمگن شدن مواد به کار رفته باعث می شود که از شیشه ها به منظور

^۱ Thermoluminescent

^۲ Luminescent

محافظت در برابر امواج استفاده شود. یکی از انواع شیشه های محافظ امواج شیشه های بوراتی هستند که دارای شفافیت بالا، نقطه ذوب پایین، پایداری گرمایی و خواص اپتیکی و مکانیکی خوب هستند [۱۷]. شیشه ها به راحتی ریخته گری و تولید شده، مقاومت شیمیایی خوبی دارند و نصب آنها در سازه ها نیز براحتی صورت می پذیرد [۱۸].

انواع متنوعی از شیشه های محافظ امواج الکترومغناطیس در سال های اخیر توسط افراد مختلفی از جمله جاگر (۱۹۷۵) [۱۹] و سینگ و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۸) [۲۰ ۲۱] مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند تا خواص محافظتی، نوری و روش ساخت این نوع شیشه های شفاف محافظ بهبود داده شود. بیشتر این گونه شیشه های پیشرفته دارای ترکیبات پایه از جمله سیلیس و اکسید سرب به همراه افزودنی هایی از جمله اکسید پتاسیم و اکسید سدیم جهت تسریع در ذوب هستند.

سایر افزودنی ها جهت بهبود خواص به این ترکیبات پایه شیشه اضافه می شوند. به عنوان مثال می توان از اکسید فسفر که معمولاً موجب بهبود خواص شک حرارتی و خواص مقاومتی شیمیایی می شود نام برد که خواص محافظتی در برابر نوترون ها نیز در شیشه ایجاد می کند یا مثلاً اکسید سرب جهت پایداری رنگ شیشه های محافظ امواج که ممکن است در اثر تابش امواج دچار تغییر رنگ شوند به ترکیب شیشه اضافه می شود [۲۲].

شیشه های محافظ امواج ممکن است در اثر تشعشع دچار تغییر رنگ شده یا به اصطلاح قهوه ای رنگ شوند (جنیماک و همکاران، ۲۰۰۴) [۲۳] که می توان این عیب را با افزودن اکسید سرب برطرف نمود. در واقع از این اکسید جهت تثبیت رنگ شیشه های محافظ امواج استفاده می شود [۲۲].

۳-۲ - مکانیزم های جذب

در تشکیل یک مولکول اتم ها با به اشتراک گذاشتن الکترون ها در آخرین لایه اتمی منجر به تشکیل مولکول ها می شوند. در واقع اشتراک اربیتال باعث تشکیل مواد می شود. برهمکنش بین امواج (فوتون ها) همانند اشعه ایکس با مواد شامل برخورد انرژی این امواج با اربیتال ها یا هسته اتم هاست. به هر حال این تشعشعات پرنرژی می تواند پیوند های اتمی را از بین ببرد و آنچه که در این برخورد اهمیت بیشتری دارد آرایش اتمی است.

به طور کلی امواج (فوتون ها) همانند اشعه ایکس و یا سایر امواج از نوع الکترومغناطیس به پنج روش می توانند با مواد برهمکنش داشته باشند :

۱-۳-۲ - پراکندگی منسجم^۱

این نوع برهمکنش به طریقی اتفاق می افتد که در واقع در اثر برخورد امواج با مواد تنها جهت آنها تغییر می کند و هیچ گونه تغییری در طول موج اتفاق نمی افتد که در بعضی موارد از آن به پراکندگی بدون تغییر نیز نامبرده می شود. این نوع تداخل به طور کلی به دو نوع تقسیم بندی می شود که عبارتند از پراکندگی تامسون و پراکندگی رایلی.

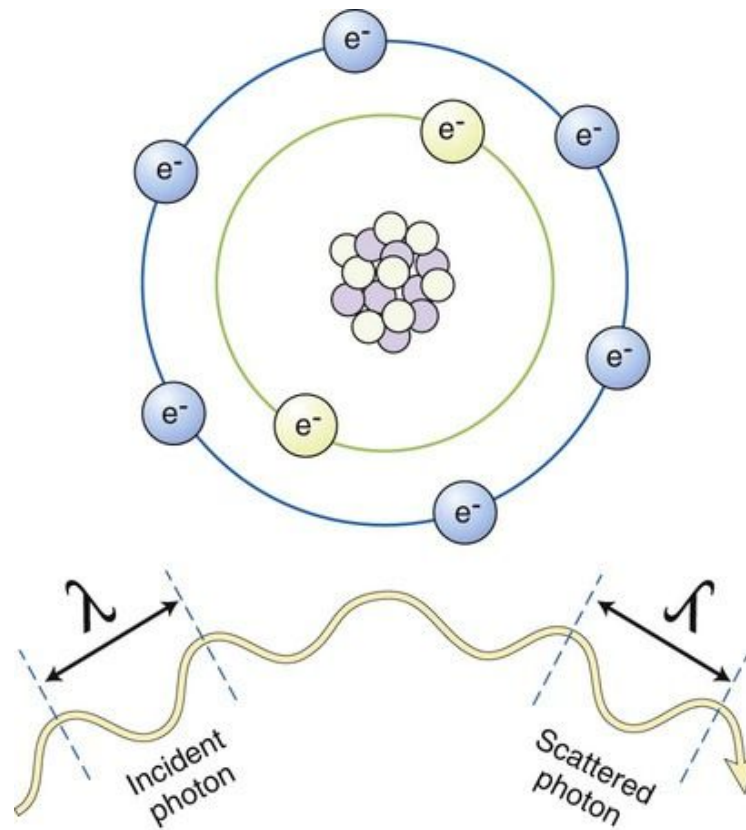
در پراکندگی از نوع تامسون برهمکنش با یک الکترون اتفاق می افتد در حالی که در پراکندگی از نوع رایلی مجموعه اتم ها در برخورد شرکت می کنند.

در واقع آنچه که اتفاق می افتد به این صورت است که پرتوهای با انرژی پایین با الکترون های اتم ها برخورد می کند و سپس موجب لرزش در اتم ها شده و بعد از آن با تغییر مسیر به مسیر خود ادامه می دهد و اتم ها بعد از این برخورد به حالت اولیه خود برمی گردند. این نوع برخورد تنها برهمکنشی است که در آن یونیزاسیون اتفاق نمی افتد.

میزان این نوع برهمکنش در مقایسه با سایر تداخلات میزان کمی است و در واقع کمتر از ۰.۵٪ درصد تداخلات را شامل می شود. به طور مثال در رادیولوژی تنها باعث مقداری ماتی در تصویر می شود که بطور کل با توجه به میزان کم آن تاثیری در نتایج ایجاد نمی کند.

شکل (۲-۲) به طور شماتیک طرز عملکرد این نوع برخورد را نشان می دهد.

^۱ Coherent Scattering



شکل (۲-۲) پراکندگی منسجم

<https://radiologykey.com/basic-radiation-protection-and-radiobiology-2>

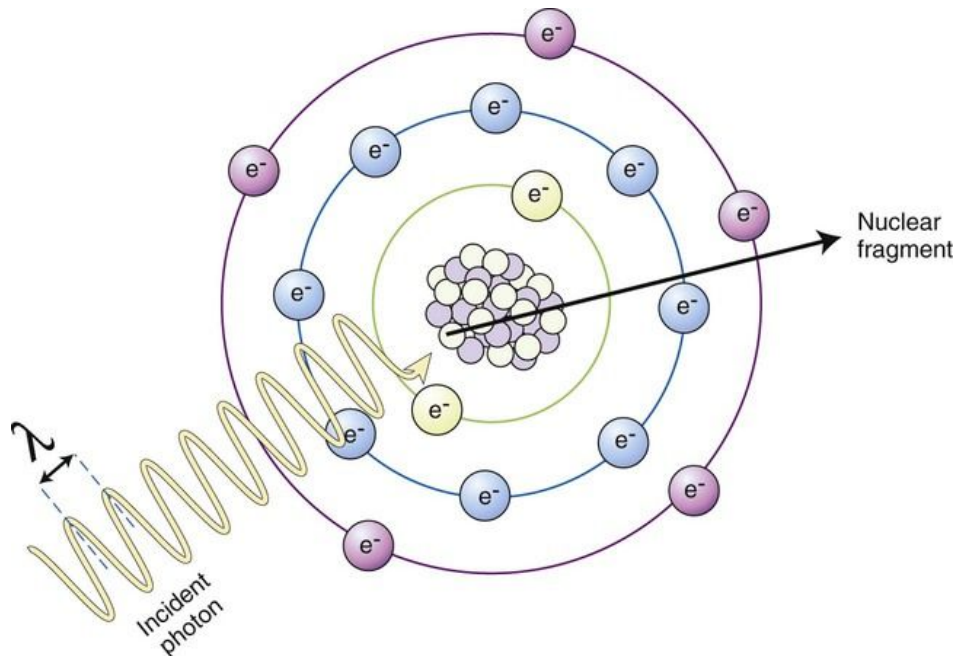
۲-۳-۲ - اثر فوتوالکتریک^۱

در یک اتم الکترون ها در لایه های مختلف K، L، M به دور هسته گردش می کنند. هر یک از این لایه ها انرژی مخصوص به خود را دارند که این انرژی توسط جاذبه هسته اتم تامین می شود به طوریکه مثلا لایه K که نزدیکترین لایه به هسته است بیشترین انرژی را داراست و به همین ترتیب که از هسته دور می شویم از میزان این انرژی کاسته می شود.

هنگامی که یک موج با یک اتم برخورد می کند اگر انرژی لازم جهت جدا کردن الکترون از هر یک از لایه های اتمی را داشته باشد موجب جدایی اتم شده و یک جای خالی اتمی در آن لایه ایجاد می کند. به این الکترون فوتوالکتریک گفته می شود و این جای خالی اتمی توسط الکترون های سایر لایه ها (نزدیکترین لایه

^۱ Photoelectric Effect

و به ندرت از الکترون های سایر اتم ها (پر می شود. با توجه به اینکه از چه لایه ای این الکترون تامین شود از خود انرژی خاصی ساطع می کند که به آن تابش مشخصه آن لایه گفته می شود. این تشعشع با طول موج و انرژی خاص در دستگاههای پراش اشعه ایکس جهت ارزیابی کریستالی استفاده می شود. در ضمن باید توجه داشت که جهت احتمال بوجود آمدن پدیده فوتوالکتریک انرژی موج برخورد کننده بایستی به میزان کافی و در حد انرژی الکترون های برخورد کننده باشد. همچنین اگر این میزان انرژی نزدیک به انرژی الکترون باشد احتمال پدیده فوتوالکتریک بیشتر است. در ضمن الکترون هایی که انرژی بیشتری دارند تمایل بیشتری در وقوع این پدیده دارند. شکل (۲-۳) به صورت شماتیک بیانگر این پدیده می باشد.



شکل (۲-۳) پدیده فوتوالکتریک

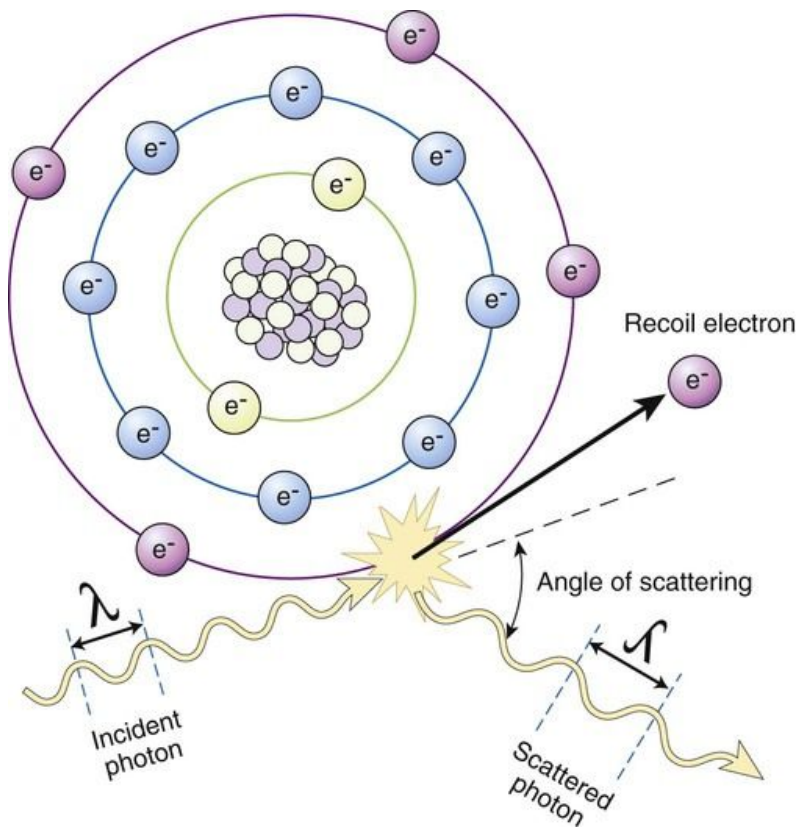
<https://radiologykey.com/basic-radiation-protection-and-radiobiology-2>

باید توجه داشت که احتمال به وجود آمدن پدیده فوتوالکتریک با معکوس توان سوم انرژی موج برخورد کننده و توان سوم عدد اتمی متناسب است.

به طور کلی احتمال پدیده فوتوالکتریک در اثر برخورد فوتون ها با انرژی پایین و عناصر با عدد اتمی بالا افزایش می یابد.

۲-۳-۳- اثر کامپتون^۱

تقریباً بیشترین برهمکنش در اثر برخورد امواج با اتم ها توسط پدیده کامپتون اتفاق می افتد. هنگامی که امواج (فوتون ها) با انرژی نسبتاً بالا با الکترون های آزاد خارجی ترین لایه برخورد می کنند الکترون از لایه خود خارج شده و موج برخورد کننده با میزان انرژی جدید در مسیر دیگری منحرف می شود که این اثر یا پدیده به اثر کامپتون معروف است. در واقع انرژی فوتون های برخورد کننده به دو قسمت تقسیم می شوند. بخشی از آن به الکترون خارج شده از لایه و بخش دیگری از آن با توجه به زاویه انحراف در فوتون باقی می ماند. شکل (۲-۴) طرز رخ دادن این پدیده را به صورت شماتیک نشان می دهد.



شکل (۲-۴) اثر کامپتون

<https://radiologykey.com/basic-radiation-protection-and-radiobiology-2>

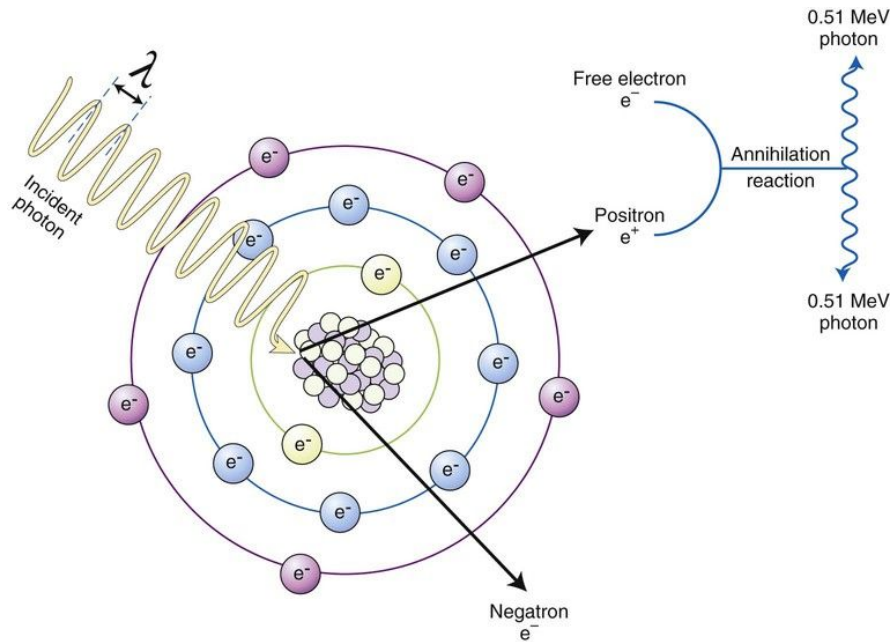
^۱ Compton Scattering

بر خلاف پدیده فوتوالکتریک که تقریباً بیشترین انرژی فوتون های برخورد کننده جهت کندن الکترون ها استفاده می شود در پدیده کامپتون با توجه به اینکه الکترون برخورد شونده آزاد می باشد هیچ گونه انرژی جهت جدا کردن نیاز نمی باشد. دو پارامتر میزان انرژی برخورد و زاویه انحراف فوتون ها بعد از برخورد در تعیین انرژی فوتون های برخورد کننده موثر است. همچنین باید توجه داشت که هر چه میزان زاویه انحراف بعد از برخورد بیشتر باشد میزان انرژی فوتون برخورد کننده کاهش بیشتری پیدا می کند و تبع آن میزان طول موج بیشتر می شود. در واقع پدیده کامپتون به مجموع الکترون ها در ماده جذب کننده و در واقع به چگالی اتم ها (تعداد الکترون ها در گرم) بستگی دارد و مستقل از عدد اتمی است و بیشترین تاثیر را از انرژی فوتون برخورد کننده و چگالی ماده جذب کننده می گیرد.

۲-۳-۴ - پدیده تولید زوج الکترون-پوزیترون^۱

این پدیده در اثر برخورد فوتون های با انرژی بالا با هسته اتم ها اتفاق می افتد. بعد از برخورد فوتون از بین می رود و انرژی فوتون به دو قسمت تقسیم می شود. یک قسمت شامل الکترون معمولی و دیگری به صورت پوزیترون در می آید. پوزیترون ها از لحاظ جرم برابر با جرم الکترون و از لحاظ بار الکتریکی هم اندازه با الکترون ولی با مقدار مثبت هستند. از آنجایی که جرم الکترون ها برابر با 0.51 MeV می باشد و این پدیده منجر به تولید دو قسمت جرم الکترونی می شود در نتیجه این پدیده با انرژی فوتونی کمتر از 1.02 MeV نمی تواند به وقوع بپیوندد. شکل (۲-۵) طرز وقوع این پدیده را به صورت شماتیک نشان می دهد.

^۱ Pair Production



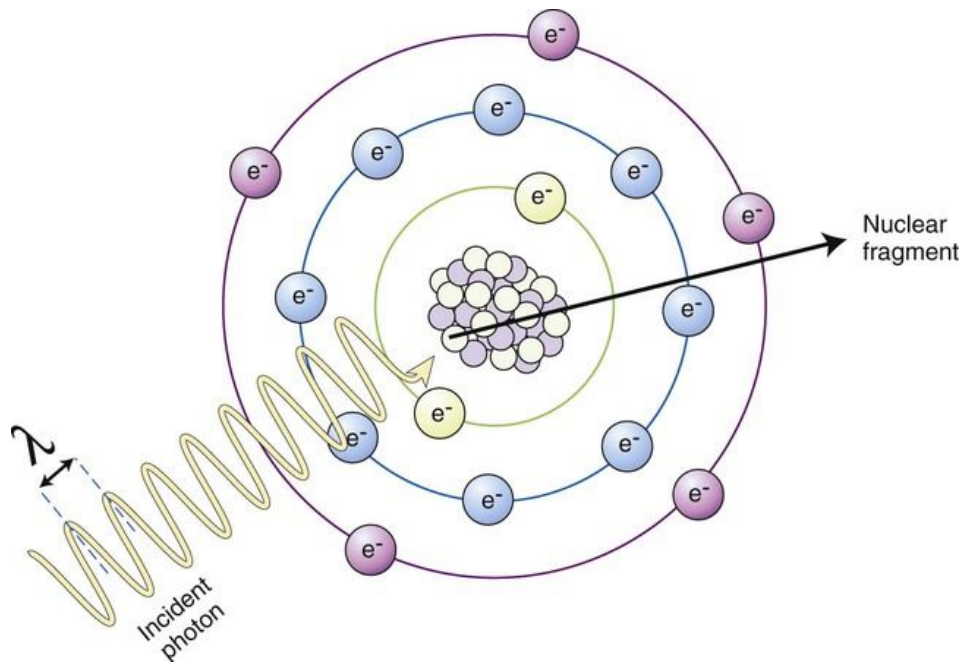
شکل (۲-۵) پدیده تولید زوج الکترون-پوزیترون

<https://radiologykey.com/basic-radiation-protection-and-radiobiology-2>

۲-۳-۵ - پدیده نورفروپاشی^{۱)}

در پدیده نورفروپاشی قسمتی از هسته توسط فوتون های پرنرژی کنده می شود. قسمت کنده شده می تواند به انواع مختلفی از جمله پروتون، نوترون و یا ذره آلفا باشد. میزان انرژی موج برخورد کننده می بایستی در حدود ۷ MeV تا ۱۵ MeV باشد تا این پدیده به وقوع بپیوندد [۲۴]. شکل (۲-۶) به صورت شماتیک نحوه وقوع این پدیده را نشان می دهد.

^{۱)} Photodisintegration



شکل (۶-۲) پدیده نورفروپاشی

<https://radiologykey.com/basic-radiation-protection-and-radiobiology-2>

۴-۲ - پارامترهای کلیدی در بررسی خواص شیشه

در هنگام ساخت و بررسی خواص شیشه بعد از ساخت پارامترهای متعددی مهم و تاثیر گذار است که در ادامه به آن پرداخته می شود.

چگالی (ρ) یکی از پارامترهای مهم در زمینه بررسی خواص شیشه است که در میزان تخلخل و مقدار ضریب جذب جرمی (μ_m) تاثیر گذار است. چگالی با استفاده از روش غوطه وری و اصل ارشمیدس قابل محاسبه است [۲۵]. یکی از روابط مهم در اندازه گیری ضریب جذب خطی قانون بیر-لامبرت^۱ است که به صورت رابطه (۱-۲) بیان می گردد [۲۶].

$$I = I_0 * e^{-\mu t} \quad (۱-۲)$$

در رابطه (۱-۲) I میزان شدت اشعه خروجی از شیشه، I₀ میزان شدت اشعه ورودی به شیشه، t ضخامت و (cm⁻¹) μ ضریب جذب خطی شیشه می باشد.

^۱ Beer-Lambert

از تقسیم ضریب جذب خطی بر مقدار چگالی ضریب جذب جرمی (μ_m (cm^2g^{-1})) به دست می آید که به صورت رابطه (۲-۲) نوشته می شود [۲۶].

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-2)$$

هرچقدر میزان ضریب جذب جرمی بیشتر باشد فوتون های بیشتری توسط ماده جذب می شود [۱۲]. یکی دیگر از پارامترهای مهم در زمینه محاسبات جذب در شیشه ها پارامتر HVL^۱ است. این پارامتر در واقع ضخامتی از ماده است که نیمی از مقدار تشعشع ورودی را جذب یا به عبارت دیگر میزان تشعشع خروجی به مقدار نیمی از تشعشع ورودی کاهش پیدا می کند. این پارامتر به صورت رابطه (۳-۲) بیان می گردد [۱۲].

$$\text{HVL} = \frac{\text{Ln}2}{\mu} \quad (3-2)$$

از پارامترهای مهم دیگری که در زمینه محاسبات جذب می توان به آن اشاره نمود پارامتر MFP^۲ می باشد. این پارامتر در واقع میانگین فاصله ای است که توسط یک ذره دارای حرکت همانند اتم، مولکول و یا فوتون در بین دو برخورد متوالی طی می کند و به صورت رابطه (۴-۲) نوشته می شود [۱۲].

$$\text{HVL} = \frac{1}{\mu} \quad (4-2)$$

هرچقدر میزان HVL و MFP برای یک ماده کمتر باشد خواص محافظتی بهتری در برابر تشعشعات و یا به بیان دیگر در میزان جذب از خود نشان می دهد ۳۹.

از پارامترهای مهم دیگر در بررسی خواص شیشه ها محاسبه مقدار انرژی نوار ممنوعه^۳ (E_g) است که بعد از محاسبه این پارامتر می توان پارامترهای دیگر از جمله ضریب شکست^۴ (n) را محاسبه نمود. جهت محاسبه انرژی نوار ممنوعه از آنالیز UV-VIS استفاده می شود بطوریکه بعد از رسم طیف جذب با انجام این

^۱ Half Value Layer

^۲ Mean Free Path

^۳ Band Gap Energy

^۴ Refractive Index

آنالیز و به دست آمدن میزان ضریب جذب، با رسم نمودارهایی که به نمودارهای تاک^۱ معروف است می توان انرژی باند ممنوعه اپتیکی را محاسبه نمود. این نمودار توسط دیویس و موت [۱۸] جهت محاسبه انرژی نوار ممنوعه اپتیکی با استفاده از رابطه (۲-۵) بکار گرفته شد. به منظور رسم نمودار تاک یک شیشه می توان با رسم نمودار $(\alpha hv)^{0.5}$ در برابر hv و رسم خط مماس در منطقه خطی نمودار، میزان انرژی باند ممنوعه اپتیکی را از تقاطع این خط مماس با محور افقی محاسبه نمود [۲۷].

$$(\alpha hv)^n = B(hv - E_{op}) \quad (۲-۵)$$

در این رابطه α ضریب جذب، h ثابت پلانک، ν فرکانس مورد استفاده، B ضریب ثابت و E_{op} انرژی باند ممنوعه اپتیکی است که جهت محاسبه انرژی باند ممنوعه مستقیم مقدار n برابر ۲ و جهت محاسبه انرژی باند ممنوعه غیر مستقیم این مقدار برابر ۰/۵ است.

همچنین بعد از محاسبه انرژی نوار ممنوعه می توان ضریب شکست (n) را با توجه به رابطه (۲-۶) محاسبه نمود.

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} = 1 - \sqrt{\frac{E_g}{20}} \quad (۲-۶)$$

در این رابطه n مقدار ضریب شکست و E_g مقدار انرژی باند ممنوعه است [۲۷].

از پارامترهای مهم دیگر در بررسی خواص اپتیک شیشه ها که با توجه به اندازه گیری مقدار n می توان محاسبه نمود ضریب دی الکتریک و مقدار فلزی شدن است که این مقادیر با توجه به روابط (۲-۷) و (۲-۸) قابل به اندازه گیری است [۱۸].

$$\epsilon = n^2 \quad (۲-۷)$$

$$M = 1 - \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \quad (۲-۸)$$

^۳ Tauc Plot

پارامتر های مهم دیگر در بحث و بررسی خواص شیشه های جاذب تشکیل پیوندهای اکسیژن پل ساز (BO^۱) و اکسیژن غیر پل ساز (NBO^۲) است.

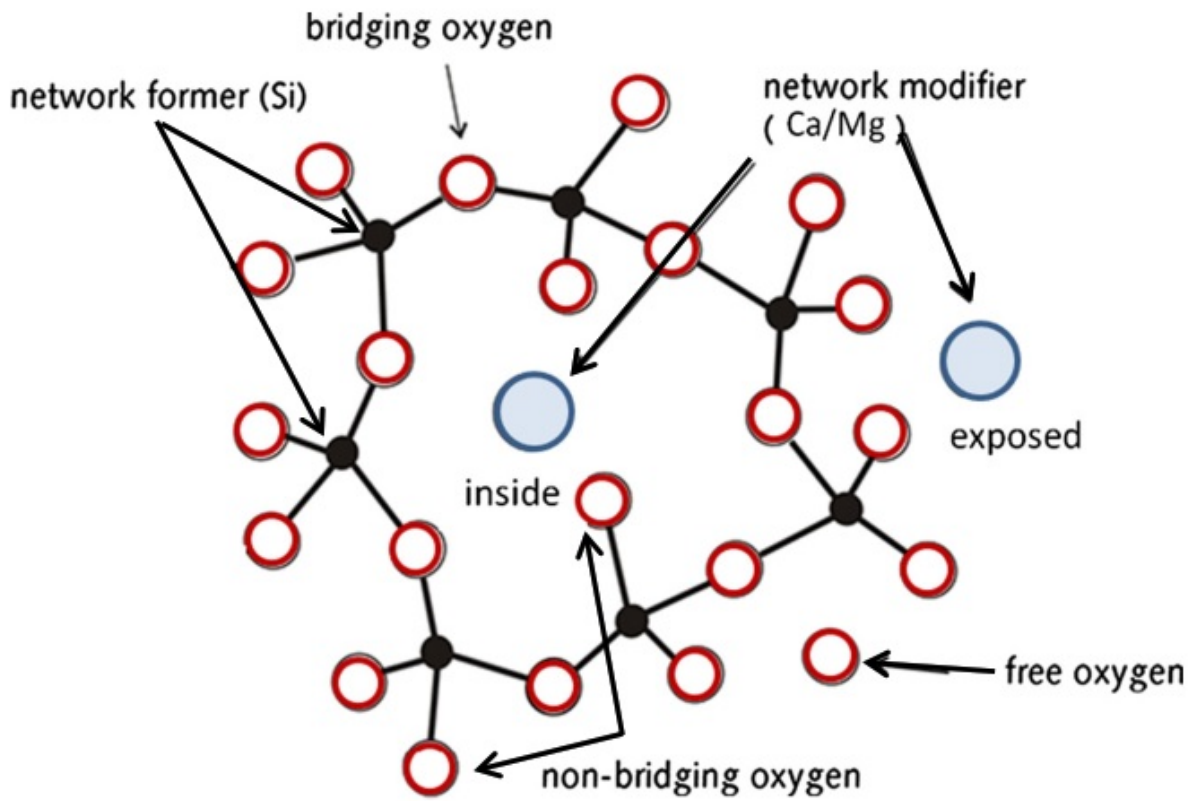
در ساختار استاندارد شیشه های اکسیدی اغلب کاتیون هایی همانند B³⁺، Al³⁺، Si⁴⁺ و P⁵⁺ به عنوان شبکه ساز^۳ عمل می کنند که پیوندهای کوتاه، قوی و تا حدی کووالانسی با اکسیژن برقرار می کنند و به عدد همسایگی ۳ یا ۴ در ساختار دست پیدا می کنند و اصلاح کننده هایی از قبیل Na¹⁺، Ca²⁺ و Y³⁺ که پیوندهای بلند، ضعیف و یونی با اکسیژن برقرار می کنند و معمولا به عدد همسایگی بزرگتری دست پیدا می کنند.

اتصال بین اتم های اکسیژن در بین دو شبکه ساز را می توان به عنوان پلی در بین دو شبکه ساز دانست که از آن به اکسیژن پل ساز نام برده می شود و هنگامی که اتم های اکسیژن با یک شبکه ساز و یا با یک شبکه ساز و یک اصلاح کننده متصل می شوند از آن به اکسیژن غیر پل ساز نام برده می شود [۲۸]. شکل (۲-۷) به صورت شماتیک این نوع اتصالات را نشان می دهد.

^۱ Bridging Oxygen

^۲ Non-bridging Oxygen

^۳ Network Former



شکل (۲-۷) شماتیک نحوه اتصالات اکسیژن های پا ساز و اکسیژن های غیر پل ساز در شبکه شیشه [۲۹]

<http://www.alexstrekeisen.it/english/vulc/index.php>

یکی دیگر از پارامترهای کلیدی در بررسی خواص شیشه مقدار دمای انتقال و محدوده دمای شیشه ای شدن است. سلطان و همکارانش [۲۹] در سال ۲۰۱۳ دینامیک انتقال شیشه ای را بوسیله اندازه گیری غیر همدمما توسط آنالیز DSC^۱ مورد مطالعه قرار دادن با استفاده از آزمون DSC می توان محدوده دمای شیشه ای شدن و دمای انتقال شیشه^۲ (T_g) را مشخص نمود. آنها بر پایه دینامیک پروسه تغییر حالت که در محدوده دمای انتقال شیشه اتفاق می افتد، نتایج تجربی پدیده دینامیک انتقال شیشه ای را با به کار گیری نرخ های مختلف حرارتی از ۵ تا ۴۰ درجه کلوین بر دقیقه مورد بحث و بررسی قرار دادند. انرژی

^۱ Differential Scanning Calorimetry

^۲ Glass Transition Temperature

اکتیواسیون^۱ تغییر حالت به شیشه با توجه به وابستگی دمای انتقال شیشه به میزان نرخ گرمایش محاسبه گردید و با استفاده از این اندازه گیری اندیس شکنندگی^۲ (m) را محاسبه نمودند. نتایج تجربی نشان دادند که میزان انرژی اکتیواسیون پروسه انتقال شیشه ای و اندیس شکنندگی با میزان نرخ گرمایش تغییر می کند.

با مطالعه ساختار فرآیند محدوده انتقال شیشه ای می توان به ملاحظات تکنولوژیکی دست یافت که از آن می توان در اصلاح ساختار مواد آمورف استفاده نمود. به صورت عام انتقال شیشه ای سرمایش سریع و از دست دادن آزادی اتم ها در حالت مایع بدون بلورینگی تعریف می شود و دمای انتقال شیشه دمایی است که فاز مذاب به حالت مذاب فوق سرمایش یافته تبدیل می شود. با استفاده از آنالیز DSC می توان سینتیک انتقال شیشه را مورد مطالعه قرار داد که این امر ذات پروسه تبدیل به شیشه را برای ما مشخص می کند.

یکی از عمومی ترین پدیده هایی که مذاب شیشه هنگامی که در زیر دمای انتقال شیشه ای قرار می گیرد و با آن روبرو می شود، تغییر چشمگیر ویسکوزیته با زمان است. در نتیجه با مطالعه میزان تغییر ویسکوزیته با زمان در دماهای کمتر از دمای انتقال شیشه ای و وابستگی آن به دما می توان به مکانیزم تغییر به حالت شیشه دست یافت. مفهوم شکنندگی^۳ در تشکیل شیشه بوسیله انگل [۳۰] مطرح گردید تا تغییرات دمایی پروسه تغییر به حالت شیشه ای را طبقه بندی نماید.

انرژی اکتیواسیون بیانگر میزان انرژی است که یک ساختار نیاز دارد تا از یک حالت شبه پایدار به حالت های پایدار در منطقه شیشه ای برود. بنابراین یک شیشه با میزان انرژی اکتیواسیون کمتر در شرایط پایدارتر تشکیل می شود و به این میزان انرژی نیاز دارد تا به یک حالت پایدار برسد.

از طرفی دمای شیشه ای شدن که تعیین کننده میزان انرژی اکتیواسیون می باشد به ترکیب شیمیایی وابسته است. در واقع E_a میزان انرژی است که می بایست در حالت های فیزیکی و شیمیایی تامین شود تا به نیروهای ذاتی ترکیبات غلبه کند و موجب تغییر حالت آنها در منطقه شیشه ای شود. بنابراین E_a رابطه نزدیک با میزان عدد همسایگی و نوع پیوند دارد و در واقع یک نیروی محرکه جهت نفوذ یا دیفوزیون می

^۳ Activation Energy

^۱ Fragility Index

^۲ Fragility

باشد. از طرفی ترمودینامیک واکنش شیشه ای شدن یک واکنش غیر تعادلی بوده و تغییر به سمت حالت های مطلوب با انرژی کمتر به زمان وابسته است که می تواند خواص شیشه را تحت تاثیر قرار دهد [۳۱].

طبقه بندی تشکیل شیشه بر اساس وابستگی دمایی ویسکوزیته شیشه در نظر گرفته شد. مایعاتی که ویسکوزیته آنها وابستگی دمایی آرنیوسی^۱ داشته باشند به عنوان مایعات شیشه شونده قوی^۲ و آنهایی که وابستگی دمایی غیر آرنیوسی^۳ داشته باشند به عنوان مایعات شیشه شونده شکننده^۴ تعریف می شوند. از این رو به منظور مشخص کردن قوی یا شکننده بودن مذاب شیشه شونده از اندیس شکنندگی (m) استفاده می شود که در واقع میزان آرنیوسی یا غیر آرنیوسی بودن آن را نشان می دهد. مقدار (m) برای مایعات شیشه شونده قوی در حدود ۱۶ و برای مایعات شیشه شونده شکننده حدودا بزرگتر از ۲۰۰ است [۳۲ ۳۳].

به طور معمول ویسکوزیته در محدوده انتقال شیشه ای به میزان زیادی تغییر می کند. همچنین در منحنی های مربوط به DSC در محدوده گرماگیر با افزایش میزان نرخ گرمایش، منحنی ها به سمت راست کشیده شده و در نتیجه دمای انتقال شیشه ای افزایش پیدا می کند. سلطان و همکارانش جهت بررسی سینتیک محدوده شیشه ای و محاسبه انرژی اکتیواسیون از رابطه (۹-۲) که به رابطه کسینجر معروف است استفاده نمودند. آنها از وابستگی نرخ گرمایش یا سرمایش به دمای انتقال شیشه ای جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون استفاده نمودند [۲۹ ۳۳].

$$[۳۴] \quad \frac{d\ln\beta}{d(1/T_g)} = -\frac{E}{R} \quad (۹-۲)$$

در رابطه (۹-۲) β میزان نرخ حرارتی، T_g دمای انتقال به حالت شیشه، E انرژی اکتیواسیون و R ثابت جهانی گازهاست. در نتیجه می توان با رسم $d\ln\beta$ بر حسب $1/T_g$ می توان E را که در واقع شیب این نمودار است محاسبه نمود.

^۱ Arrhenius

^۲ Strong

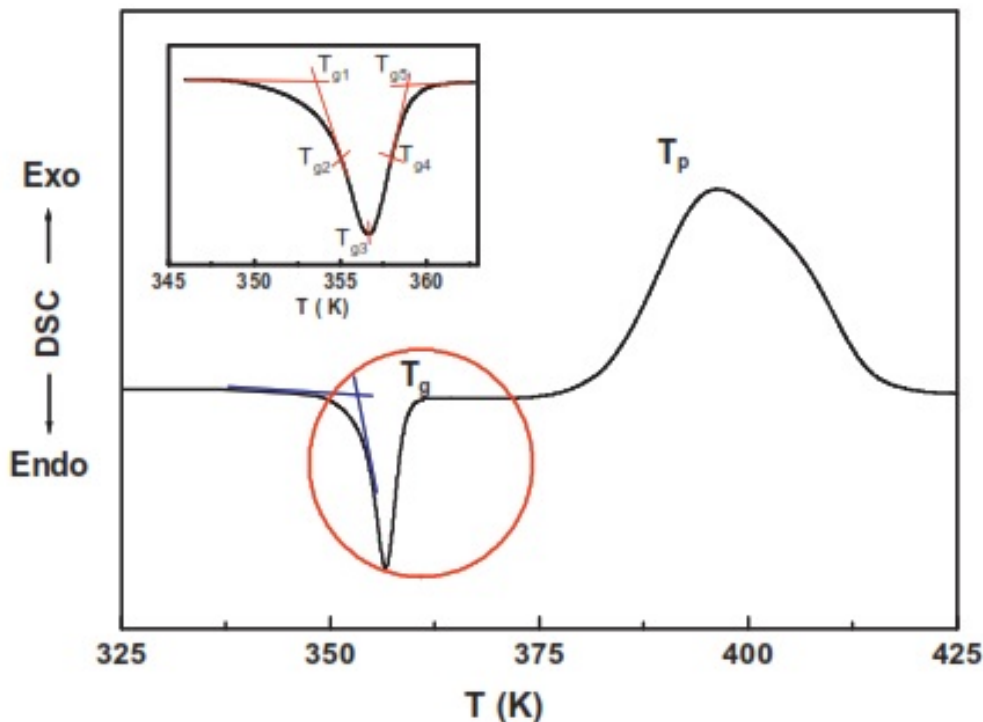
^۳ Non-Arrhenius

^۴ Fragile

همچنین بعد از محاسبه انرژی اکتیواسیون با توجه به رابطه (۲-۹) و با استفاده از رابطه (۲-۱۰) می توان میزان اندیس شکنندگی (m) را محاسبه نمود.

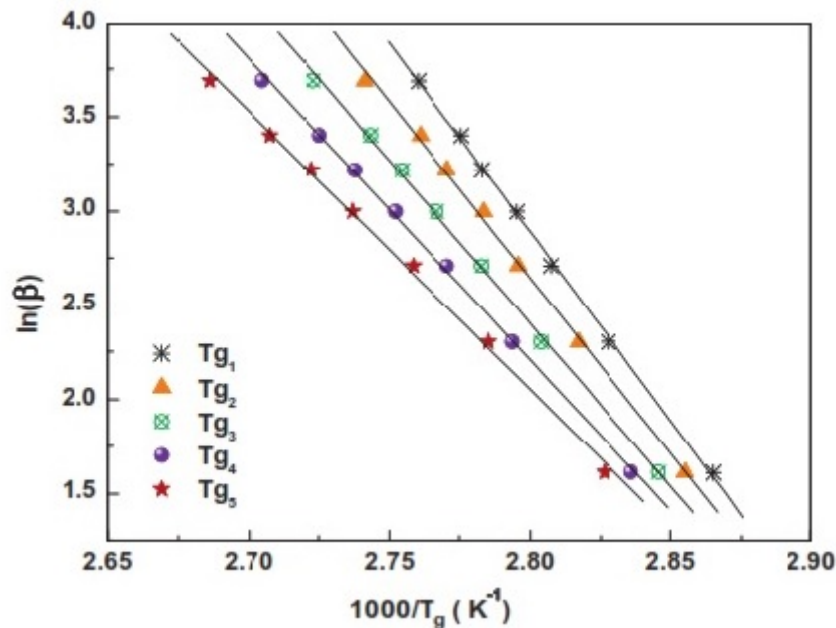
$$[۳۷-۳۵] \quad m = \frac{E}{(\ln 10)RT_g} \quad (۲-۱۰)$$

در رابطه (۲-۱۰) E انرژی اکتیواسیون، R ثابت جهانی گازها و T_g دمای انتقال به حالت شیشه ای است. معمولاً در منحنی های DSC شروع تغییرات گرماگیر را به عنوان دمای انتقال به حالت شیشه در نظر می گیرند. سلطان و همکارانش جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون مقادیر مختلفی از دمای انتقال شیشه ای را با توجه به نمودار DSC در نظر گرفتند. آنها در نمودار DSC شروع واکنش گرماگیر را به عنوان T_{g1} ، نیمه ماکزیمم اول را به عنوان T_{g2} ، نقطه تقعر در واکنش گرماگیر را به عنوان T_{g3} ، نیمه ماکزیمم دوم را به عنوان T_{g4} و نقطه پایانی در نمودار را به عنوان T_{g5} در نظر گرفتند. در شکل (۲-۸) نحوه اندازه گیری این اعداد نشان داده شده است.



شکل (۲-۸) نحوه محاسبه مقادیر T_g در واکنش گرماگیر [۲۹]

سپس آنها با توجه به نرخ های مختلف گرمایش مقادیر مختلف جهت دماهای انتقال را محاسبه کردند و با توجه به رابطه (۹-۲) نمودار $\ln\beta$ را بر حسب $1000/T_g$ رسم نمودند که شیب نمودار بیانگر مقدار انرژی اکتیواسیون در هر دمای انتقال می باشد. شکل (۹-۲) بصورت شماتیک نحوه رسم را نشان می دهد.



شکل (۹-۲) نمودار $\ln\beta$ بر حسب $Tg/1000$ جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون [۲۹]

سپس با استفاده از رابطه (۱۰-۲) مقدار اندیس شکنندگی (m) را برای هر یک از پنج T_g محاسبه نمودند که میانگین پنج m محاسبه شده مقدار m جهت سیستم شیشه مورد نظر را مشخص می کند.

fragility میزان انحراف وابستگی دمایی ویسکوزیته از رفتار آرنیوسی می باشد. این تعریف اولین بار توسط آستین انگل بیان گردید. البته در فیزیک شیشه **fragility** مشخص می کند که با چه سرعتی دینامیک یک ماده هنگامی که به سمت محدوده تغییرات شیشه ای حرکت می کند می شود. در واقع **m index** یا **fragility** بیشتر به این معناست که وقتی ماده سرد می شود با میزان سرعت بیشتری ویسکوزیته از خود نشان میدهد. باید توجه نمود که موادی که دارای m بالاتر می باشند رنج دمای انتقال باریکتری در ترموگراف DSC دارند و از آنها به عنوان **Fragile** نامبرده می شود و موادی که دارای m پایین تر می باشند رنج دمایی پهن تری دارند و از آنها به عنوان **Strong** نامبرده میشود که با توجه به مقادیر محاسبه شده برای m ، نمونه های تهیه شده در این مطالعه در ردیف مواد با رنج دمایی پهن و **Strong** می باشند.

۲-۵ - بررسی کارهای دیگران

در جدول (۱-۲) به صورت خلاصه تعدادی از سیستم های شیشه بیان شده و تاثیرات عوامل مختلف بر آنها بیان گردیده است.

جدول (۱-۲) خلاصه سیستم های شیشه ذکر شده و تاثیرات عوامل مختلف

شماره مرجع	نتیجه	سیستم مورد استفاده	شخص	سال انجام تحقیق
[۳۸]	افزایش میزان دانسیته و جذب و کاهش ویسکوزیته و دمای انتقال به حالت شیشه در اثر افزایش مقدار اکسید سرب	سیستم $\text{SiO}_2\text{-PbO}$	بن کاکم و همکاران	۲۰۱۷
[۳۹]	کاهش اکسیژن پل ساز (BO) در اثر افزایش مقدار اکسید سرب	سیستم $\text{SiO}_2\text{-PbO}$	اسمت و لومن	۱۹۸۲
[۴۰]	اکسید سرب در غلظت های کم نقش دگرگون ساز و در غلظت های بالا نقش شیشه ساز دارد.	سیستم $\text{SiO}_2\text{-PbO}$	وانگ و همکارانش	۱۹۹۶
[۴۱]	بیشترین تاثیر در مقدار چگالی و به تبع آن میزان جذب در اثر افزایش میزان اکسید بیسموت اتفاق افتاد.	سیستم های PbO-SiO_2 و $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ و BaO-SiO_2	کردسیری و همکارانش	۲۰۱۱
[۲۰]	کاهش میزان HVL در اثر افزایش میزان سرب که نشان از جذب بالاتر در این نمونه ها دارد. همچنین نمونه های شیشه ای جذب بیشتری نسبت به نمونه	سیستم $\text{SiO}_2\text{-PbO}$	سینگ و همکارانش	۲۰۰۸

های بتنی از خود نشان دادند.

شماره مرجع	نتیجه	سیستم مورد استفاده	شخص	سال انجام تحقیق
[۴۲]	افزایش میزان جذب با افزایش مقدار WO_3	سیستم $P_2O_5-PbO-NaF-WO_3$	شبان سالم و همکارانش	۲۰۱۲
[۲۲]	کاهش میزان شفافیت در اثر افزودن BaO	سیستم $P_2O_5-PbO-BaO$	خاریتا و همکارانش	۲۰۱۲
[۴۳]	بیشترین میزان جذب به $70Bi_2O_3-30SiO_2$ و کمترین میزان جذب به $70BaO-30SiO_2$ تعلق گرفت.	سیستم ZnO ، Bi_2O_3 ، BaO و PbO	سینگ و همکارانش	۲۰۱۴
[۴۴]	افزایش مقدار ضریب جذب جرمی و به تبع آن مقدار جذب در اثر افزایش مقدار PbO و نمونه $Pb_40B_30(x=20)$ بالاترین میزان جذب در مقابل اشعه گاما را از خود نشان داد	سیستم $(20+x)PbO-10BaO-10Na_2O-10MgO-(50-x)B_2O_3$	آشوک کومار و همکارانش	۲۰۱۸

۲-۶- نقش ساختاری اکسید سرب درون سیستم سیلیکات سربی

بن کاکیم^۱ و همکاران [۳۸] در سال ۲۰۱۷ با انجام آزمایشی بر روی سیستم ساده $\text{SiO}_2\text{-PbO}$ تاثیر افزایش مقدار PbO در سیستم از ۵ درصد مولی تا ۷۰ درصد مولی را بر روی خواصی مانند دانسیته، ویسکوزیته و دمای انتقال به حالت شیشه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیقات به کمک مطالعات طیف سنجی جذب اشعه ایکس و رامان Raman انجام شد. آنها نمونه‌هایی با درصدهای مختلف SiO_2 و PbO تهیه کردند و دانسیته هر کدام از نمونه‌ها به کمک روش غوطه‌ورسازی ارشمیدس درون مایع تولوئن اندازه‌گیری گردید.

آنها مشاهده نمودند که با افزایش میزان سرب، دانسیته شیشه نیز مرتباً افزایش می‌یابد که این افزایش دانسیته به دلیل افزایش میزان سرب در ترکیبات بوده و موجب افزایش میزان جذب در این شیشه‌ها می‌شود. همچنین کاهش شدید ویسکوزیته حتی با افزودن پنج درصد مولی PbO نیز مشاهده می‌شود و این کاهش با افزایش مقدار PbO ادامه می‌یابد. به طوری که در یک دمای ثابت بین دو نمونه دارای حدوداً ۸۸ درصد اکسید سرب و نمونه دارای ۲۹ درصد وزنی اکسید سرب اختلاف بسیار زیادی در ویسکوزیته قابل مشاهده است. این امر ناشی از اختلاف زیاد رفتار آرنیوسی در مذاب نمونه‌های مختلف است. به طوری که با کاهش مقدار سیلیس در نمونه یا افزایش میزان اکسید سرب، رفتار غیرآرنیوسی بیش از پیش در نمونه‌ها نمایان می‌شود [۳۸]. کاهش مستمر دمای انتقال شیشه با افزایش مقدار PbO نیز دلیلی برای اثبات این رویداد است [۳۸].

بن کاکیم و همکارانش به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان PbO درون ترکیب میزان ویسکوزیته و دمای انتقال به حالت شیشه‌ای کاهش می‌یابد و در ترکیب‌هایی با SiO_2 کمتر از مقدار ۵۰٪ وزنی امکان کنترل تبلور بسیار مشکل بوده و به سرعت شیشه متبلور می‌شود.

بر اساس تفسیرهای حاصل از این طیف سنجی و مقایسه با تغییرات رفتاری ویسکوزیته و دمای انتقال به حالت شیشه‌ای اینطور به نظر می‌رسد که این امر به دلیل تخریب و دپلیمریزاسیون^۲ شبکه سیلیکا رخ می‌دهد. در نتیجه، سرب حتی با وجود مقادیر کم درون فرمولاسیون، باز هم به عنوان یک دگرگون‌ساز عمل

^۱ Ilyes Ben Kacem

^۲ Depolymerization

می‌کند. اگرچه، اگر این ماده در مقادیر زیاد درون ترکیب شیشه وجود داشته باشد، می‌تواند تتراهدرال^۱ PbO_4 را تشکیل دهد، اما همچنان نمی‌توان ادعا کرد که سرب در مقادیر بالا به عنوان یک شبکه ساز عمل می‌کند [۳۸].

از طرفی سمت^۲ و لمن^۳ [۳۹] نشان دادند که با افزایش مقدار PbO درون ترکیب میزان اکسیژن پل‌ساز کاهش می‌یابد. با افزایش PbO از ۳۰ تا ۷۰ درصد مولی مقدار کسر BO از ۰/۶۶ به ۰/۱۹ کاهش یافت. بر اساس این نتایج و همچنین مقایسه با سیستم های قلیا-سیلیکات، هیچ‌گونه تخریب و دپلمریزاسیونی مربوط به شبکه سیلیکاتی مشابه ترکیب اورتوسیلیکات وجود ندارد. سمت و لمن به این نتیجه رسیدند که سرب نقش اصلاح کننده را داشته و شبکه سیلیکاتی حفظ می‌شود.

وانگ^۴ و همکارانش [۴۰] طی پژوهشی به تاثیر میزان سرب بر روی خواص جاذب آن پرداختند. آنان طی این پژوهش چندین نمونه با درصدهای مختلف سرب تهیه کردند و سپس به منظور انجام آزمایش و بررسی-های متعدد، طیف سنجی فوتوالکترونی اشعه ایکس از نمونه ها انجام شد.

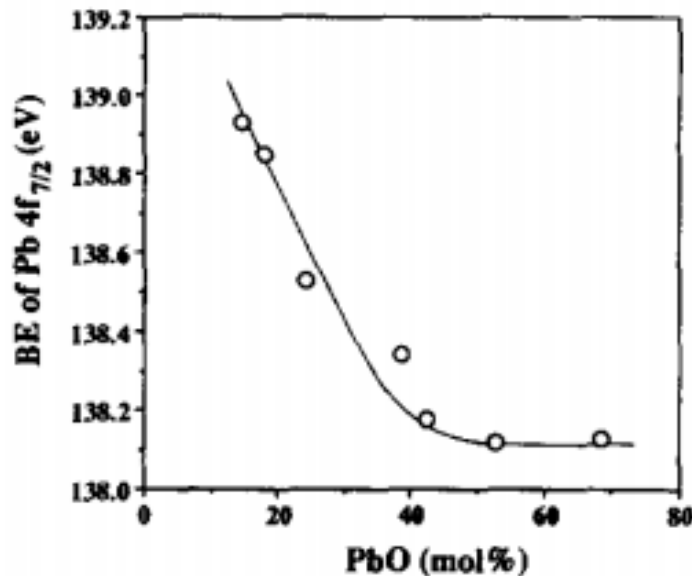
مطابق نتایج آنالیز همان‌طور که در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است، کاهش تدریجی انرژی‌های اتصال در مقادیر PbO پایین به وضوح نشان دهنده انتقال آهسته پیوند $Pb-O$ از یونی به کووالانسی است [۴۰].

^۳ Tetrahedral

^۱ Smets

^۲ Lommen

^۳ Paul W.Wang



شکل (۲-۱۰) مقایسه طیف وابستگی انرژی باند گپ Pb4f7/2 به غلظت PbO در ترکیب شیشه [۳۶]

از این نتایج می توان دریافت که رفتار ساختاری PbO درون شیشه به شدت به غلظت آن وابسته است. به طوری که نقش PbO در شیشه سیلیکات سرب را می توان به شرح زیر توصیف کرد: در غلظت PbO کم، ویژگی فلزی Pb بر رفتار PbO درون شیشه غلبه دارد و در اینجا نقش دگرگون ساز شیشه^۱ را بازی می کند. قبل از اینکه مقدار PbO به یک مقدار بحرانی (که در پژوهش حاضر این میزان ۴۰٪.mol است) برسد، ویژگی قطبش Pb به تدریج آشکار می شود و این ویژگی با افزایش غلظت PbO افزایش می یابد. در نتیجه، درجه کووالانسی^۲ پیوند Pb-O افزایش یافته و اتم های Pb به تدریج با اکسیژن پیوند کووالانسی برقرار می کنند. در ادامه با افزایش غلظت PbO از نقطه بحرانی (۴۰٪.mol)، ویژگی قطبی Pb به طور کامل بر ویژگی فلزی آن غلبه کرده و Pb به طور کامل با اکسیژن پیوند کووالانسی می دهد تا یک ساختار چندوجهی^۳ اکسید سرب-اکسیژن ایجاد کند. از این رو هنگامی که غلظت PbO درون مخلوط بیش از ۴۰ درصد مولی باشد، PbO درون شیشه نقش شیشه ساز را بازی می کند [۴۰].

^۱ Glass modifier

^۲ Covalently

^۳ Polyhedron

از این رو در مقادیر کم PbO ($PbO > 40\%mol$)، SiO_2 نقش شیشه ساز اصلی را درون مخلوط شیشه داشته و در این منطقه، شبکه سه بعدی ساخته شده توسط تتراهدرال SiO_4 ^۱ همچنان حفظ می شود اما با افزایش مقدار PbO درون شیشه، چهاروجهی PbO_4 تمایل به تجمع در کنار یکدیگر برای تشکیل یک شبکه ساختار جدید دیگر دارد. لذا در محدوده مقادیر PbO بالا ($PbO < 40\%mol$)، PbO نقش شیشه ساز اصلی شیشه را دارد. در این منطقه، شبکه سه بعدی ساخته شده توسط تتراهدرال SiO_4 به طور کامل تخریب می شود و ساختار جدید شکل می گیرد [۴۰].

با استفاده از همان تکنیک (XPS)، وانگ و ژانگ^۲ [۴۰] مشاهده کردند که انرژی اتصال BO تا افزایش مقدار ۴۰٪ مولی PbO به آرامی کاهش می یابد و پس از آن، یک باره به طور ناگهانی کاهش یافته و با افزایش مقدار PbO این کاهش ادامه می یابد. باین حال، انرژی اتصال اکسیژن غیرپل ساز (با افزایش PbO تا ۴۰ درصد مولی) روند مشابهی را طی کرد و سپس درحالی که مقدار PbO افزایش می یافت، ثابت ماند. آنها این رفتار را به نوع دیگری از NBO مرتبط می دانند به طوری که این اکسیژن ها پلی بین دو اتم Pb به صورت $Pb-O-Pb$ ایجاد می کنند. بر اساس این فرضیه ها، آنها پیشنهاد می کنند هنگامی که مقدار PbO بالاتر از ۴۰ درصد مولی باشد شبکه شیشه ای سیلیکات سربی با هرم های چهاروجهی PbO_4 ساخته شده است. در این فرضیه، Pb به عنوان شبکه ساز عمل می کند [۳۶].

۲-۷ - مقایسه قدرت جذب شیشه سربی با سایر شیشه ها

۲-۷-۱ - سیستم شیشه BaO و Bi_2O_3

کردسیری^۳ و همکارانش [۴۱] در سال ۲۰۱۱ به منظور مقایسه قدرت جذب PbO و Bi_2O_3 و BaO از سه سیستم سیلیکاتی که هر کدام به صورت جداگانه دارای مقادیر مختلفی از این مواد بود کمک گرفتند. طی این پژوهش مقدار ۵۰ گرم از ترکیب درون بوته آلومینایی ریخته شد و سپس عمل ذوب به مدت ۱ ساعت درون کوره الکتریکی برای ترکیب شیشه سیلیکاتی PbO و Bi_2O_3 در دمای $1250^\circ C$ و ترکیب سیلیکاتی BaO در دمای $1600^\circ C$ انجام شد. پس از ذوب و ریخته گری نمونه های مختلف جهت انجام آنالیزهای متعدد آماده سازی شدند.

^۴ Tetrahedral

^۵ Wang and Zhang

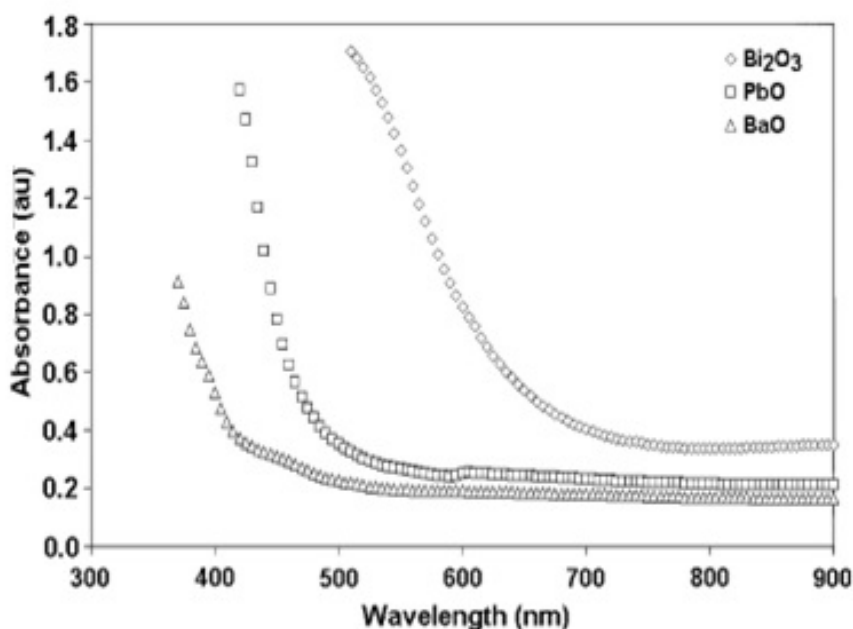
^۱ K. Kirdsiri

چگالی نمونه ها به روش غوطه‌وری ارشمیدس اندازه‌گیری شد. نمونه‌های مربوط به شیشه سیلیکاتی Bi_2O_3 بیشترین چگالی را نسبت به دو نوع شیشه دیگر داشت و شیشه سیلیکاتی BaO دارای چگالی کمتر نسبت به سایرین بود. همچنین افزایش میزان BaO در سیستم اثر کمتری در افزایش دانسیته سیستم نسبت به PbO و Bi_2O_3 داشت.

از آنجایی که با افزایش چگالی و استفاده از فلزات سنگین درون ترکیب شیشه میزان جذب اشعه توسط این سیستم‌ها افزایش می‌یابد، لذا ترکیب شیشه سیلیکاتی Bi_2O_3 بیشترین میزان ضریب جذب اشعه را در میان ترکیب‌های مشابه دیگر داشت [۴۱].

آنها به این نتیجه رسیدند که در هر سه گروه با افزایش مقدار جز فلزی سنگین، میزان جذب افزایش می‌یابد و در این میان نمونه دارای Bi_2O_3 بیشترین افزایش ضریب جذب را از خود نشان می‌دهد [۴۱].

آنها برای مقایسه بین قدرت جذب سه نوع سیستم مذکور در طول موج های مختلف، از هر ترکیب در ۶۰ درصد وزنی اکسید فلزی (BaO و Bi_2O_3 و PbO) الگوی جذب نوری در محدوده طول موج های مختلف تهیه کردند.



شکل (۲-۱۱) نمودار طیف نوری شیشه سیلیکاتی شامل ۶۰ درصد وزنی اکسیدهای فلزی PbO و Bi_2O_3 و BaO [۴۱]

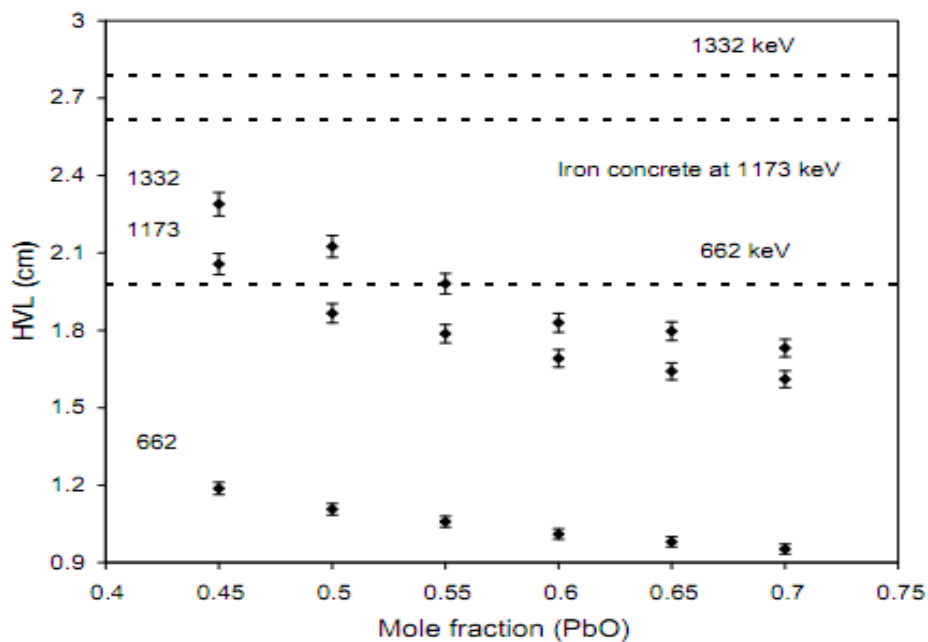
مطابق الگوی طیف جذبی نمونه شیشه سیلیکاتی حاوی ۶۰ درصد وزنی Bi_2O_3 طیف جذبی بالاتری نسبت به دو نمونه دیگر داشت که این رفتار حاکی از افزایش قدرت جذب سیستم با افزایش وزن اتمی فلزات سنگین است [۴۱].

در پژوهشی دیگر سینگ^۱ و همکارانش [۲۰] در سال ۲۰۰۸ طی پژوهشی میزان قدرت جذب سیستم $\text{SiO}_2\text{-PbO}$ برحسب تغییر مقدار PbO بر مبنای تغییرات ضریب جذب جرمی و پارامتر HVL مورد بررسی قرار دادند. طی این پژوهش آنان ۶ نمونه با ترکیب‌های مختلف تهیه کردند. نمونه‌ها در دمای 1100°C ذوب و در دمای 300°C آنیل شدند.

از آنجایی که هر چه یک ماده در محدوده انرژی معین مقدار HVL پایین‌تری داشته باشد، به‌عنوان جاذب بهتری برای محدوده انرژی مذکور عمل خواهد کرد، بتن آهن کمترین مقدار HVL برای تمام محدوده انرژی دارد لذا در بین سایرین بهترین جذب متعلق به این ماده است [۲۰].

لذا به منظور بررسی میزان قدرت جذب سیستم مورد مطالعه، مقادیر HVL نمونه‌های شیشه‌ای PbO-SiO_2 با بتن آهن مقایسه شد. مقادیر HVL مربوط به نمونه‌های شیشه‌ای نسبت به آهن در محدوده انرژی های مشابه، کوچک تر است. مقادیر HVL با افزایش درصد مولی اکسید سرب کاهش می‌یابد که به علت افزایش فاکتور کاهش وزن و چگالی نمونه های شیشه‌ای است [۲۰].

^۱ Singh



شکل (۲-۱۲) نمودار پارامتر HVL برحسب تابعی از ترکیب شیمیایی در سیستم شیشه $PbO-SiO_2$ در ۱۱۷۳، ۶۶۲ و ۱۳۳۲ keV. خطوط خط چین مقدار تئوری مربوط به بتن آهنی برای مقایسه است [۲۰]

لذا با توجه به این بحث، پیشنهاد شده که میزان درصد وزنی بالاتر PbO در سیستم شیشه‌ای $PbO-SiO_2$ باعث بهبود خواص محافظتی و جذب تابش از نظر پارامترهای ضریب جذب جرمی و HVL می‌شود [۲۰].

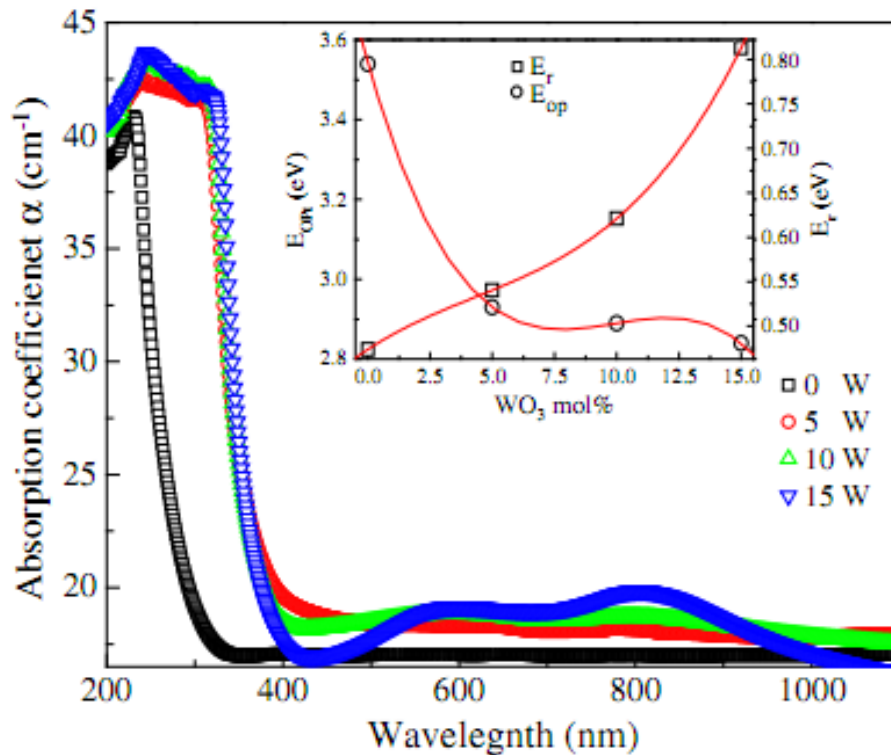
۲-۸ - سیستم شیشه WO_3

شبان سالم^۱ و همکارانش [۴۲] در سال ۲۰۱۲ به منظور بررسی اثر افزودن WO_3 و کاهش مقدار PbO روی میزان جذب شیشه های جاذب حاوی PbO مطالعاتی انجام دادند. آن‌ها اثر افزودن WO_3 بر روی جذب و دانسیته سیستم شیشه‌ای $50 P_2O_5-(30-x)PbO-20NaF-(x)WO_3$ را مورد بررسی قرار دادند. برای این کار ۴ نمونه با مقادیر PbO و WO_3 مختلف تهیه کردند.

آنها دریافتند که با افزایش مقدار افزودنی ها دانسیته نمونه ها کاهش و حجم مولی سیستم افزایش یافته است. از طرفی مطابق شکل (۲-۱۳) با افزایش مقدار افزودنی WO_3 شدت جذب افزایش یافته و در محدوده ۲۳۰ nm نمونه حاوی بیشترین درصد افزودنی بالاترین ضریب جذب را داشته است. همچنین با افزایش

^۱ Shaaban Salem

افزودنی محدوده جذب پهن تری پوشش داده شده و نمونه در تمام محدوده UV-VIS قابلیت جذب داشته ولی نمونه بدون افزودنی در طول موج های کوتاه تر از ۲۳۰ nm جذب مطلوبی را نشان می دهد [۴۲].

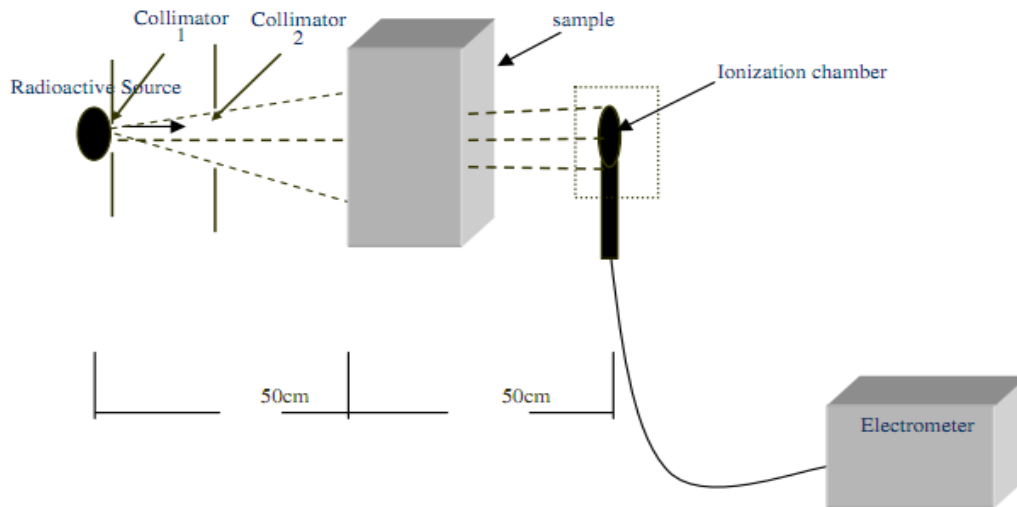


شکل (۲-۱۳) نمودار ضریب جذب جرمی (α) بر حسب طول موج مربوط به سیستم مورد مطالعه [۴۲]

خاریتا^۱ و همکارانش [۲۲] در سال ۲۰۱۲ به منظور بررسی تاثیر میزان سرب درون ترکیب بر روی جذب یا شفافیت شیشه ها سیستم فسفاتی حاوی سرب و باریم با درصد وزنی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نمونه ها درون بوته آلومینایی در کوره الکتریکی تا دمای ۹۵۰°C حرارت دهی شدند و سپس به منظور ذوب به مدت ۳ ساعت در این دما نگهداری شدند. پس از آن آنیل در دمای ۳۵۰°C برای مدت ۳۰ دقیقه انجام شد و در نهایت نمونه ها تا دمای اتاق سرد شده و جهت آنالیز و بررسی آماده سازی شدند.

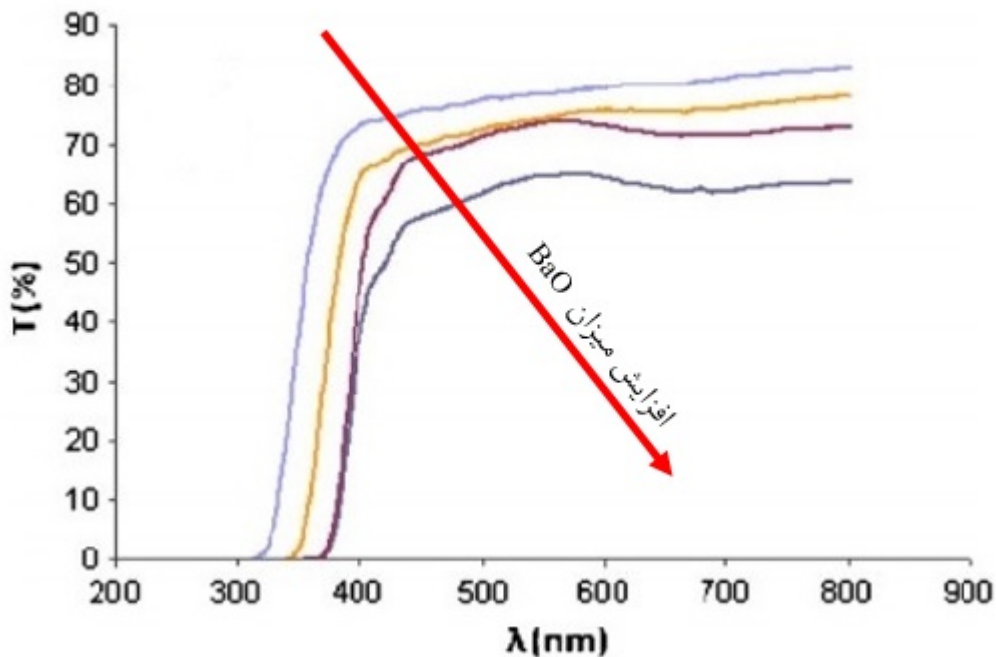
عمل پرتو تابی به نمونه ها جهت بررسی میزان شفافیت و همچنین میزان جذب نمونه به صورت شماتیک مطابق با شکل (۲-۱۴) انجام شد [۲۲].

^۱ Kharita



شکل (۲-۱۴) شماتیک تنظیمات اندازه گیری ضریب جذب جرمی با استفاده از منبع Cs-137 [۲۲]

به منظور افزایش ضریب اطمینان داده های نهایی در هر مرحله ۳ نمونه از هر ترکیب آماده شد و مقدار جذب یا عبور میانگین به عنوان معیار سنجش آن نمونه در نظر گرفته شد. منحنی طیف عبور برای چهار نمونه مختلف از نمونه های مورد مطالعه در شکل (۲-۱۵) نشان داده شده است. با توجه به طیف عبوری حاصل می توان متوجه شد که این نمونه ها در محدوده طول موج 350 nm (نزدیک به محدوده UV) تا بیش از 800 nm (نزدیک به نور مرئی بین 400 nm تا 750 nm) شفافیت خوبی از خود نشان می دهند. این میزان شفافیت برای شیشه حاوی اکسید PbO بسیار خوب است که این امر برای شیشه های فسفاتی یک امتیاز ویژه محسوب می شود در حالی که شیشه های مبتنی بر سیلیکات معمولاً شفافیت کمتری دارند. همچنین با توجه به طیف عبوری، با کاهش میزان BaO از نمونه های ۱ تا ۹، میزان شفافیت افزایش پیدا کرده است.



شکل (۲-۱۵) طیف عبوری مربوط به نمونه مورد مطالعه [۲۲]

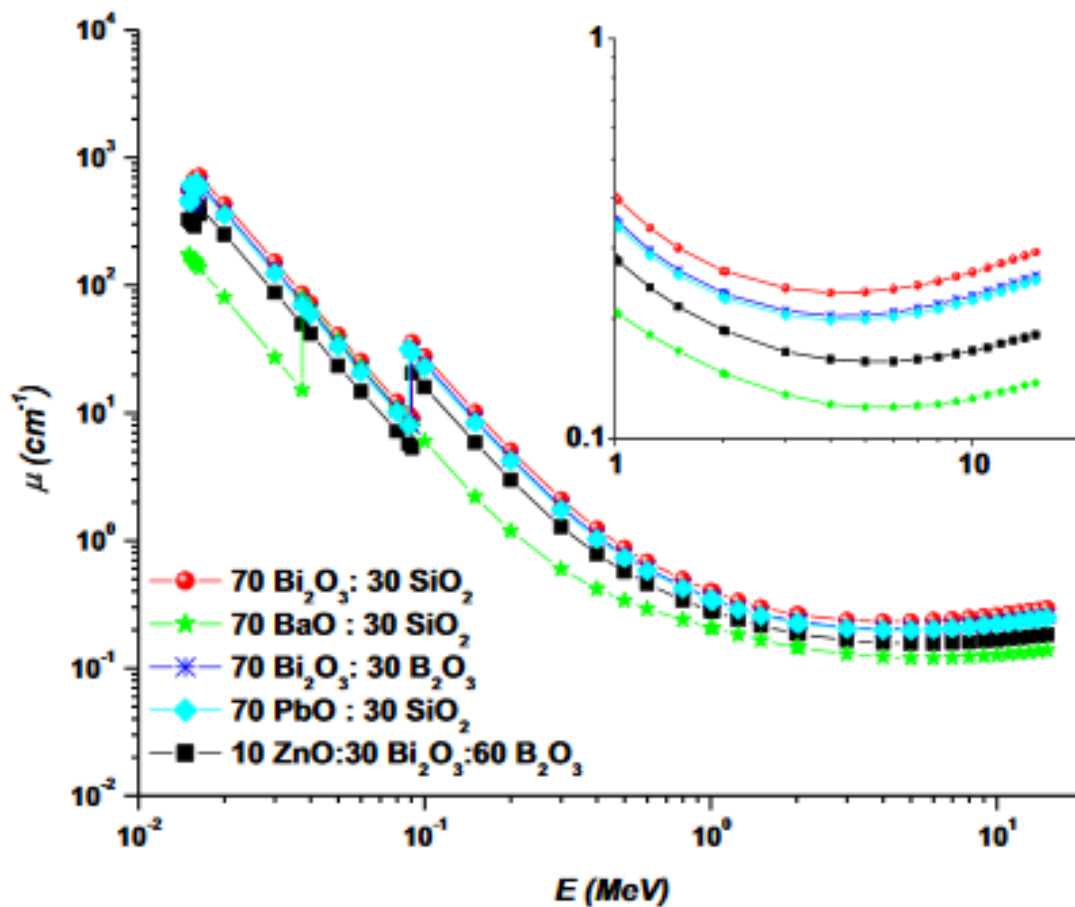
در نتیجه می توان گفت با افزایش میزان BaO در سیستم میزان شفافیت کاهش می یابد و این در حالی است که در مقایسه با PbO، این ماده بر روی دانسیته و میزان جذب در سیستم تاثیر به سزایی ندارد [۲۲].

۲-۸-۱ - سیستم شیشه ZnO و B₂O₃

سانگ^۱ و همکارانش [۴۳] در سال ۲۰۱۴ به منظور بررسی قدرت جذب سیستم های مختلف با ترکیبات مختلف حاوی عناصر سنگین همچون ZnO، Bi₂O₃، PbO و BaO آزمایشی را انتخاب نمودند. طی این آزمایش ۵ نوع سیستم شیشه ای مختلف شامل شیشه سیلیکاتی (حاوی عناصر سنگین)، شیشه بوراتی- بیسموتی و شیشه بورات-بیسموت-روی آماده شد که نمونه ها به دلیل استفاده از عناصری با جرم اتمی متفاوت دارای دانسیته های مختلف بود.

پس از آماده سازی نمونه ها، پرتو تابی در محدوده انرژی ۱۵-۰/۱۵ MeV انجام شد و میزان ضریب جذب جرمی به ازای هر پرتو تابشی محاسبه شده و در نهایت نمودار ضریب جذب جرمی بر حسب انرژی پرتو رسم گردید (شکل ۲-۱۶) [۴۳].

^۱ Singh



شکل (۲-۱۶) نمودار تغییرات ضریب جذب خطی با انرژی فوتونی در محدوده ۱۵ - ۰/۱۵ MeV برای شیشه های حاوی فلزات سنگین [۴۳]

همان طور که در شکل (۲-۱۶) می توان دید تمام نمونه ها در ابتدا دارای مقدار ضریب جذب جرمی بالا در ناحیه ابتدایی جذب بودند و سپس در ادامه به مرور کاهش یافته و در ناحیه انرژی پراکندگی کامپوننت^۱ (۳-۱ MeV) به ضریب جذب حدود $0/1 \text{ cm}^{-1}$ می رسند. به دلیل اختلاف در لبه جذب عناصر سنگین موجود در شیشه ها (که معادل $37/44 \text{ KeV}$ ، 88 KeV و $90/53 \text{ KeV}$ به ترتیب Ba، Pb و Bi است) هر کدام از سیستم ها رفتار جذب متفاوتی را نشان دادند. مطابق نمودار نمونه شیشه ای $70\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}30\text{SiO}_2$ بیشترین مقدار جذب را داشت و پس از آن به ترتیب $70\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}30\text{B}_2\text{O}_3$ ، $70\text{PbO}\text{-}30\text{SiO}_2$ و $30\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}60\text{B}_2\text{O}_3\text{-}10\text{ZnO}$ قرار دارند و پایین ترین لبه جذب مربوط به سیستم سیلیکاتی حاوی باریم $70\text{BaO}\text{-}$

¹ component

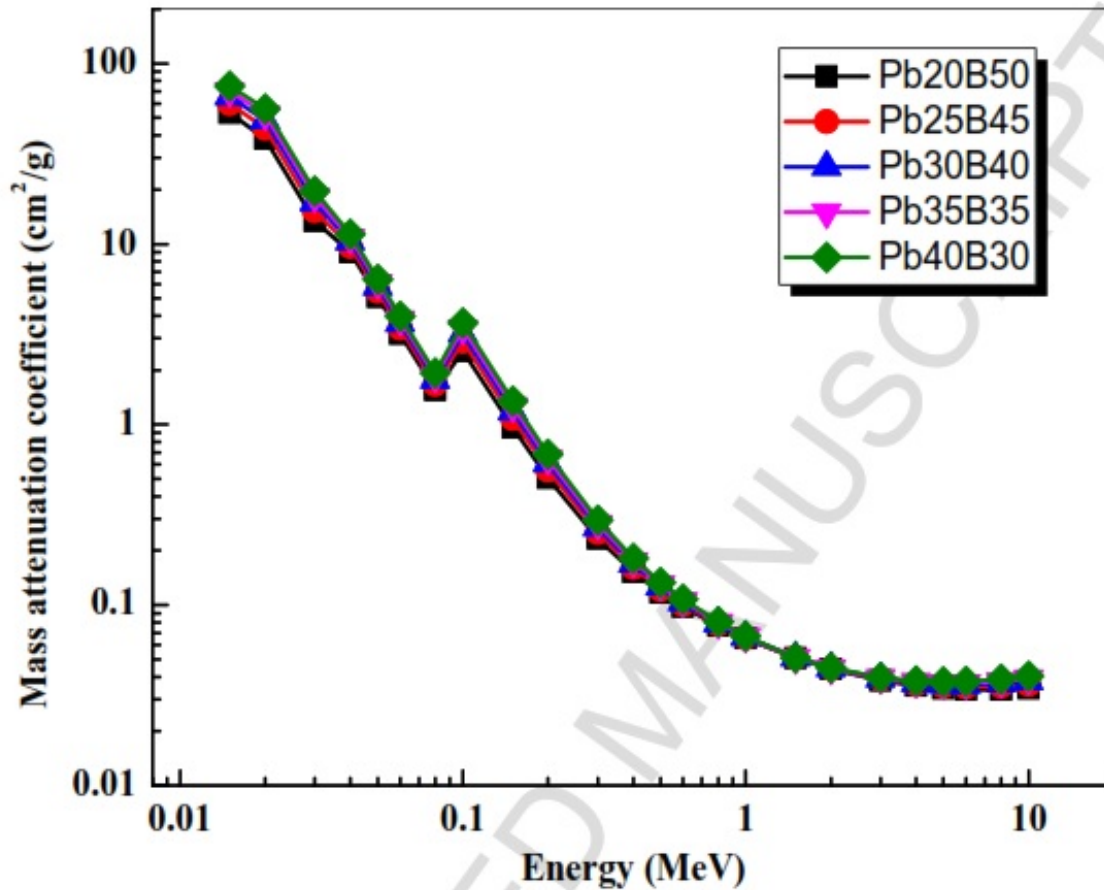
$30SiO_2$ بود. از آنجاییکه مقدار انرژی باند ممنوعه تاثیر بسزایی در میزان شفافیت شیشه دارد می توان از مقادیر اندازه گیری شده میزان جذب نور مرئی را بررسی نمود بطوریکه شیشه هایی که میزان انرژی باند ممنوعه آنها بیشتر از $\frac{3}{1}$ الکترون ولت باشد نور مرئی را جذب نمی کنند. در واقع نورتوانایی برانگیختگی یونها از باند ظرفیت به باند هدایت را ندارد [۲۲]. بود. در نتیجه از داده های حاصل از جذب در این آزمایش در محدوده های مختلف می توان گفت که شیشه بیسموتی بدون سرب یک جذب کننده خوب در محدوده انرژی های بالا همچون ایکس و گاما است و به عنوان یک محافظ بسیار عالی در مقابل اشعه های پر انرژی عمل می کند [۴۳].

آشوک کومار و همکارانش [۴۴] در سال ۲۰۱۸ جهت بررسی میزان قدرت جذب در برابر پرتوهای گاما سیستم شیشه $(20+x)PbO-10BaO-10Na_2O-10MgO-(50-x)B_2O_3$ را در درصدهای مولی مختلف با مقادیر مختلف x از جمله ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مورد آزمایش قرار دادند. آنها این نوع شیشه ها را از طریق ذوب سرمایش تهیه کردند و خواصی از جمله چگالی و حجم مولی را اندازه گیری نمودند.

سرب به علت بالا بودن جرم اتمی به منظور بهتر شدن خواص جذب به سیستم اضافه گردید در حالیکه افزودن بور به دلیل ایجاد خواصی از جمله پایداری حرارتی خوب، مقاومت شیمیایی بالا، ویسکوزیته پایین، نقطه ذوب پایین و پایداری مکانیکی عالی می باشد.

همچنین آنالیزهایی همچون XRD جهت بررسی فازی و تایید ساختار آمورف سیستم مورد آزمایش و آنالیز UV-VIS جهت بررسی خواص اپتیکی سیستم مورد نظر انجام گردید. آنها همچنین در این تحقیق با استفاده از نرم افزار XCOM خواص جذبی سیستم های تهیه شده را با اندازه گیری ضریب جذب جرمی از لحاظ تئوری مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از این نرم افزار می توان میزان ضریب جذب جرمی جهت سیستم های مختلف شیشه مورد آزمایش را محاسبه نمود. لازم به ذکر است نتایج حاصل از این نرم افزار در تعامل بسیار خوب با نتایج عملی است که به خوبی در مطالعات آگار و همکارانش [۴۵] و کائور و همکارانش [۸] قابل مشاهده است.

بازه انرژی جهت استفاده در نرم افزار XCOM مقادیر 0.15 MeV تا 10 MeV در نظر گرفته شد و در نهایت نمودار حاصل براساس میزان ضریب جذب جرمی در برابر انرژی جهت نمونه های مختلف به دست آمد و بالاترین مقدار جذب (خاصیت حفاظت در برابر تشعشعات گاما) به نمونه با کد $Pb40B30(x=20)$ (نمونه با بیشترین میزان سرب) تعلق گرفت. شکل (۲-۱۷) نتایج حاصل بر اساس این نرم افزار را نشان می دهد.



شکل (۲-۱۷) ضریب جذب جرمی شیشه های مورد آزمایش در بازه انرژی ۱۵ - ۰/۰۱۵ MeV [۴۴]

آنها با استفاده از آنالیز UV-VIS پارامترهایی از جمله ضریب شکست، ضریب دی الکتریک و انرژی نوار ممنوعه مستقیم و انرژی نوار ممنوعه غیر مستقیم سیستم مورد آزمایش را محاسبه نمودند.

با توجه به مطالعات ذکر شده می توان استنباط نمود که جرم اتمی بالای عناصر و چگالی ترکیبات نقش مهمی در میزان جذب امواج الکترومغناطیس ایفا می کند. در نتیجه اکسیدهای باریم و روی با توجه به چگالی بالا و جرم اتمی بالای باریم و روی و اکسیدهای بور و کلسیم با توجه به چگالی پایین تر و جرم اتمی پایین عناصر بور و کلسیم به عنوان اکسید های افزودنی جهت انجام این پژوهش انتخاب گردیدند.

در نتیجه با توجه به آنچه بیان گردید ترکیب شیشه سیلیکات سربی $60\text{SiO}_2-40\text{PbO}_2$ به عنوان شیشه پایه و اکسید های باریم، روی، بور و کلسیم به عنوان اکسید های افزودنی به شیشه سیلیکات سربی پایه جهت انجام این پژوهش انتخاب گردیدند و سیستم شیشه به صورت رابطه (۲-۱۱) در نظر گرفته شد.



در رابطه (۲-۱۱) X بیانگر درصد مولی و R_mO_n بیانگر اکسید افزودنی به شیشه پایه است. اکسید های افزودنی با سه درصد مولی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد به شیشه پایه اضافه گردید تا اثرات جذب امواج الکترومغناطیس بر ترکیبات مورد نظر مورد بررسی قرار گیرد.

فصل ۳ : روش انجام آزمایش

۳-۱ - شرح فرایند ساخت نمونه

پس از مطالعه منابع و اطلاعات علمی و فنی مرتبط و موجود و استفاده از تجارب عملی به دست آمده در زمان انجام پژوهش و مقالات و نهایتا پس از کنار هم گذاشتن و ترکیب این نتایج تئوری و عملی با هم و انجام تستهای اولیه آزمایشگاهی برای ساخت نمونه های اولیه آزمایشگاهی که در ادامه کاملا به آنها اشاره خواهد گردید بهینه اکسیدهای مورد نظر برای ساخت این نمونه شیشه ها تعیین و انتخاب گردیدند و در نتیجه جهت دستیابی و تامین این مقادیر اکسید های تشکیل دهنده ترکیبات مورد نظر، مواد اولیه که در ادامه بدان اشاره خواهد شد تهیه گردید که در این زمینه و برای دستیابی به ترکیب بهینه عوامل ذیل مد نظر قرار گرفت :

۳-۱-۱ - مواد اولیه مصرفی

مواد اولیه مصرف شده در این پژوهش به دو بخش مواد اولیه شیشه پایه و اکسیدهای افزودنی مورد استفاده تقسیم بندی می شوند که تمامی مواد اولیه، تولید شرکت مرک با خلوص بالا هستند. مواد اولیه مورد استفاده در شیشه پایه شامل سیلیس بصورت SiO_2 و اکسید سرب بصورت PbO_2 و همچنین مواد اولیه اکسیدهای افزودنی به ۴ نوع اکسید باریوم و اکسید بور و اکسید کلسیم و اکسید روی طبقه بندی می شوند که خلوص شیمیایی مواد اولیه نمونه مرجع در جدول (۳-۱) آمده است.

جدول (۳-۱) آنالیز شیمیایی مواد اولیه

ترکیب ماده	خلوص گزارش شده (درصد)	تولید شرکت
SiO_2	+ ۹۹/۹	Merck
PbO_2	+ ۹۹/۹	Merck

همچنین مشخصات اکسیدهای مورد استفاده به عنوان اکسیدهای افزودنی در درون شیشه پایه سربی حداکثر تا میزان ۱۵ درصد مولی به شرح جدول (۲-۳) می باشد.

جدول (۲-۳) مشخصات و خلوص اکسید های افزودنی به نمونه پایه

نام	حداکثر درصد	
	مولی در نمونه پایه (درصد)	خلوص گزارش شده (درصد)
CaO	٪ ۱۵	+۹۹/۹
ZnO	٪ ۱۵	+۹۹/۹
B ₂ O ₃	٪ ۱۵	+۹۹/۹
BaO	٪ ۱۵	+۹۹/۹

۲-۱-۳ - انتخاب و تعیین ترکیب مورد نظر

بر اساس دیاگرام های فازی مورد نظر برای ترکیب و دمای ذوب شیشه های سربی و با توجه به دمای بیشینه ذوب (۱۲۵۰ °C) و مطالعات مرتبط با شیشه های سربی ۵۷ و ۵۸ ترکیب اولیه بر اساس درصد مولی بصورت 60SiO₂-40PbO₂ انتخاب گردید.

همچنین در این پژوهش تاثیر افزودن اکسیدهای CaO, B₂O₃, BaO و ZnO را در شیشه های سربی که در جدول (۳-۳) ترکیب آن مشخص شده است بررسی شد.

۳-۱-۳ - تعیین فرمولاسیون شیشه ها

با توجه به آنالیز شیمیایی مواد اولیه، درصد مواد اولیه مورد نیاز برای هر یک از نمونه شیشه ها، محاسبه شد و با توجه به آنالیز شیمیایی مواد موجود، فرمولاسیون مواد به قرار جدول (۳-۳) در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که نمونه شماره ۱ به عنوان نمونه مبنا و مرجع خواهد بود که بدون هرگونه افزودنی است و قرار است در نهایت با نمونه های دیگر از لحاظ خواص مختلف از جمله میزان جذب امواج الکترومغناطیس مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

جدول (۳-۳) درصد مولی مواد اولیه مصرفی در شیشه سربی

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
SiO ₂	۶۰	۵۷	۵۴	۵۱	۵۷	۵۴	۵۷	۵۴	۵۷	۵۴	۵۱
PbO ₂	۴۰	۳۸	۳۶	۳۴	۳۸	۳۶	۳۸	۳۶	۳۸	۳۶	۳۴
ZnO	-	۵	۱۰	۱۵	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	۵	۱۰	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	۵	۱۰	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	۵	۱۰	۱۵

۴-۱-۳ - کد بندی نمونه ها

کد بندی نمونه های تهیه شده به شرح جدول (۴-۳) می باشد.

جدول (۴-۳) کد بندی نمونه ها

شماره نمونه ها	کد بندی نمونه ها	ترکیب نمونه
۱	SiPb	60 SiO ₂ - 40 PbO ₂
۲	SiPbZn5	57 SiO ₂ - 38 PbO ₂ - 5 ZnO
۳	SiPbZn10	54 SiO ₂ - 36 PbO ₂ - 10 ZnO
۴	SiPbZn15	51 SiO ₂ - 34 PbO ₂ - 15 ZnO
۵	SiPbCa5	57 SiO ₂ - 38 PbO ₂ - 5 CaO
۶	SiPbCa10	54 SiO ₂ - 36 PbO ₂ - 10 CaO
۷	SiPbB5	57 SiO ₂ - 38 PbO ₂ - 5 B ₂ O ₃
۸	SiPbB10	54 SiO ₂ - 36 PbO ₂ - 10 B ₂ O ₃
۹	SiPbBa5	57 SiO ₂ - 38 PbO ₂ - 5 BaO
۱۰	SiPbBa10	54 SiO ₂ - 36 PbO ₂ - 10 BaO
۱۱	SiPbBa15	51 SiO ₂ - 34 PbO ₂ - 15 BaO

نظر به اینکه یکنواختی اندازه ذرات از اهمیت بالایی در فرایند ذوب و تشکیل فازها و ویسکوزیته و کیفیت ظاهری شیشه نهایی دارد، برای تهیه فرمولاسیون نمونه های ذکر شده در جدول (۴-۳)، عملیات فست میل بصورت خشک به مدت نیم ساعت صورت گرفت. قابل به ذکر است که بعد از عملیات فست میل پودر

مخلوط تهیه شده جهت ساخت تمامی نمونه ها از الک ۴۴ میکرون (مش ۳۲۵) عبور داده شد و در نهایت مانده پودر نمونه ها در روی الک وزن گردید و در حدود صفر اندازه گیری گردید.

همچنین لازم به ذکر است با توجه به احتمال تبخیر و خارج شدن سرب از مذاب، جهت جلوگیری از هرگونه تغییر احتمالی در ترکیب نمونه های تهیه شده به میزان پنج درصد وزنی اکسید سرب در تهیه مخلوط نمونه ها بیشتر در نظر گرفته شد.

۳-۲ - نحوه استفاده از فست میل

بعد از انجام چندین مرحله مخلوط سازی جهت ساخت نمونه و عبور از الک ۴۴ میکرون بهترین حالت جهت پر کردن بوته دستگاه فست میل با توجه به مقدار پودر باقی مانده بر روی الک مقادیر ذکر شده در جدول (۳-۵) در نظر گرفته شد که در این حالت مقدار پودر مخلوط شده جهت ساخت نمونه بر روی الک تقریباً صفر اندازه گیری گردید. در نهایت نحوه پر کردن بوته فست میل جهت کارایی هر چه بهتر فرایند، طبق جدول (۳-۵) و با استفاده از دستگاه موجود (شکل ۳-۱) صورت پذیرفت. همچنین جهت ساخت مخلوط پودر نمونه ها از گلوله های آلومینایی سیلیکاتی در بوته دستگاه فست میل استفاده گردید.



شکل (۳-۱) دستگاه فست میل

جدول (۳-۵) نحوه پر کردن بوتله فست میل

ماده اشغال کننده بوتله	کسر حجم اشغال شده بوتله
پودر	۱/۲
گلوله ها + فضای خالی بین گلوله ها	۱/۳
فضای خالی	۱/۶

۳-۳- رژیم حرارتی و اتمسفری ساخت شیشه

مخلوط آماده شده جهت تهیه نمونه طبق فرمولاسیون از پیش برنامه ریزی شده، در بوتله سرامیکی در دمای 1250°C در کوره ساخت شرکت ATBIN که در شکل (۳-۴) آمده است، قرار داده شد. سرعت افزایش حرارت کوره جهت تهیه ذوب نمونه برای این آزمایش بدین صورت مقرر شد که تا دمای 900°C با سرعت ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه دما بالا رفته و سپس از دمای 900°C تا 1250°C با سرعت ۵ درجه سانتی گراد بر دقیقه دما بالا رفته تا از شوک حرارتی به المنت های کوره جلوگیری شود و در دمای 1250°C که دمای ذوب بود به مدت نیم ساعت نگهداری شد تا فرایند تشکیل فازهای شیشه‌ای به طور کامل انجام گردد [۴۶ ۱۴].

دلیل اینکه در دمای بیشینه کوره به مدت نیم ساعت نگهداری شد این است که ترکیب مواد به دلیل درصد بالای سرب سرعت ذوب شدن به شدت بالا بوده ولی مسئله مهم خارج شدن گاز از مذاب است که در این صورت برای جلوگیری از تشکیل حباب در درون مذاب شیشه باید در دمای بیشینه کوره به مذاب شیشه زمان داده شود تا عملیات تصفیه از حباب ها صورت گیرد.

اتمسفر کوره مورد نیاز برای ذوب شیشه‌های سربی باید اتمسفر هوا باشد اما باید این نکته را در نظر گرفت که بخاطر سمی بودن بخارات اکسید سرب حتما بایستی بوتله های مورد استفاده درپوش داشته باشند تا از ورود بخارات سمی اکسید یاد شده در داخل اتمسفر کوره به حداقل برسد و مانع آسیب دیدن المنت‌های کوره مورد استفاده گردد. همچنین اپراتور مورد نظر در زمان ذوب شیشه درون کوره و همچنین تخلیه و ریخته‌گری شیشه مورد نظر حتما باید دارای ماسک فیلتر دار باشد و آزمایشگاه دارای تهویه مناسب باشد.



شکل (۲-۳) کوره ATBIN ذوب شیشه

۳-۴ - تخلیه مذاب

در مرحله تخلیه کردن مذاب، ابتدا یک قالب مناسب جهت ریخته‌گری نمونه های شیشه در ابعاد مناسب از جنس فولاد ضدزنگ (SS 316L) تهیه شد و قبل از ریخته‌گری مذاب شیشه، این قالب فولادی در کوره و در دمای 500°C پیش گرم گردید.

در مرحله بعد تخلیه مواد مذاب به قالب از پیش حرارت‌دهی شده انجام شد که این مرحله باید سریع انجام شود تا دمای مذاب و قالب افت زیادی نداشته باشد (که در غیر این صورت باعث شکستگی و ترک وسیع در حجم شیشه می‌شد) سپس مجدداً قالب در کوره قرار گرفت و در دمای 500°C جهت آنیلینگ و تنش زدایی بالا برده شد و به مدت ۲ ساعت در این دما نگه داشته شد سپس با آهنگ آهسته تا دمای اتاق سرد شد. فرایند سرد کردن نیز به آهستگی صورت گرفت. نمونه به دست آمده شفاف ولی رنگ آن کمی مایل به زرد بود که دلیل آن درصد بالای اکسید سرب در این شیشه‌ها می‌باشد. همچنین قابل به ذکر است که نمونه حاوی ۱۵ درصد مولی اکسید بور و اکسید کلسیم به علت ایجاد خوردگی بالای اکسید بور و اکسید کلسیم و ایجاد شکست در بوتنه های تهیه ذوب و تغییر آنالیز احتمالی، جهت آزمایش و بررسی در نظر گرفته نشدند.

۳-۵- بررسی خواص پس از ساخت نمونه های شیشه

در این مرحله از پژوهش آزمون DSC جهت بررسی محدوده دمای شیشه ای شدن و دمای انتقال (T_g) ، آزمون XRD جهت بررسی آنالیز فازی ، آزمون SEM جهت بررسی ریزساختار، آزمون اندازه گیری میزان بازتاب پخشی DRS جهت بررسی خواص جذب اپتیکی و چگالی شیشه های سنتز شده به کمک کیت جانبی دستگاه ترازوی دیجیتال Precisa با استفاده از اصل ارشمیدس انجام گرفت.

۳-۵-۱ - محدوده دمای شیشه ای شدن و دمای انتقال (T_g)

ساخت شرکت تجهیزات سازان پيشتاز و در سه نرخ حرارتی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه کلوین بر دقیقه جهت نمونه پایه (نمونه بدون اکسید افزودنی) و نرخ حرارتی ۱۰ درجه کلوین بر دقیقه جهت نمونه های شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزودنی اکسید روی در محدوده دمایی ۲۴ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد صورت گرفت.

۳-۵-۲ - بررسی فازی نمونه ها

آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) با استفاده از دستگاه philips PW1730 (شکل ۳-۵) انجام گرفت. آزمون مذکور با استفاده از لامپ Cu و تابش $Cu K_{\alpha}$ با طول موج 1.54056 \AA و در محدوده $2\theta = 5-80^\circ$ با گام های 0.04° انجام شد. نمونه ها ابتدا پودر شده و از الک مش ۱۷۰ به طور کامل عبور داده شد.



شکل (۳-۳) دستگاه XRD philips PW1730

۳-۵-۳ - بررسی ریز ساختاری نمونه ها

مطالعات میکروسکوپی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA//TESCAN در دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران که تصویر آن در شکل (۳-۶) آمده است انجام شد. تصاویر با استفاده از الکترون های ثانویه (SE) تهیه شد. جهت بررسی سطح شیشه ها قبل از بررسی ریز ساختاری مراحل آماده سازی شامل پودر کردن و آسیاب کردن شیشه ساخته شده و سپس عبور از الک با مش ۱۷۰ و عمل التراسونیک با اتانول به مدت ۱۵ دقیقه و با اعمال روی یک نوار شیشه ای و پوشش دهی با روکش طلا روی نمونه ها صورت گرفت و در نهایت ریز ساختار آن ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی VEGA// TESCAN بررسی گردید.



شکل (۳-۴) دستگاه VEGA// TESCAN SEM

۳-۵-۴ - آنالیز آزمون اندازه گیری میزان بازتاب پخشی (DRS)

برای تعیین میزان انرژی نوار ممنوعه و محدوده لبه جذب شیشه های سنتز شده از آزمون اندازه گیری میزان بازتاب پخشی بهره گرفته شد. و مقدار ماده کمی نیاز است و همچنین به نمونه مورد آزمایش آسیبی وارد نمی شود. داده های این آزمون به صورت یک نمودار برحسب طول موج - جذب قابل ارائه می باشد.

برای رسیدن به مقدار انرژی نوار ممنوعه از این داده ها روش های متعددی وجود دارد که تئوری کوبلکا-مانک نسبتاً دقیق ترین آن هاست.

در این پژوهش برای انجام این آزمون از دستگاه (SHIMADZU-UV-2550 22V) در دانشکده شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران مطابق با شکل (۳-۵) استفاده شده است.



شکل (۳-۵) دستگاه طیف سنجی انعکاسی نفوذی

۳-۵-۵ - آنالیز اندازه گیری چگالی نمونه ها

یکی دیگر از خواص مهم در شیشه ها اندازه گیری چگالی و بالطبع تخلخل موجود در آنهاست. تخلخل بر میزان جذب و انعکاس امواج تاثیر گذاشته و قطعات با تخلخل بیشتر از لحاظ طیف رنگی قابل مشاهده دچار اعوجاج شده و میزان جذب کنترل شده در آنها به شدت افت می کند. همچنین با توجه به اینکه اجسام با چگالی بالاتر ضریب جذب جرمی بیشتری دارند لذا شیشه های با چگالی بالاتر از قدرت جذب بیشتر امواج برخوردارند. در این زمینه یکی از مهم ترین اصول در اندازه گیری چگالی اصل ارشمیدس است که توجه به غوطه وری اجسام در یک سیال می توان چگالی جسم را محاسبه نمود.

جهت اندازه گیری چگالی شیشه های سنتز شده در این پژوهش از کیت مکمل که بر روی ترازوی دیجیتال Precisa واقع در آزمایشگاه ریخته گری دانشگاه صنعتی شاهرود قابل نصب است، مطابق شکل (۳-۶)

استفاده گردید. با استفاده از این کیت مکمل که بر روی دستگاه ترازوی دیجیتال اصلی قابل نصب است بصورت مستقیم می توان چگالی اجسام را با استفاده از اصل ارشمیدس اندازه گیری نمود.



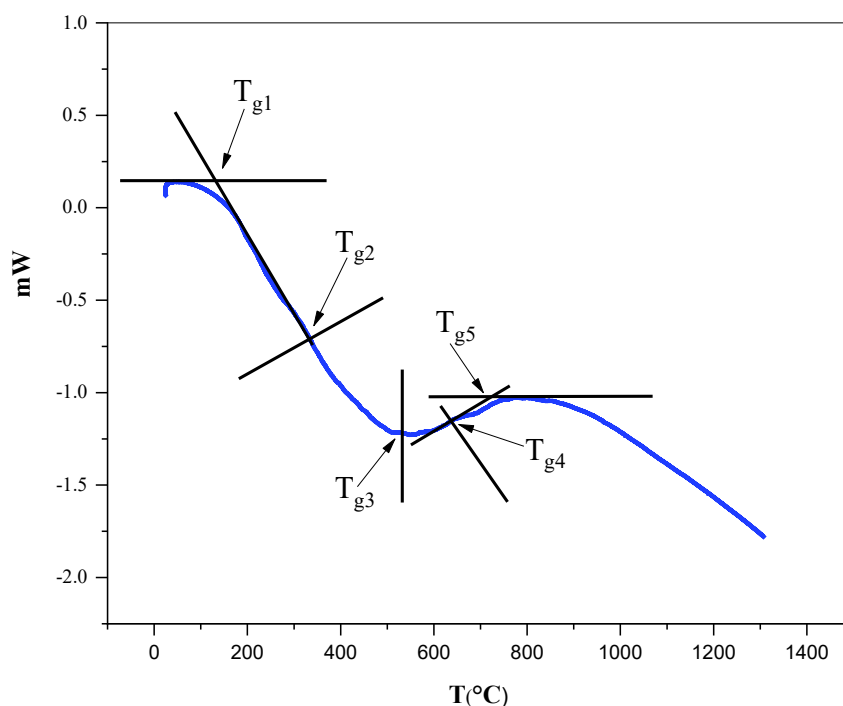
شکل (۳-۶) ترازوی دیجیتال به همراه کیت مکمل جهت اندازه گیری چگالی بصورت مستقیم

فصل ۴ : تحلیل نتایج

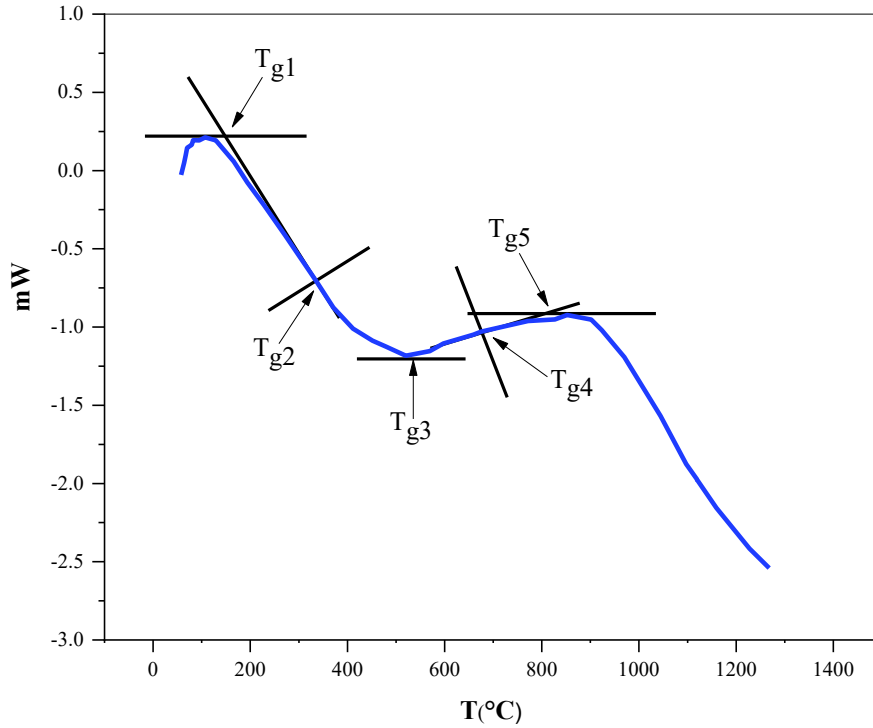
۴-۱- نتایج حاصل از آزمون DSC

از آزمون DSC به صورت عمده جهت اندازه گیری دمای شیشه ای شدن (T_g) استفاده می شود ولی به تبع آن می توان انرژی اکتیواسیون (E_a) و اندیس شکنندگی (m) را نیز در محدوده دمای انتقال شیشه ای شدن محاسبه نمود. این آزمون در سه نرخ حرارتی (β) ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه جهت نمونه پایه (نمونه بدون هیچ گونه افزودنی) و نرخ حرارتی ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه جهت نمونه های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزودنی اکسید روی در محدوده دمایی ۲۴ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد صورت پذیرفت. دلیل اصلی استفاده از نمونه های حاوی اکسید روی آن است که به صورت بهینه بهترین عملکرد را در آزمون های مختلف از خود نشان دادند.

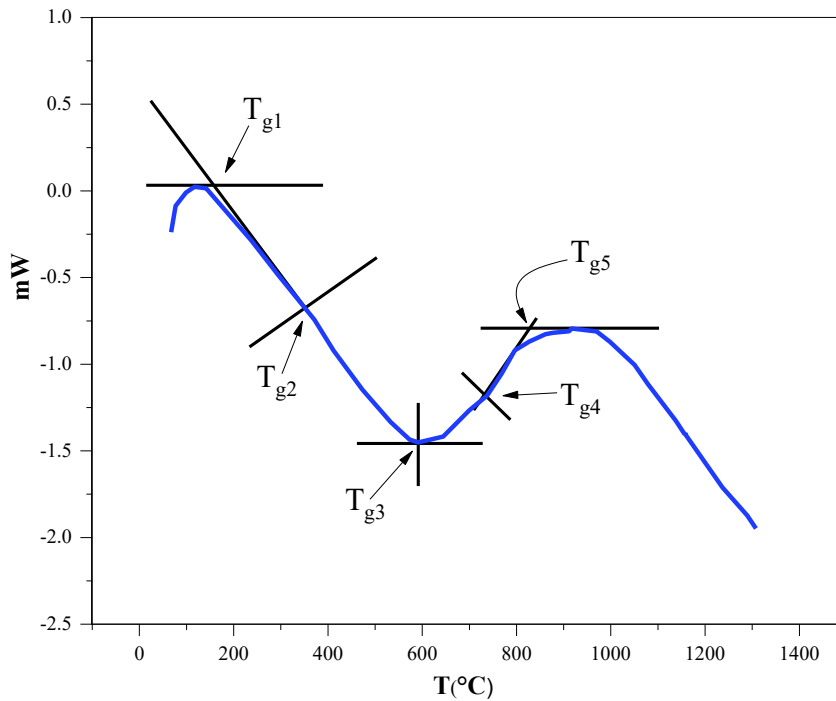
بعد از انجام این آزمون و به دست آمدن نمودارهای ترموگراف مربوط به نمونه های ذکر شده، ابتدا مقادیر T_{g1} ، T_{g2} ، T_{g3} ، T_{g4} و T_{g5} مربوط به نمونه پایه در سه نرخ دمایی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه به صورت رسم مماس و عمود مطابق آنچه که در قسمت پارامترهای کلیدی در بررسی خواص شیشه ذکر گردید مشخص گردید. نتایج حاصل به صورت ترسیمی در شکل های (۴-۱) تا (۴-۳) نشان داده شده است [۲۹].



شکل (۴-۱) نمودار DSC مربوط به نمونه پایه با نرخ حرارتی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ به همراه رسم مماس های مربوط



شکل (۲-۴) نمودار DSC مربوط به نمونه پایه با نرخ حرارتی $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ به همراه رسم مماس های مربوط



شکل (۳-۴) نمودار DSC مربوط به نمونه پایه با نرخ حرارتی $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ به همراه رسم مماس های مربوط

همچنین مقادیر عددی T_{g1} ، T_{g2} ، T_{g3} ، T_{g4} و T_{g5} مربوطه در جدول (۱-۴) ذکر گردیده است.

جدول (۱-۴) مقادیر T_g مربوط به نمونه پایه (SiPb) در سه نرخ حرارتی 10 ، 15 و 20 °C/min

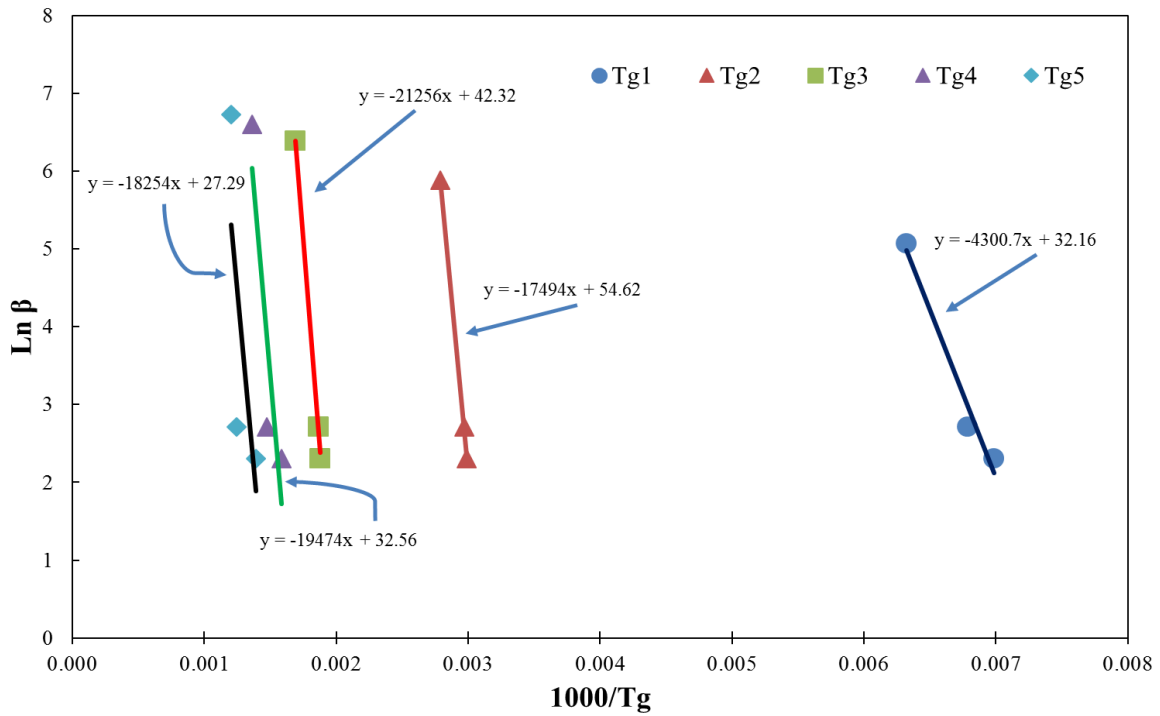
T_{g5}	T_{g4}	T_{g3}	T_{g2}	T_{g1}	نرخ حرارتی (°C/min)
۷۱۸/۶۰۵	۶۳۱/۴۱۸	۵۳۲/۱۹۳	۳۳۴/۶۵۵	۱۶۵/۹۳۷	۱۰
۸۰۲/۱۴۳	۶۷۸/۱۱۲	۵۳۵/۴۷۷	۳۳۶/۶۶۲	۲۰۳/۱۴۶	۱۵
۸۳۰/۳۲۶	۷۳۴/۰۸۵	۵۹۱/۵۴۷	۳۵۸/۹۶۶	۲۱۶/۰۶۳	۲۰

نتایج به دست آمده جهت دمای انتقال در تعامل خوب با آنچه که سلطان و همکارانش [۲۹] انجام دادند می باشد بطوریکه با افزایش میزان نرخ گرمایش مقادیر مختلف T_g افزایش می یابد یعنی با افزایش نرخ گرمایش نمودارها به سمت راست (دمای بیشتر) تغییر مکان می دهند که در تعامل خوب با آنچه سلطان و همکارانش [۲۹] انجام دادند می باشد.

در مرحله بعد جهت محاسبه پارامتر انرژی اکتیواسیون (E_a) در سینتیک دمای انتقال یا شیشه ای شدن می توان از فرمول (۱-۴) (روش کیسینجر) استفاده نمود.

$$[۲۹] \quad \frac{d \ln \beta}{d(1/T_g)} = -\frac{E}{R} \quad (۱-۴)$$

بدین منظور جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون با استفاده از روش کیسینجر ابتدا نمودار لگاریتمی نرخ حرارتی (β) بر حسب $1000/T_g$ با توجه به معادله (۱-۴) رسم گردید. شکل (۴-۴) نمودار حاصل را نشان می دهد [۲۹].



از آن جایی که شیب نمودارها میزان انرژی اکتیواسیون را نشان می دهد بدین وسیله می توان جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون از آنها استفاده نمود. نتایج حاصل از اندازه گیری شیب نمودارها در جدول (۲-۴)

شکل (۴-۴) نمودار Ln β بر حسب Tg/1000 جهت محاسبه انرژی اکتیواسیون بر اساس شیب نمودار

(آمده است که در تعامل خوب با آنچه که سلطان و همکارانش [۲۹] انجام دادند می باشد. همچنین پس از محاسبه انرژی اکتیواسیون با توجه به رابطه (۲-۴) می توان ضریب شکنندگی یا m را محاسبه نمود.

$$[۲۹] \quad m = \frac{E}{(\ln 10)RTg} \quad (۲-۴)$$

جدول (۲-۴) اعداد مربوط به محاسبه انرژی اکتیواسیون و ضریب شکنندگی جهت نمونه پایه در سه نرخ حرارتی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ (°C/min)

m ₅	E ₅	m ₄	E ₄	m ₃	E ₃	m ₂	E ₂	m ₁	E ₁	نرخ
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----

										حرارتی (°C/min)
۱۰/۹۸	۱۵۱	۱۳/۳۲	۱۶۱	۱۷/۲۷	۱۷۶	۲۲/۶۳	۱۴۵	۱۱/۲۵	۳۵/۷۵	۱۰
۹/۸۳۳	۱۵۱	۱۲/۴	۱۶۱	۱۷/۱۷	۱۷۶	۲۲/۵	۱۴۵	۹/۱۹۳	۳۵/۷۵	۱۵
۹/۵	۱۵۱	۱۱/۴۶	۱۶۱	۱۵/۵۴	۱۷۶	۲۱/۱	۱۴۵	۸/۶۴۳	۳۵/۷۵	۲۰

در محاسبه انرژی اکتیواسیون و ضریب شکنندگی با توجه به اینکه در هر ترموگراف DSC پنج T_g قابل به اندازه گیری می باشد ابتدا مقدار میانگین به دست آمده جهت هر T_g محاسبه گردید و در نهایت مقدار میانگین کل این مقادیر جهت شیشه پایه محاسبه و عدد ۱۴/۱۸۶ به دست آمد. از این رو شیشه با ترکیب پایه (بدون افزودنی) در زمره شیشه های سخت قرار می گیرد که رفتار آرنیوسی از خود نشان می دهد. نتایج حاصل از میانگین گیری در جدول (۳-۴) ذکر گردیده است.

جدول (۳-۴) مقدار محاسبه شده ضریب شکنندگی میانگین جهت نمونه پایه سه نرخ حرارتی ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ (°C/min)

میانگین	$m(T_{g5})$	$m(T_{g4})$	$m(T_{g3})$	$m(T_{g2})$	$m(T_{g1})$	m
۱۴/۱۸۶	۱۰/۱۰۳	۱۲/۳۹۳	۱۶/۶۶۲	۲۲/۰۷۷	۹/۶۹۶۶	مقدار

ضریب شکنندگی (m) میزان انحراف وابستگی دمایی ویسکوزیته یک ماده از رفتار آرنیوسی می باشد. ضریب شکنندگی (m) مشخص می کند که با چه سرعتی دینامیک یک ماده هنگامی که به سمت محدوده تغییرات شیشه ای حرکت می کند می شود. در واقع ضریب شکنندگی (m) به این معناست که وقتی ماده سرد می شود با چه سرعتی ویسکوزیته خود را از دست می دهد [۲۹ ۴۷].

باید توجه نمود که با توجه به مقدار پایین ضریب شکنندگی در مورد نمونه پایه در هنگام سرمایش با محدوده انتقال دمایی پهن در ترموگراف DSC مواجه هستیم و شیشه مورد مطالعه با سرعت کمتری ویسکوزیته خود را از دست داده و زمان بیشتری جهت گذر از محدوده انتقال شیشه ای نسبت به شیشه های با ضریب شکنندگی بالا سپری می کند.

همچنین در این مطالعه مقدار دمای انتقال جهت نمونه های حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مولی افزودنی اکسید روی به نمونه پایه با توجه به ترموگراف DSC این نمونه ها که در نرخ دمایی ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه مورد آزمایش قرار گرفته بود اندازه گیری شد که نتایج مربوط به آن در جدول (۴-۴) آمده است.

جدول (۴-۴) مقادیر دمای انتقال جهت شیشه با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مولی افزودنی اکسید روی

نمونه	نمونه با ۵ درصد مولی افزودنی اکسید روی (SiPbZn5)	نمونه با ۱۰ درصد مولی افزودنی اکسید روی (SiPbZn10)	نمونه با ۱۵ درصد مولی افزودنی اکسید روی (SiPbZn15)
دمای انتقال (°C)	۷۳	۸۹	۱۲۵

این نتایج نشان می دهد با توجه به افزایش مقدار اکسید روی از ۵ تا ۱۵ درصد مولی، نمونه شیشه با درصد مولی بالاتر در دمای بالاتر تشکیل می شود که با توجه به افزایش مقدار اکسید روی و امکان تشکیل بیشتر چهار وجهی های سیلیکات سربی منطقی به نظر می رسد و همچنین باید در مرحله ساخت نمونه ها به آن توجه نمود تا ساختاری درحد امکان آمورف تشکیل گردد.

۴-۲ - نتایج حاصل از اندازه گیری چگالی نمونه ها

اندازه گیری چگالی شیشه های سنتز شده با استفاده از اصل ارشمیدس و با استفاده از کیت مکمل ترازوی دیجیتال Precisa انجام گرفت. با استفاده از این کیت که بر روی ترازوی اصلی قابل نصب است چگالی نمونه ها بصورت مستقیم قابل به اندازه گیری است. در جدول (۴-۵) نتایج حاصل از اندازه گیری چگالی نمونه های ساخته شده ذکر گردیده است.

جدول (۴-۵) نتایج حاصل از اندازه گیری چگالی نمونه ها

شماره نمونه ها	کدبندی	چگالی (g/cm ³)
۱	SiPb	۵/۱۸۴

۵/۱۹۶	SiPbZn5	۲
۵/۲۷۴	SiPbZn10	۳
۵/۲۸۲	SiPbZn15	۴
۵/۱۱۶	SiPbCa5	۵
۵/۰۱۰	SiPbCa10	۶
۴/۹۵۴	SiPbB5	۷
۴/۴۷۹	SiPbB10	۸
۵/۲۹۳	SiPbBa5	۹
۵/۳۱۵	SiPbBa10	۱۰
۵/۳۴۲	SiPbBa15	۱۱

همچنین در جدول (۴-۶) جرم مولکولی و چگالی اکسید های افزودنی به نمونه پایه (نمونه حاوی اکسید سرب و اکسید سیلیسیم و بدون اکسید افزودنی) ذکر گردیده است. با توجه به اختلاف زیاد جرم مولکولی و چگالی اکسید کلسیم و اکسید بور با جرم مولکولی و چگالی اکسید سرب که دارای چگالی و جرم مولکولی بالاست و اینکه این اکسید ها جایگزین اکسید سرب می شوند کاهش چگالی در نمونه های حاوی اکسید کلسیم و اکسید بور منطقی به نظر می رسد.

جدول (۴-۶) جرم مولکولی و چگالی اکسید های افزودنی در مقایسه با اکسید سرب

چگالی (g/cm^3)	جرم مولکولی (g/mol)	اکسید افزودنی
۹/۳۸	۲۳۹/۲	PbO ₂

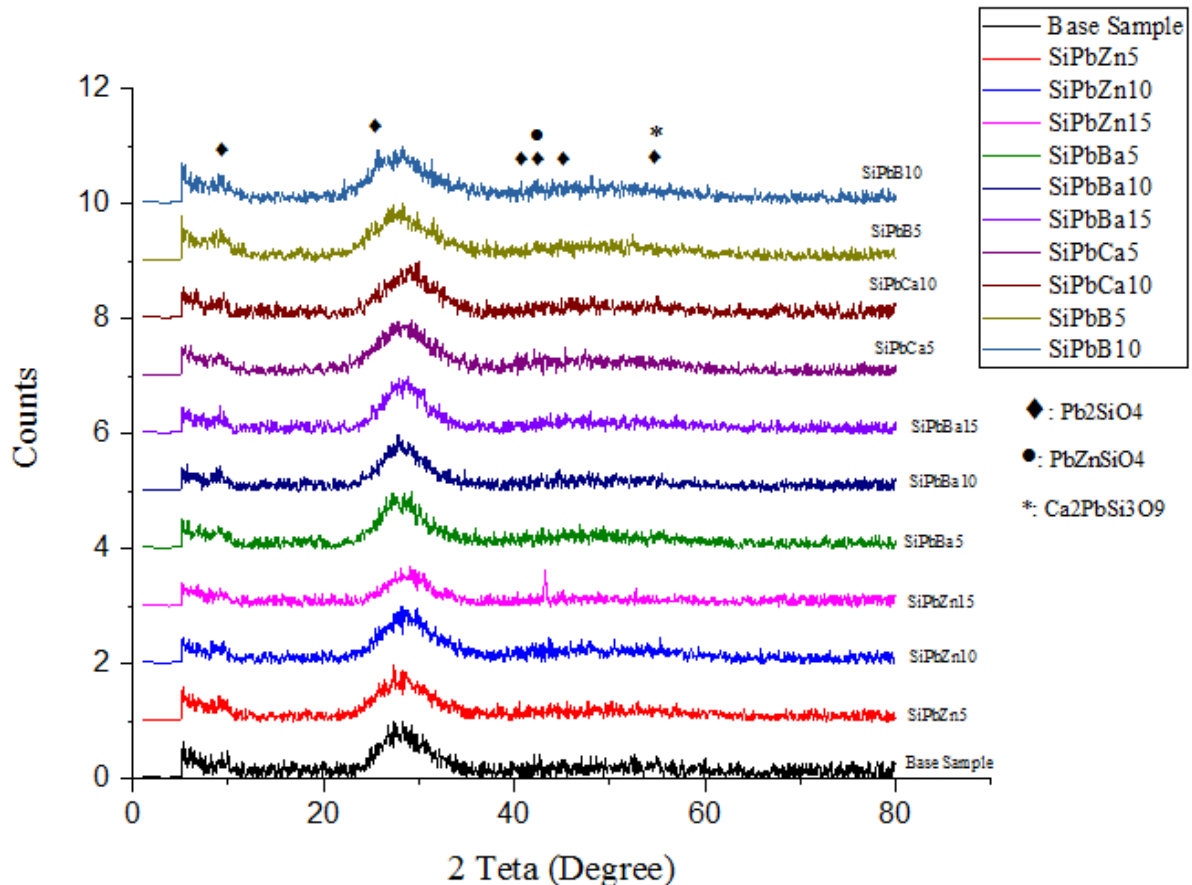
۵/۷۲	۱۵۳/۳۳	BaO
۵/۶۱	۸۱/۳۸	ZnO
۳/۳۴	۵۶	CaO
۲/۵۵	۶۹/۶۱	B ₂ O ₃

با توجه به جدول (۴-۵) و (۴-۶) می توان این گونه استنباط نمود که اتمهای اکسید بور و اکسید کلسیم نسبت به اکسید باریوم و اکسید روی ساختار بین نشینی بیشتری در شبکه ایجاد و موجب انبساط ساختار کریستالی می شوند که این امر باعث کاهش چگالی در نمونه های ساخته شده می شوند که با نتایج عملی حاصل از اندازه گیری چگالی با کیت مکمل ترازوی دیجیتالی در توافق می باشد.

۴-۳ - نتایج حاصل از آنالیز فازی

شکل (۴-۵) الگوی پراش پرتو ایکس نمونه های شیشه تهیه شده با درصدهای مختلف اکسید های افزودنی مختلف را نشان می دهد که با شیشه مبنا بدون اکسید افزودنی مقایسه شده است. همان طور که در شکل (۴-۵) مشاهده می شود با افزایش درصد افزودنی ها، تمامی الگوها در قسمت بیشینه پهن نسبت به نمونه

شیشه مبنا جابجایی کمی به سمت راست دارند که بیشترین جابجایی بیشینه مربوط به نمونه SiPbZn15 می باشد که این جابجایی بیشینه ها نشان از تشکیل مقدار کمی محلول جامد در این نمونه شیشه است.



شکل (۴-۵) الگوی پراش اشعه ایکس تمامی نمونه ها

همچنین همانطور که در شکل (۴-۵) مشاهده می شود با افزایش اکسید روی میزان فاز $PbZnSiO_4$ بیشتر شده و بیشینه کوتاهی در الگوی مربوط به نمونه حاوی ۱۵ درصد وزنی اکسید روی مشاهده می شود که این رفتار نشان از افزایش میزان فاز مذکور در نمونه و مقدار کمی بلورینگی در نمونه SiPbZn15 است. در بین سایر افزودنی ها نیز صرفاً افزودنی اکسید کلسیم تغییرات کمی را در نمونه های حاوی افزودنی اکسید کلسیم نسبت به نمونه شیشه مبنا بدون افزودنی ایجاد کرده است که نشان از تشکیل محلول جامد $Ca_2PbSi_3O_9$ است.

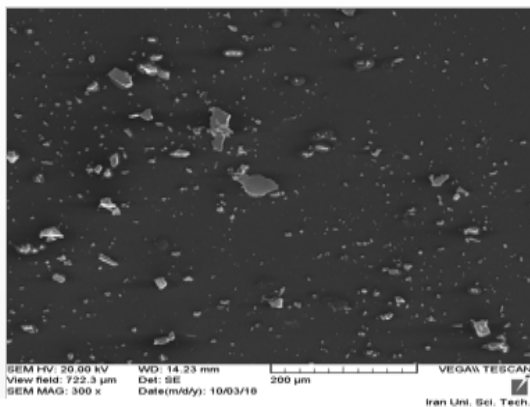
در نتیجه با توجه به آنچه که ذکر گردید به طور کلی می توان گفت که شدت و پهنای بیشینه مربوط به نمودار پراش اشعه ایکس نمونه ها نشان دهنده ذات و طبیعت کلی نمونه ها بصورت آمورف است که در توافق خوب با نتایج حاصل از الگوی پراش اشعه ایکس آتیف مصعد علی و همکارانش [۱۸] است. تنها

بیشینه مهم در حدود 25° تا 35° قابل به مشاهده است که احتمالاً به دلیل بی نظمی پر دامنه و تغییرات در فاصله بین اتمی و غیر یکنواختی اتمها در ساختار شیشه است بطوریکه بی نظمی پر دامنه خود نشان دهنده ساختار آمورف است [۱۸ ۲۵].

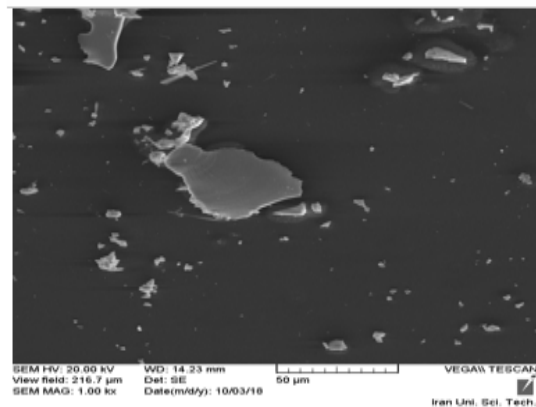
۴-۴ - نتایج حاصل از آنالیز ریزساختاری نمونه ها

جهت بررسی ریزساختار شیشه های جاذب امواج مغناطیسی تهیه شده و مقایسه آنها با نمونه شیشه مبنا، پس از آماده سازی نمونه شامل پودر کردن و آسیاب کردن شیشه ساخته شده و سپس عبور از الک با مش ۱۷۰ و عمل التراسونیک با اتانول به مدت ۱۵ دقیقه و با اعمال روی یک نوار شیشه ای و خشک شدن نمونه ها، پوشش دهی با روکش طلا روی نمونه ها صورت گرفت و در نهایت ریزساختار آنها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی VEGA// TESCAN با دقت بررسی گردید.

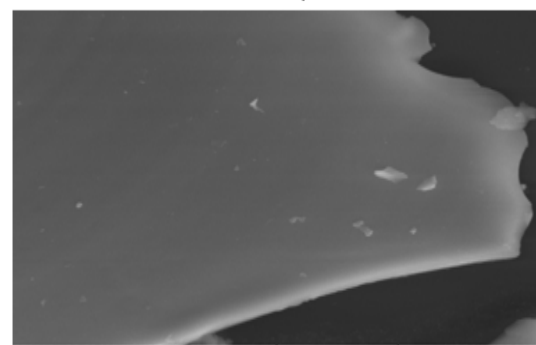
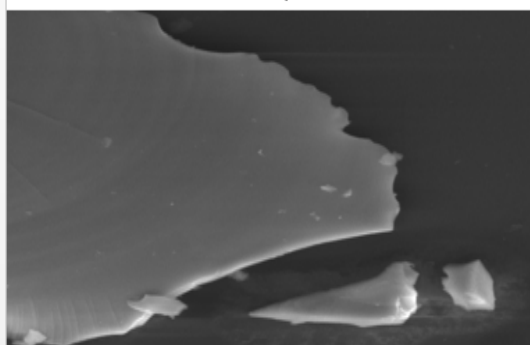
در شکل های (۴-۶) تا (۴-۲۵) تصاویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه شیشه های ساخته شده حاوی ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ حاوی اکسید های افزودنی در بزرگ نمایی های ۳۰۰ برابر و ۱۰۰۰ برابر، ۵۰۰۰ برابر و ۱۰۰۰۰ برابر با ولتاژ ۲۰KV به همراه تصاویر EDX و MAP مربوط به هر نمونه نمایش داده شده است. تصاویر EDX و MAP مربوط به نقاط سفید رنگ قابل مشاهده در تصاویر ریز ساختاری است.



الف) 300 x

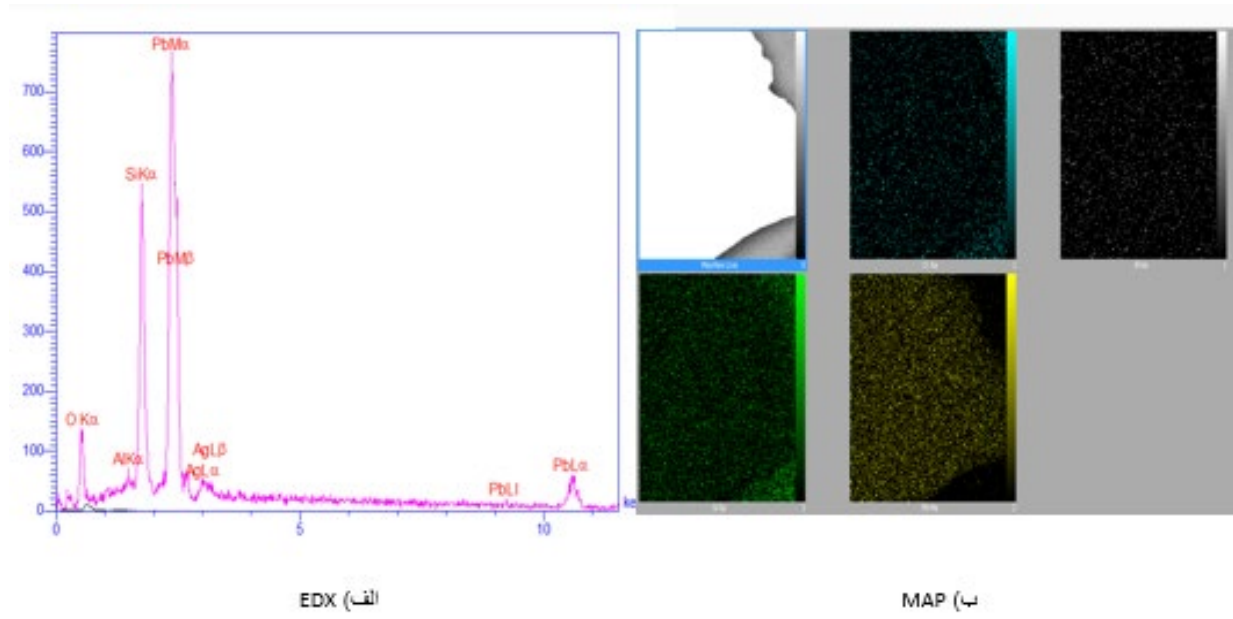


ب) 1000 x

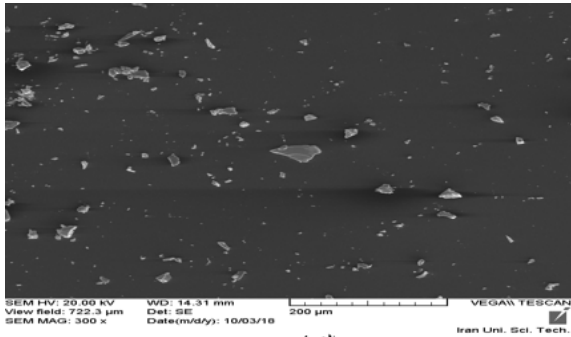


شکل (۴-۶) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbB5 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج)

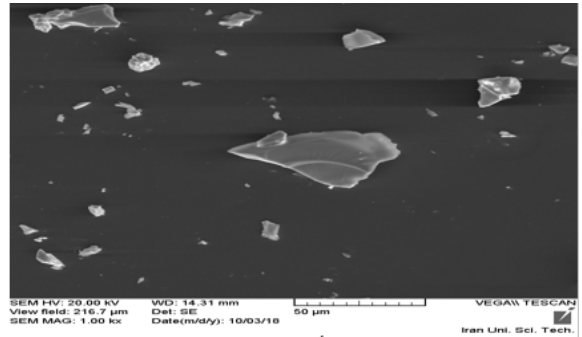
50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV



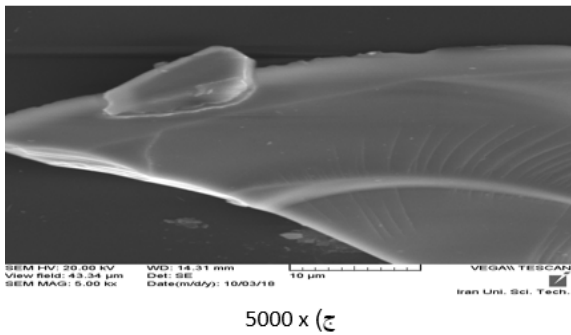
شکل (۷-۴) نمونه SiPbB5 (الف EDX ب) MAP



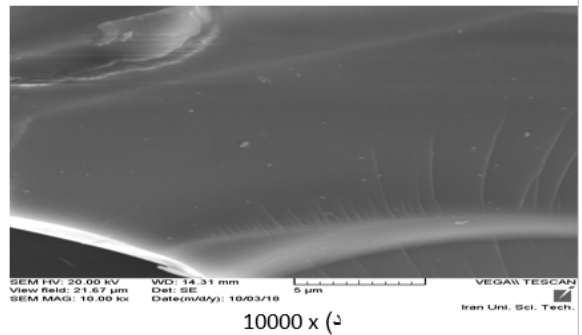
الف) 300 x



ب) 1000 x

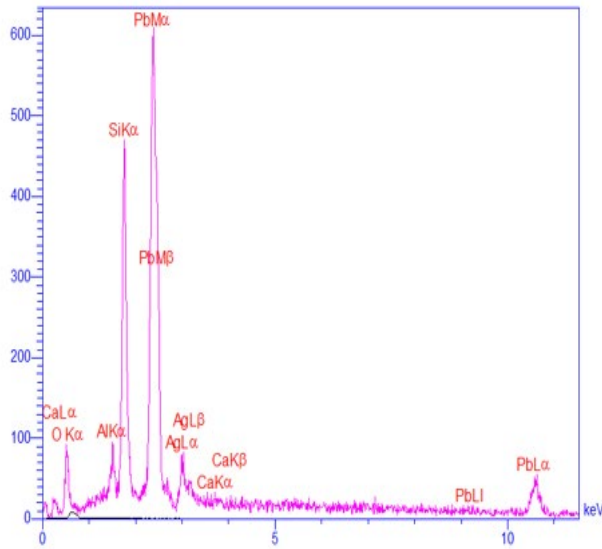


ج) 5000 x

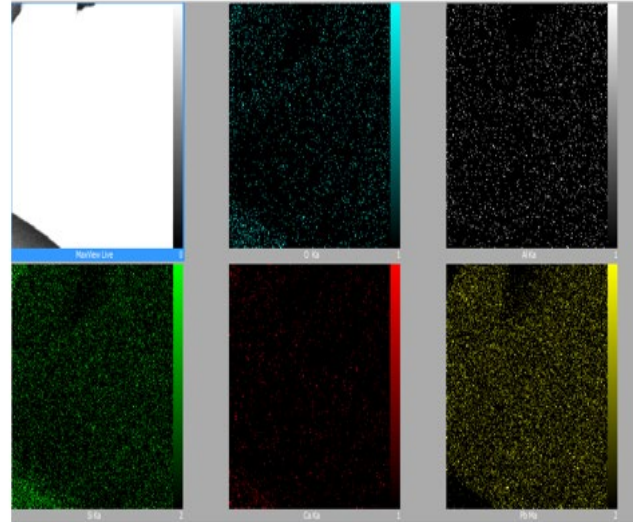


د) 10000 x

شکل (۴-۱) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbB10 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV

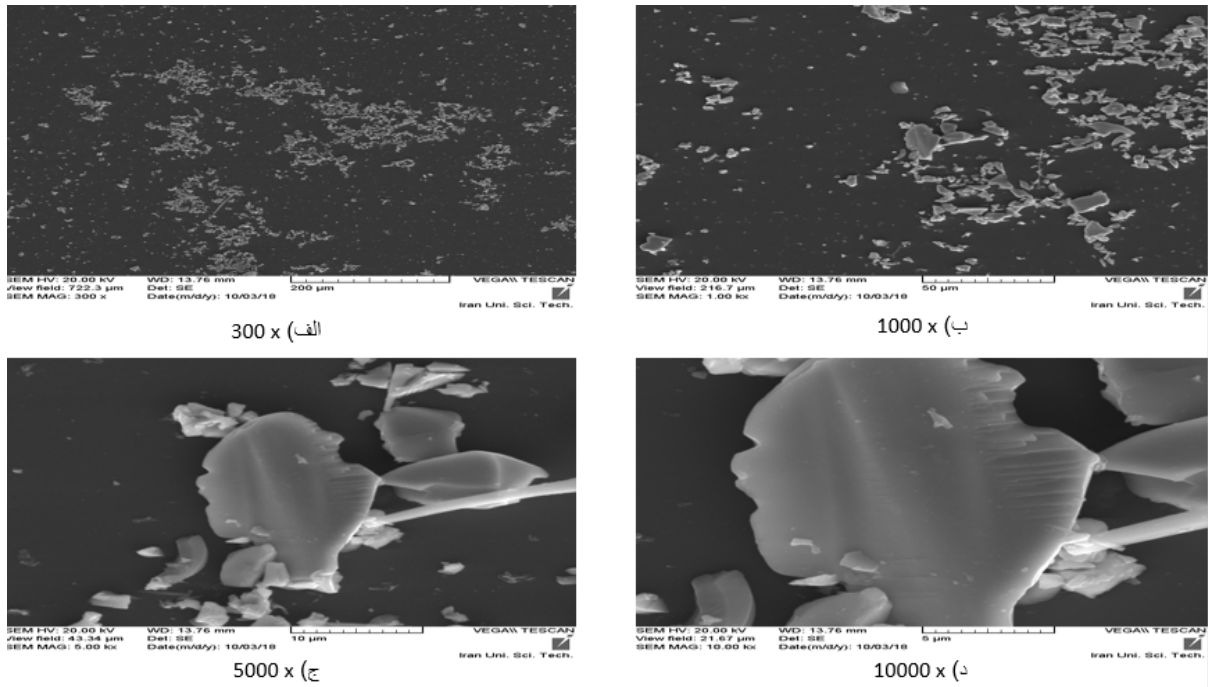


الف) EDX

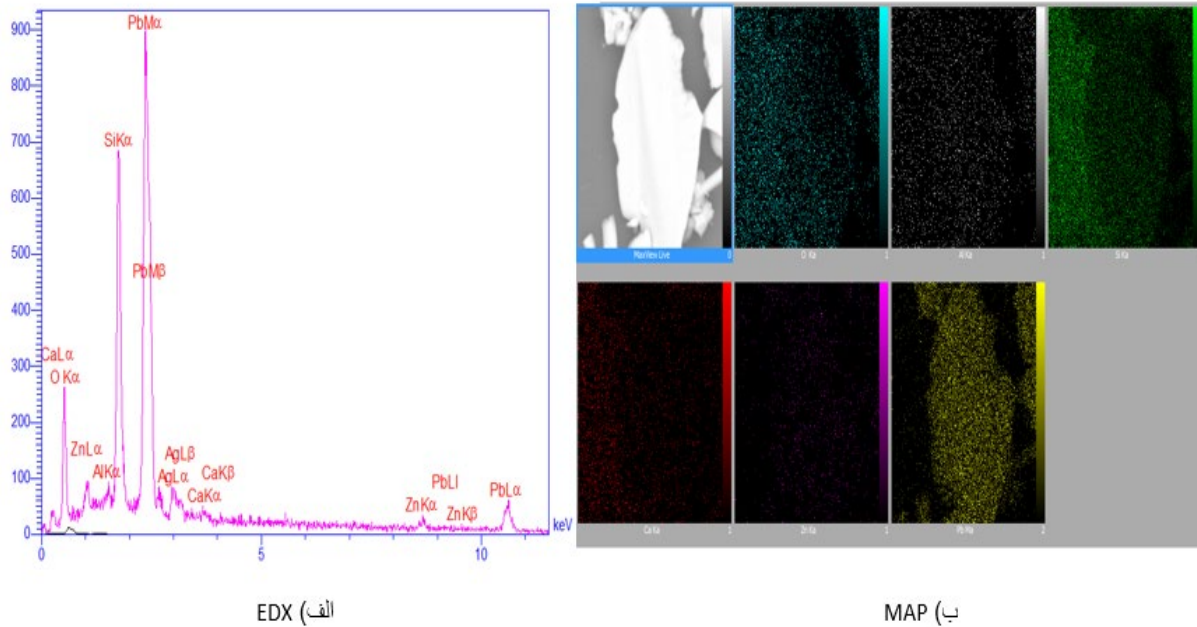


ب) MAP

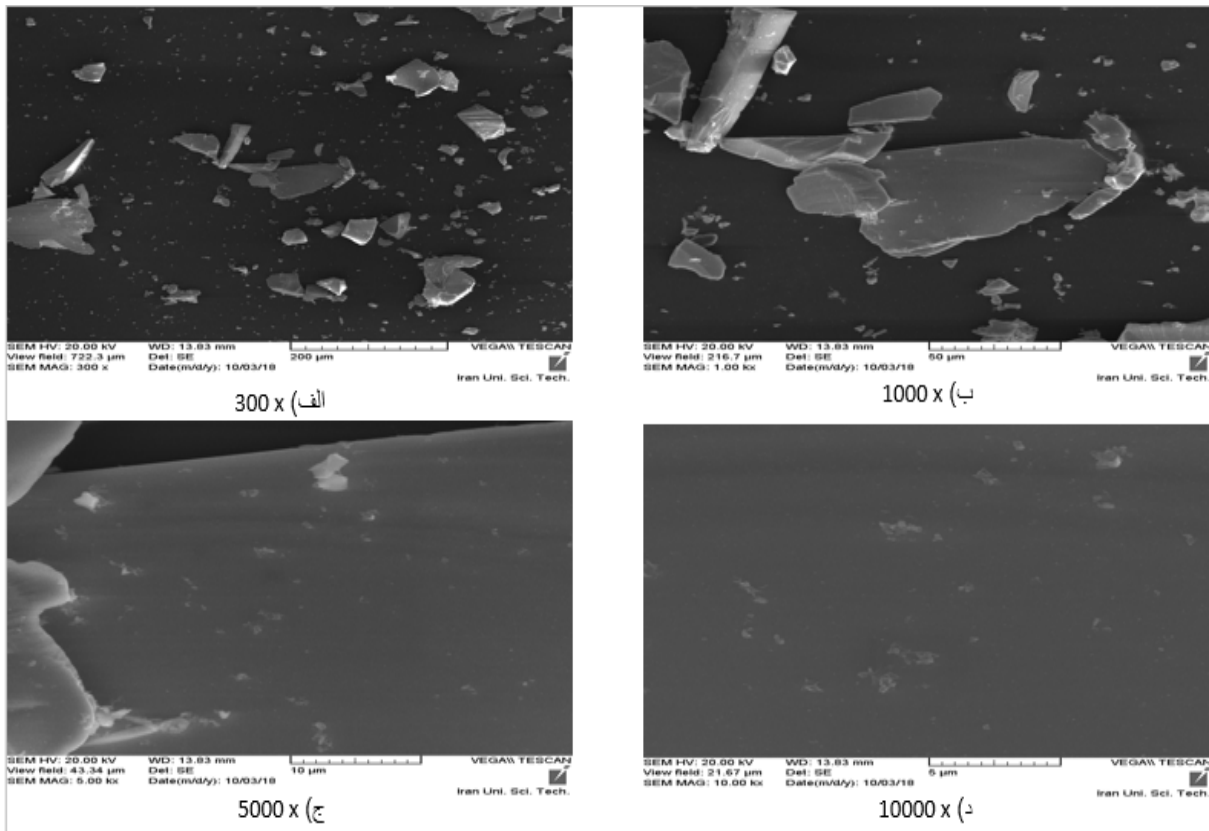
شکل (۴-۹) نمونه SiPbB10 الف) EDX ب) MAP



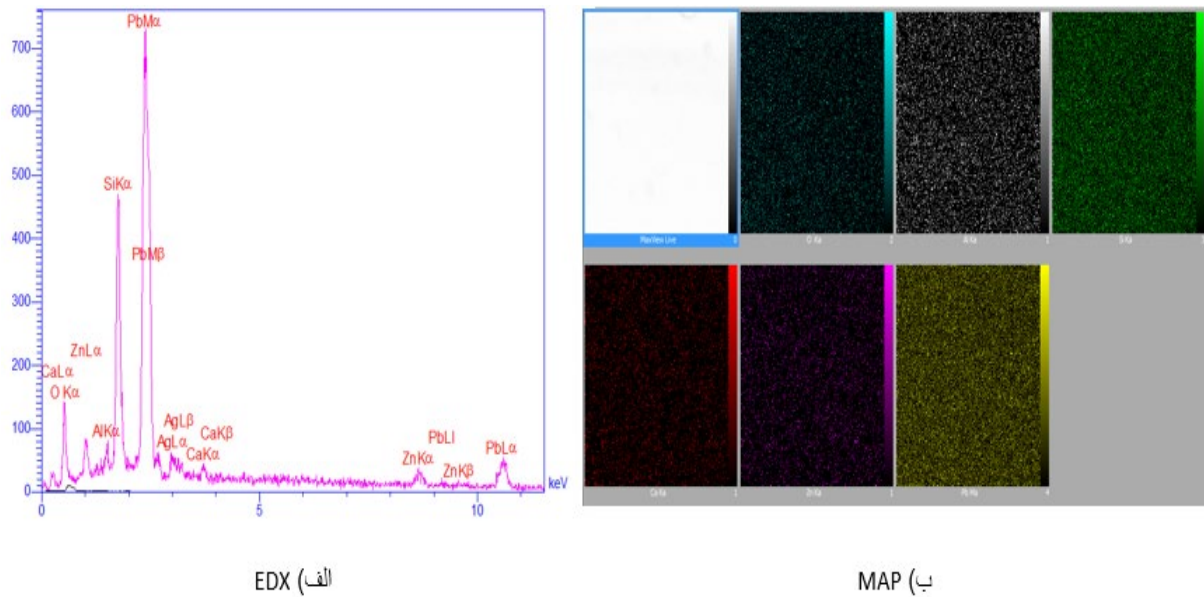
شکل (۴-۱۰) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه $SiPbZn_5$ در بزرگ‌نمایی‌های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 5000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV



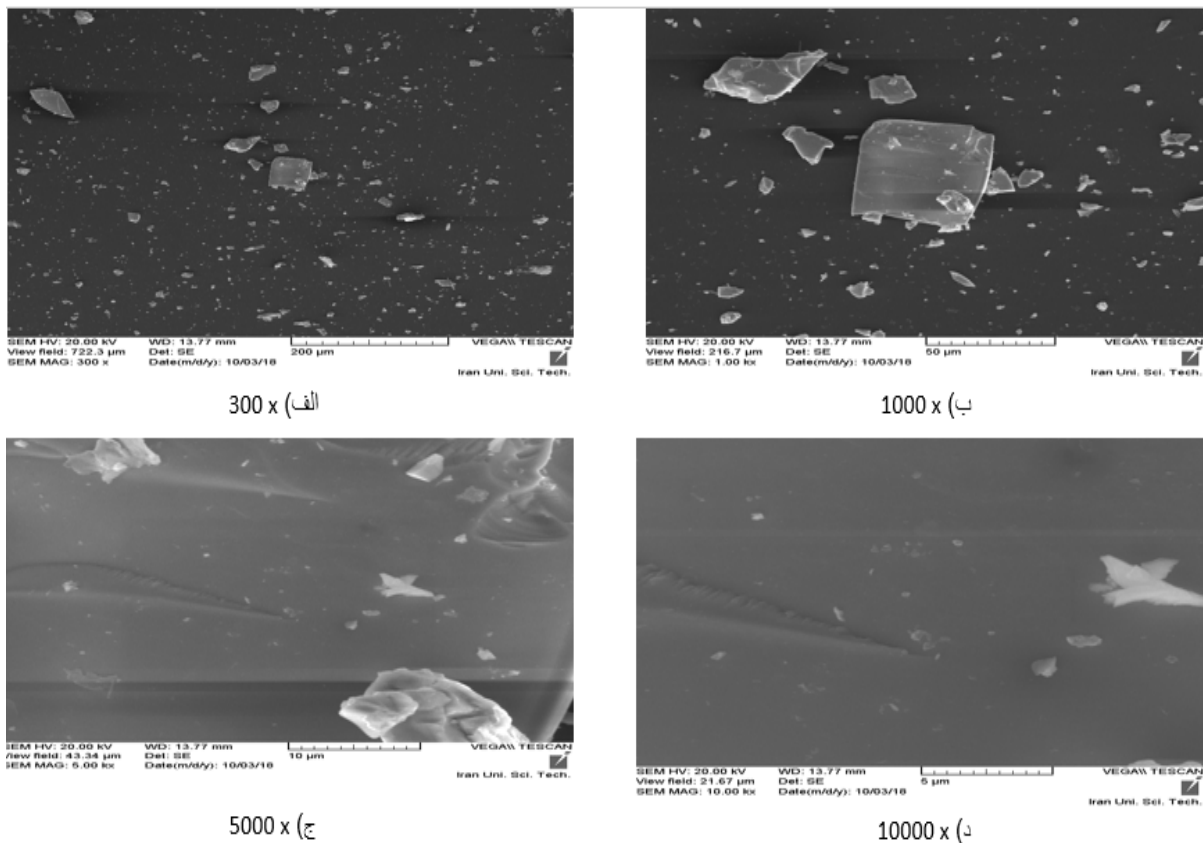
شکل (۴-۱۱) نمونه $SiPbZn_5$ الف) EDX ب) MAP



شکل (۴-۱۲) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbZn10 در بزرگ‌نمایی‌های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV

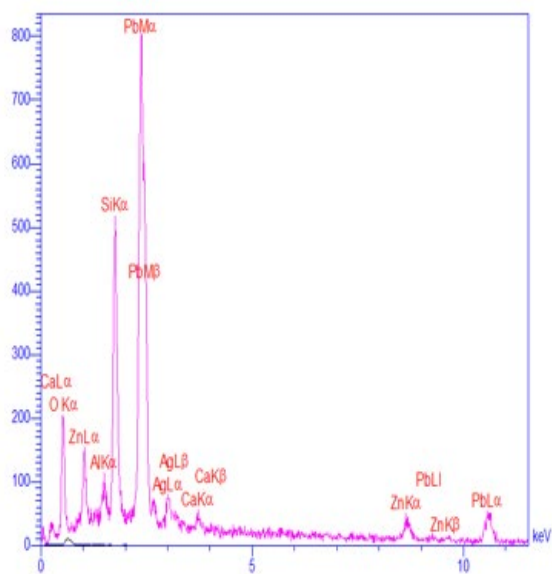


شکل (۴-۱۳) نمونه SiPbZn10 (الف EDX (ب MAP

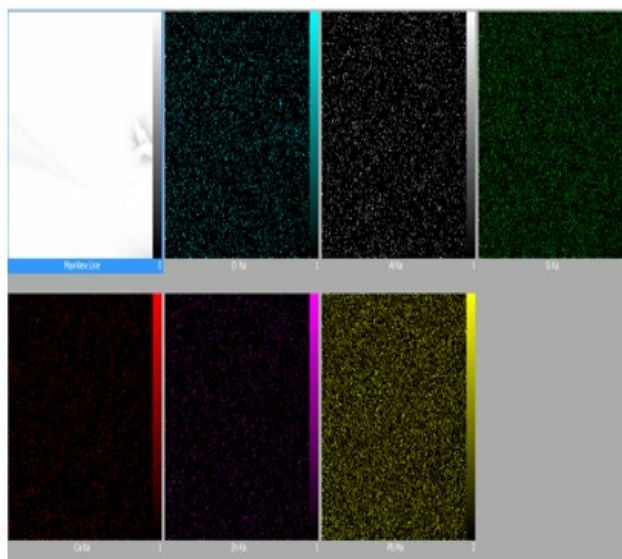


شکل (۴-۱۴) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbZn15 در بزرگنمایی های: (الف 300x ، (ب 10000x ، (ج 5000x و (د 10000x با ولتاژ 20 KV

شکل (۴-۱۵) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbBa_5 در بزرگ‌نمایی‌های: الف) $300\times$ ، ب) $10000\times$ ، ج) $50000\times$ و د) $10000\times$ با ولتاژ 20 KV

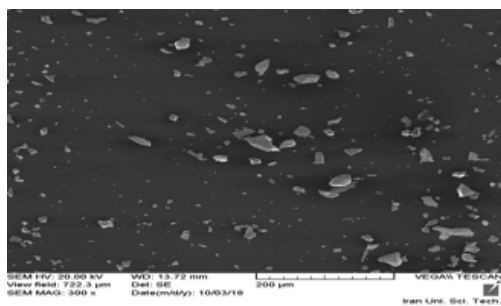


الف) EDX

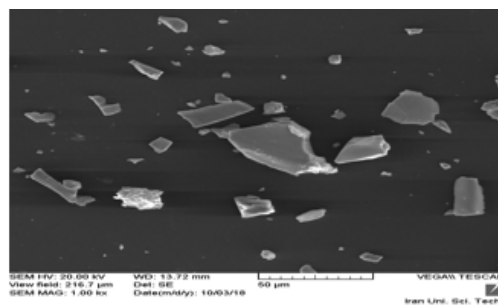


ب) MAP

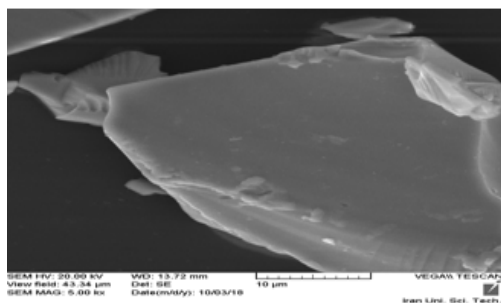
شکل (۴-۱۶) نمونه SiPbZn15 (الف) EDX (ب) MAP



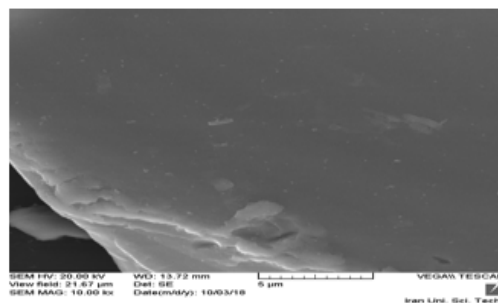
الف) 300 x



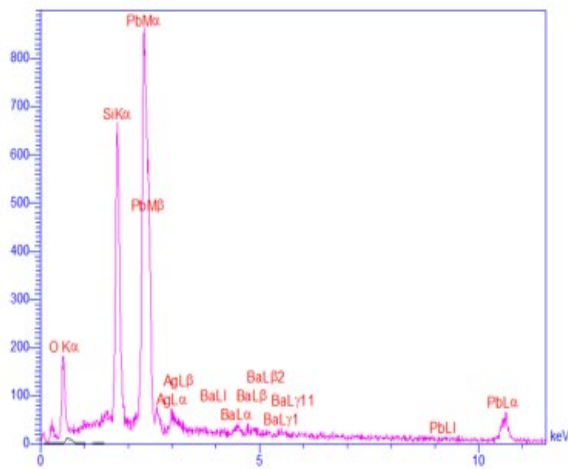
ب) 1000 x



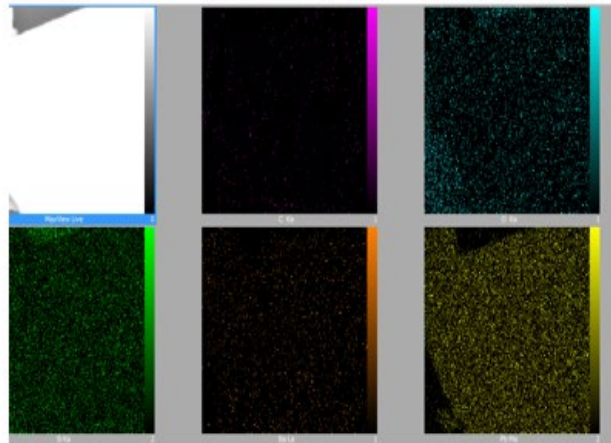
ج) 5000 x



د) 10000 x

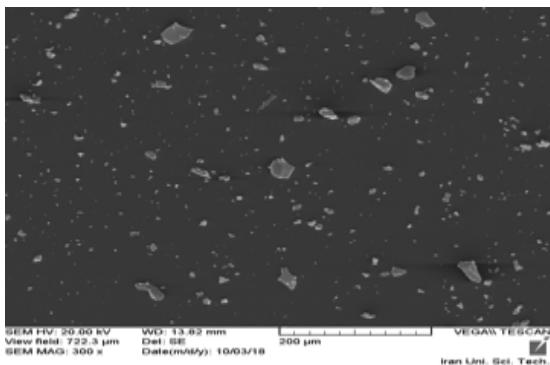


الف) EDX

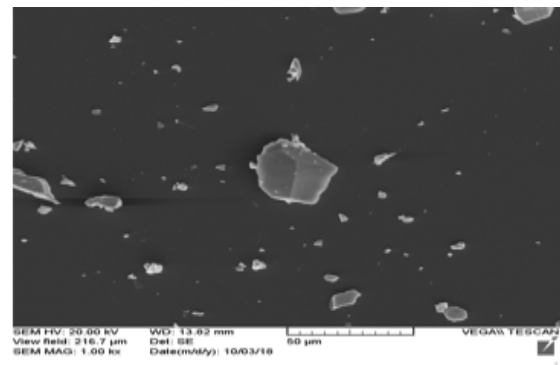


ب) MAP

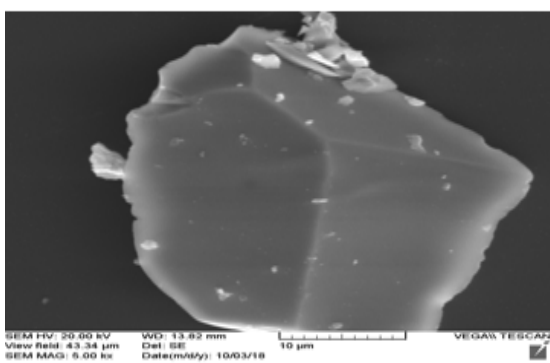
شکل (۴-۱۷) نمونه SiPbBa5 (الف EDX ب) MAP



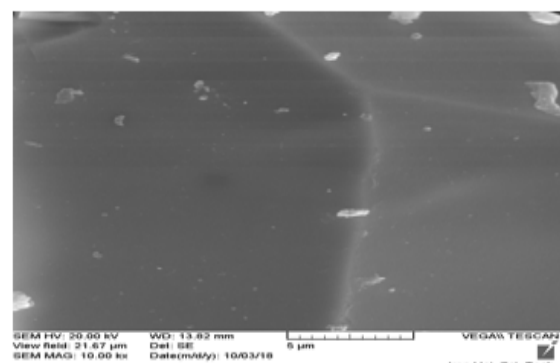
الف) 300 x



ب) 1000 x

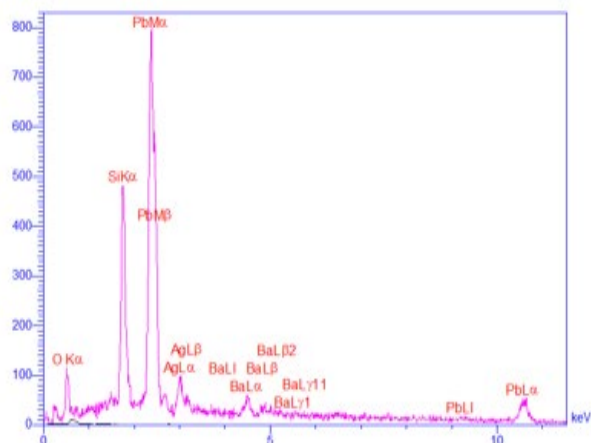


ج) 5000 x

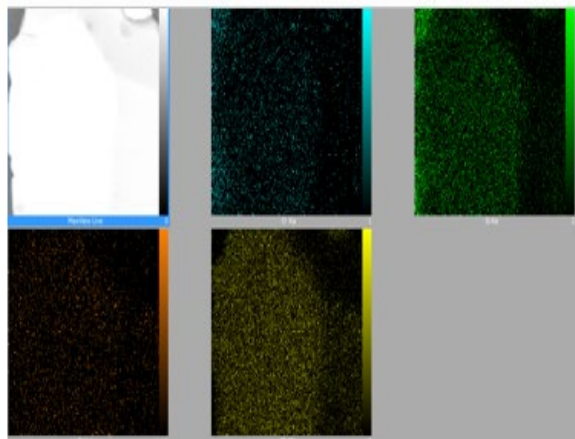


د) 10000 x

شکل (۴-۱۸) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbBa10 در بزرگ‌نمایی‌های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV

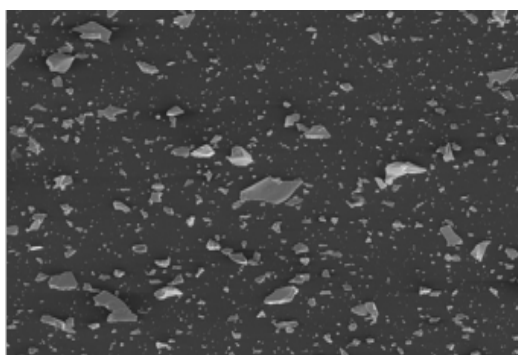


الف) EDX

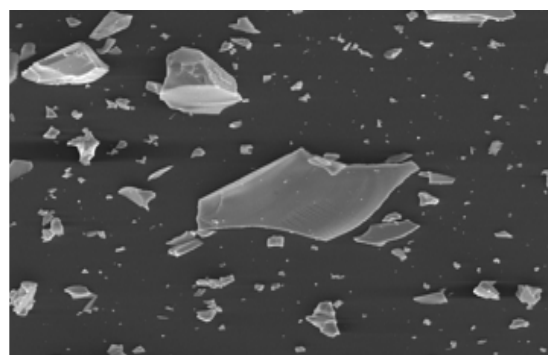


ب) MAP

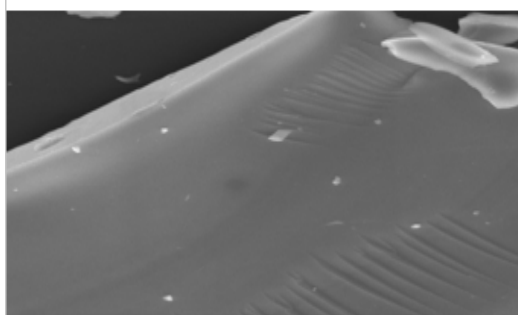
شکل (۴-۱۹) نمونه SiPbBa10 (الف) EDX (ب) MAP



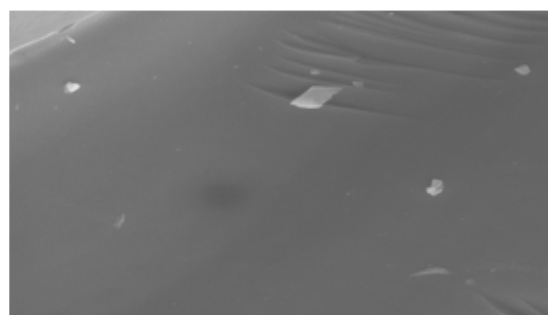
الف) 300 x



ب) 1000 x

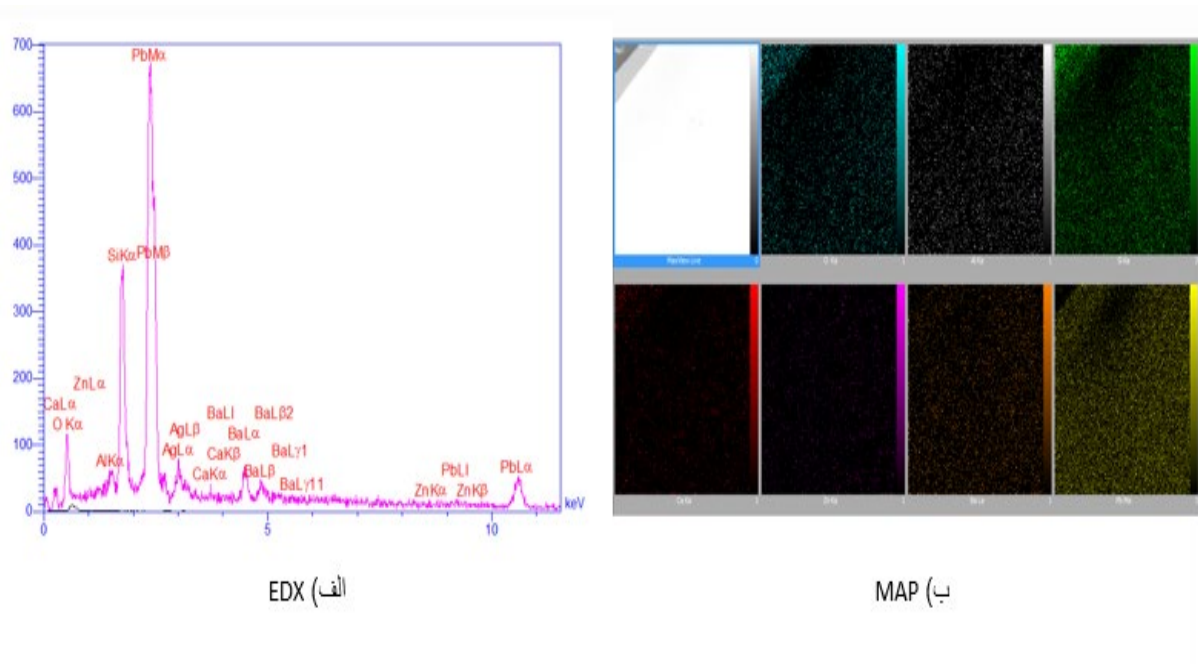


ج) 5000 x

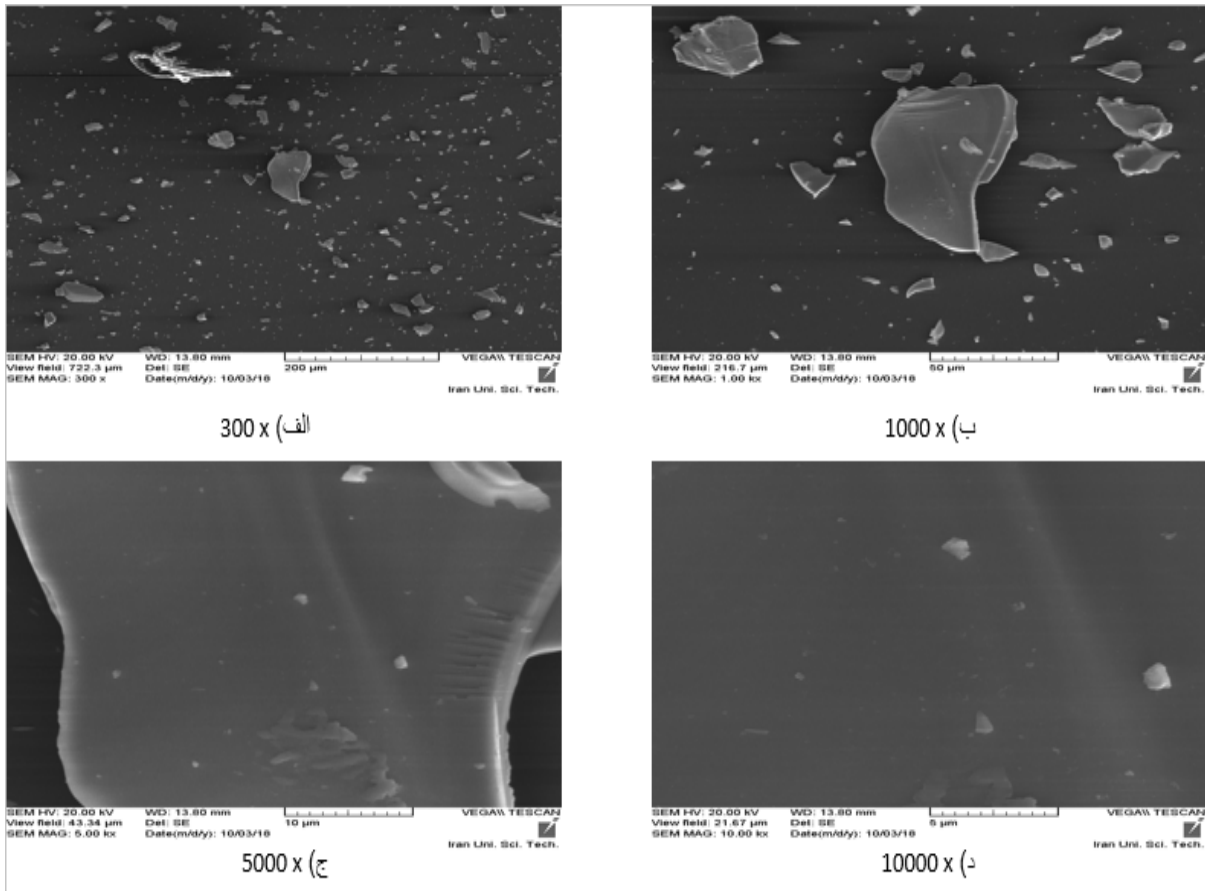


د) 10000 x

شکل (۴-۲۰) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbBa15 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 5000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV

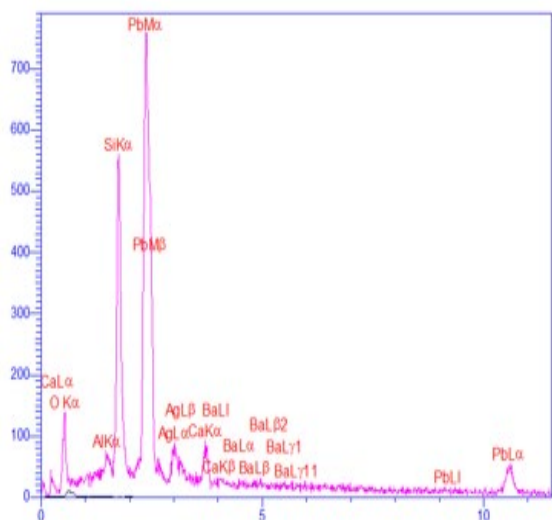


شکل (۴-۲۱) نمونه SiPbBa15 (الف) EDX (ب) MAP

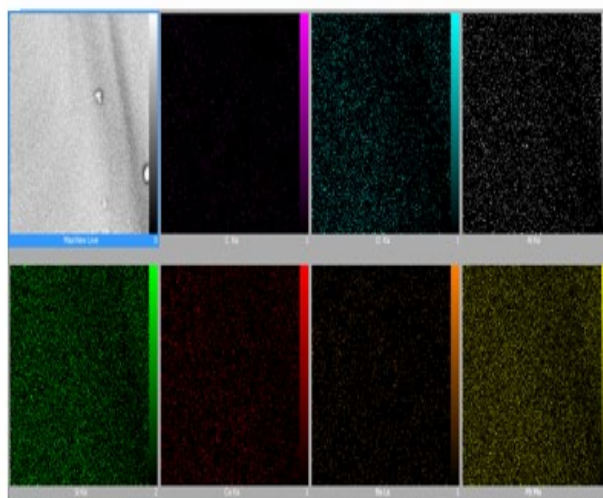


شکل (۴-۲۲) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbCa5 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج)

50000x ، د) 10000x با ولتاژ 20 KV

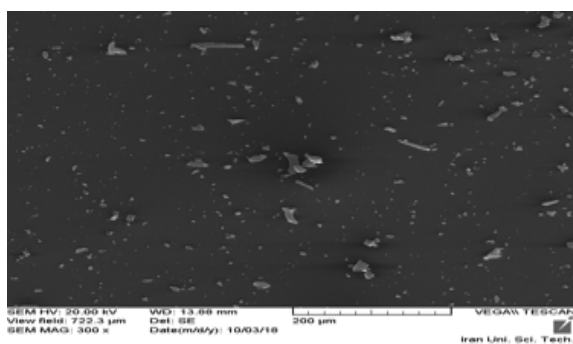


الف) EDX

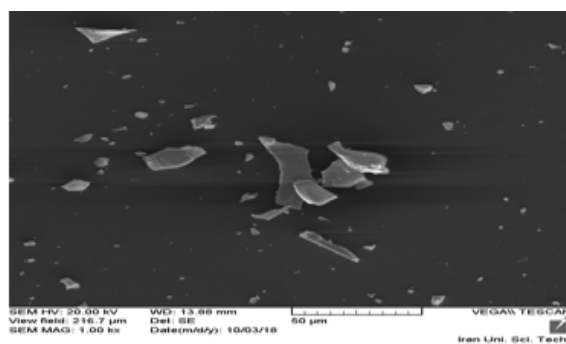


ب) MAP

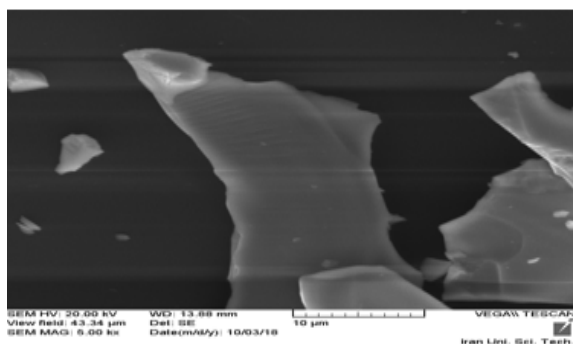
شکل (۴-۲۳) نمونه SiPbCa5 (الف) EDX (ب) MAP



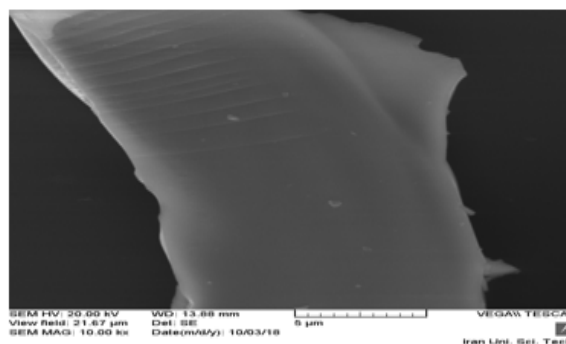
الف) 300 x



ب) 1000 x

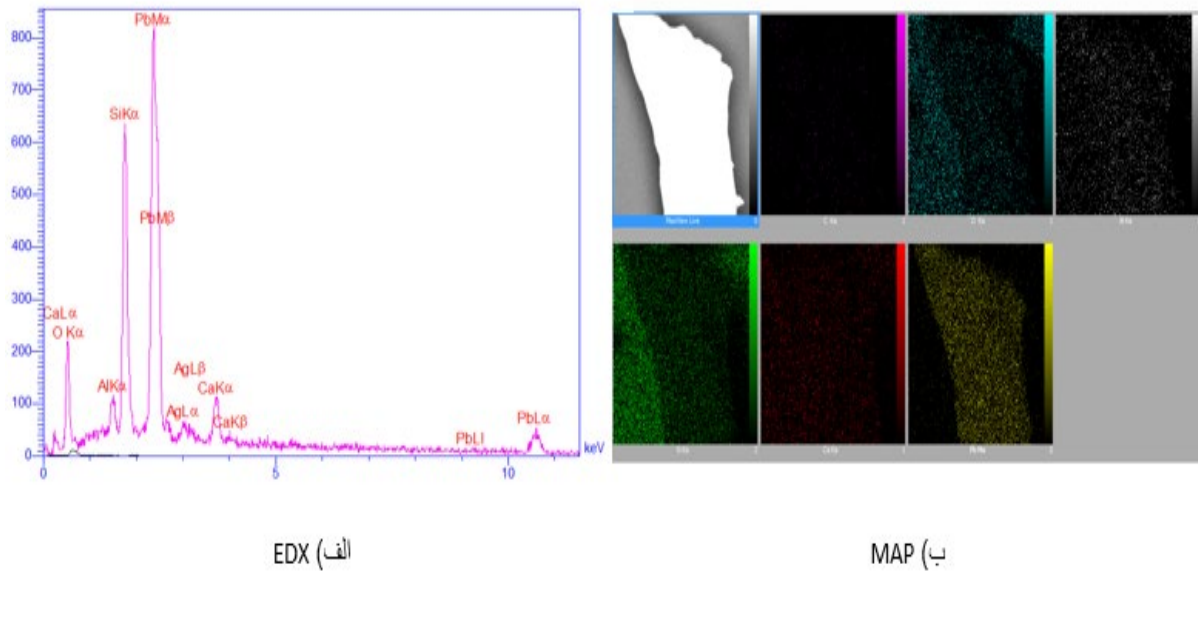


ج) 5000 x



د) 10000 x

شکل (۴-۲۴) تصویر ریزساختاری الکترون های ثانویه نمونه SiPbCa10 در بزرگ نمایی های: الف) 300x ، ب) 10000x ، ج) 50000x و د) 10000x با ولتاژ 20 KV



شکل (۲۵-۴) نمونه SiPbCa10 الف EDX (ب) MAP

با بررسی آزمون های EDX و MAP نمونه ها مشخص نمودارهای EDX از لحاظ مقدار عناصر موجود مشاهده می گردد که مناطق خاکستری و تیره رنگ (بر حسب متوسط وزن اتمی عناصر موجود در این مناطق) احتمالاً مربوط به فاز شیشه آمورف است و مناطق روشن و سفید رنگ موجود در این تصاویر بر حسب متوسط وزن اتمی عناصر موجود در این مناطق احتمالاً مربوط به فاز سرب سیلیکاتی (Pb_2SiO_4) است که در توافق خوب با نتایج XRD نمونه ها (که تنها یک بیشینه پهن در آنها قابل مشاهده است) است. همچنین با توجه به نمودار پراش اشعه ایکس نمونه ها و تصاویر MAP می توان این گونه استنباط نمود که عناصر اکسیدهای افزودنی در مواضع خالی ساختار اورترومبیک فاز سرب سیلیکاتی (Pb_2SiO_4) قرار گرفته اند.

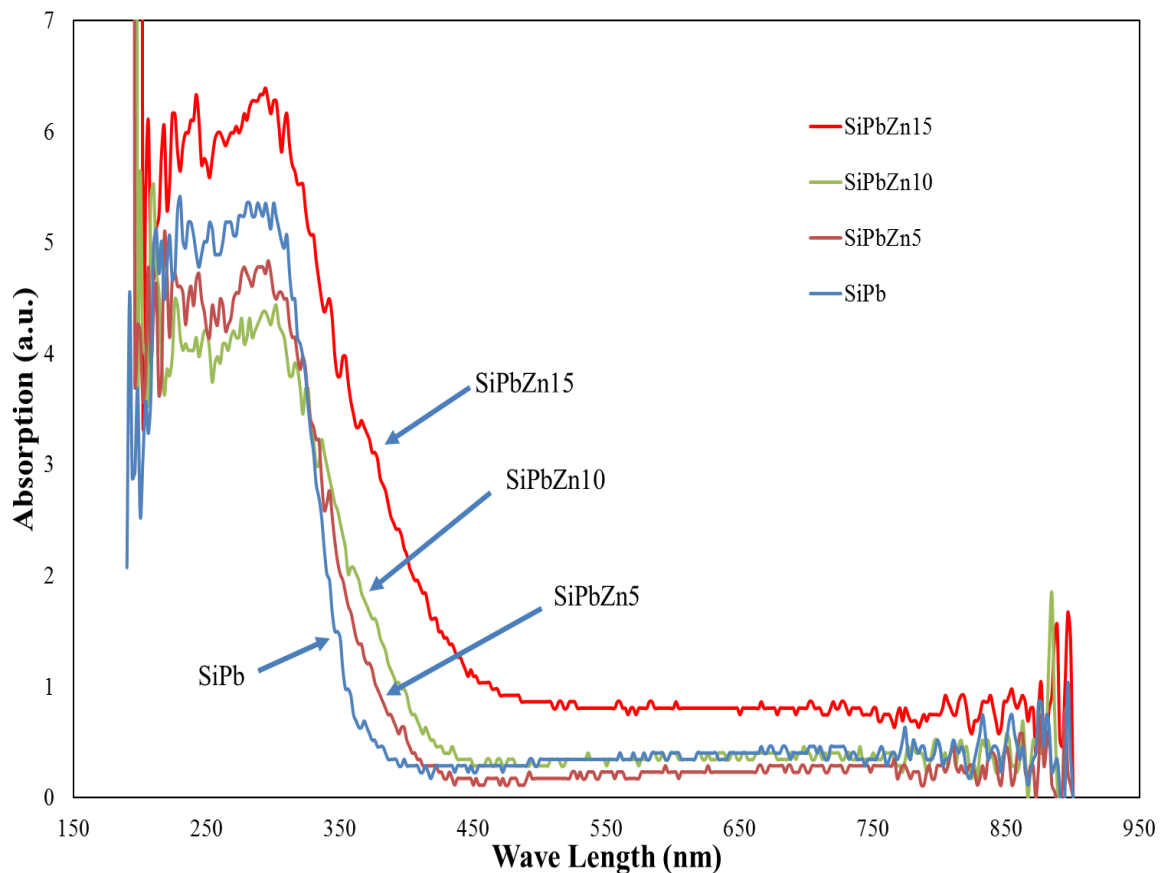
تصاویر ریز ساختاری الکترون های ثانویه از نمونه های ساخته شده دانه های فاز سرب سیلیکاتی (Pb_2SiO_4) با مورفولوژی جزیره ای شکل را نشان می دهد که در زمینه شیشه آمورف پخش شده اند.

۴-۵- نتایج حاصل از آزمون اندازه گیری طیف سنجی میزان بازتابش نفوذی DRS(UV-VIS)

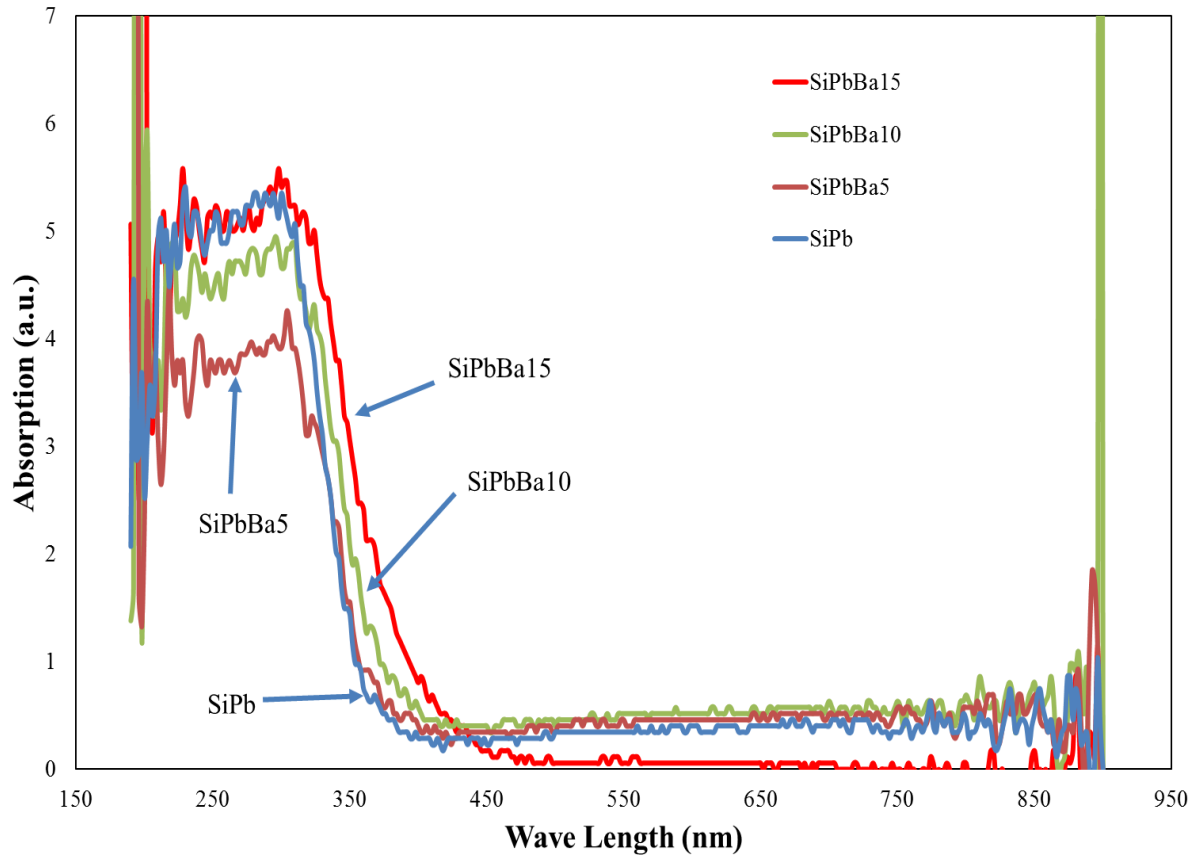
یکی از آزمون های مهم در زمینه بررسی خواص اپتیک شیشه ها از جمله اندازه گیری مقدار انرژی ممنوعه اپتیک مستقیم و غیر مستقیم، ضریب شکست و درصد فلزی شدن آزمون UV-VIS است که در ادامه به نتایج حاصل از این آزمون و بحث در مورد آنها پرداخته خواهد شد.

پس از انجام آزمون طیف سنجی بازتابشی نفوذی نمونه های ساخته شده در محدوده طول موج های ۲۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر، نمودارهای جذب و نمودارهای تاك نمونه ها بر اساس نوع اکسید افزودنی به ترکیب شیشه پایه، تفکیک شده و نمونه های با اکسیدهای افزودنی یکسان در زمینه خواص مختلف با هم مقایسه گردید.

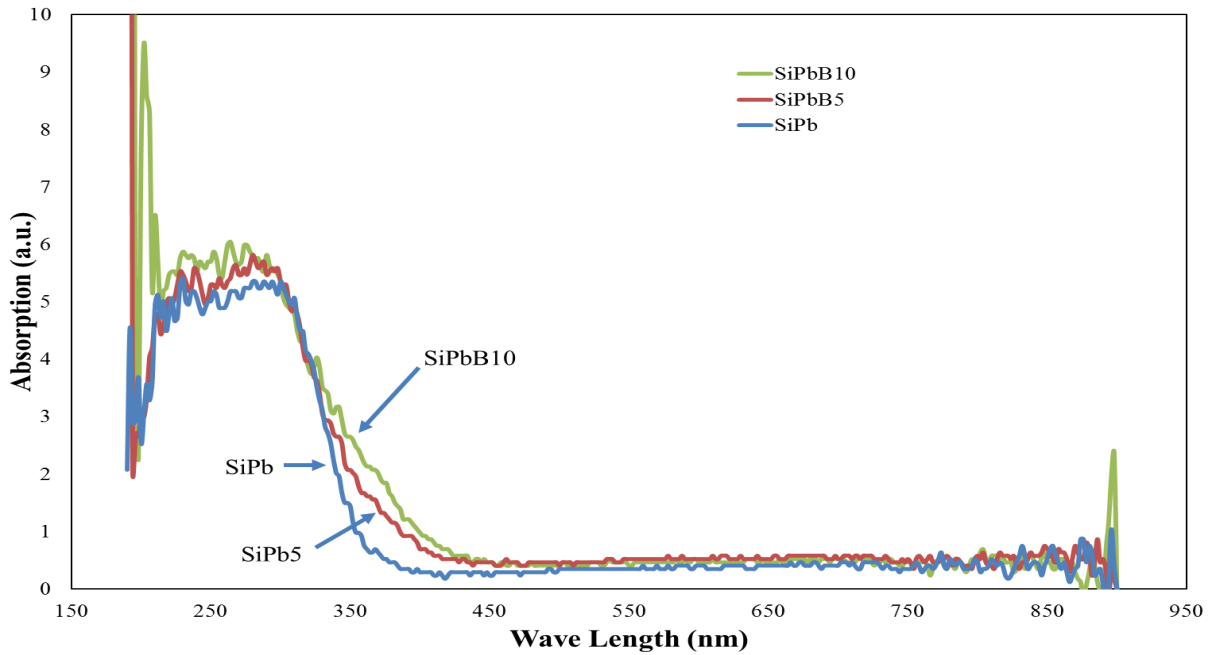
شکل های (۴-۲۶) و (۴-۲۷) و (۴-۲۸) و (۴-۲۹) نمودارهای جذب شیشه های ساخته شده را به تفکیک نوع اکسید افزودنی در محدوده ۲۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر نشان می دهد.



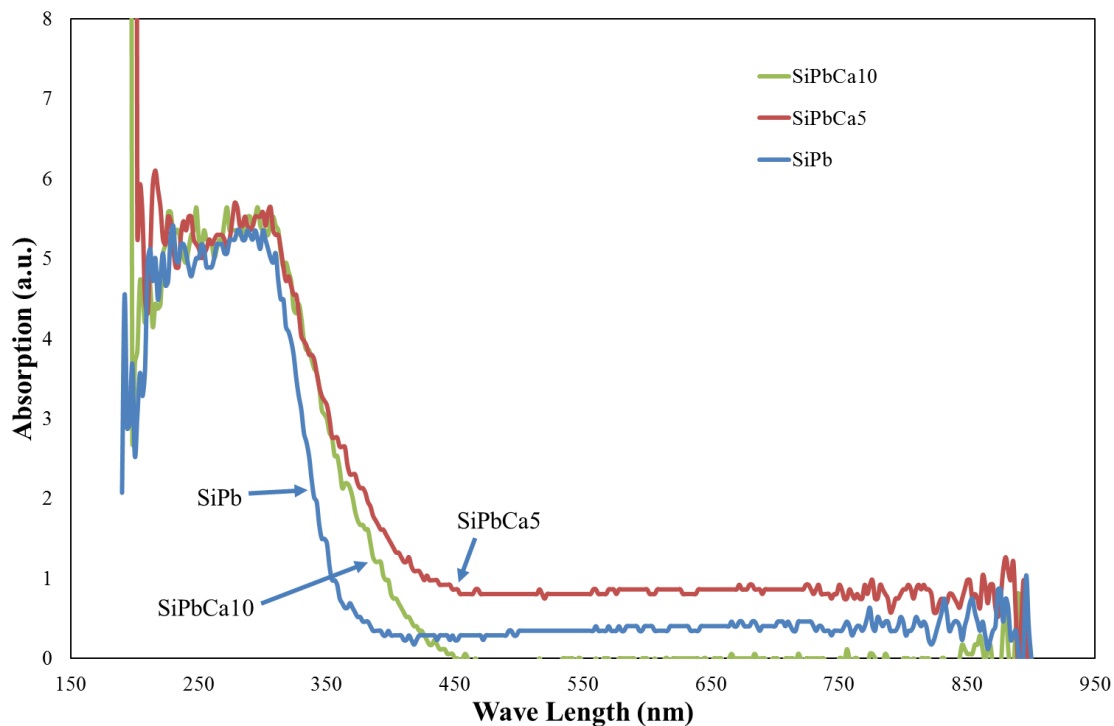
شکل (۴-۲۶) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید روی با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه



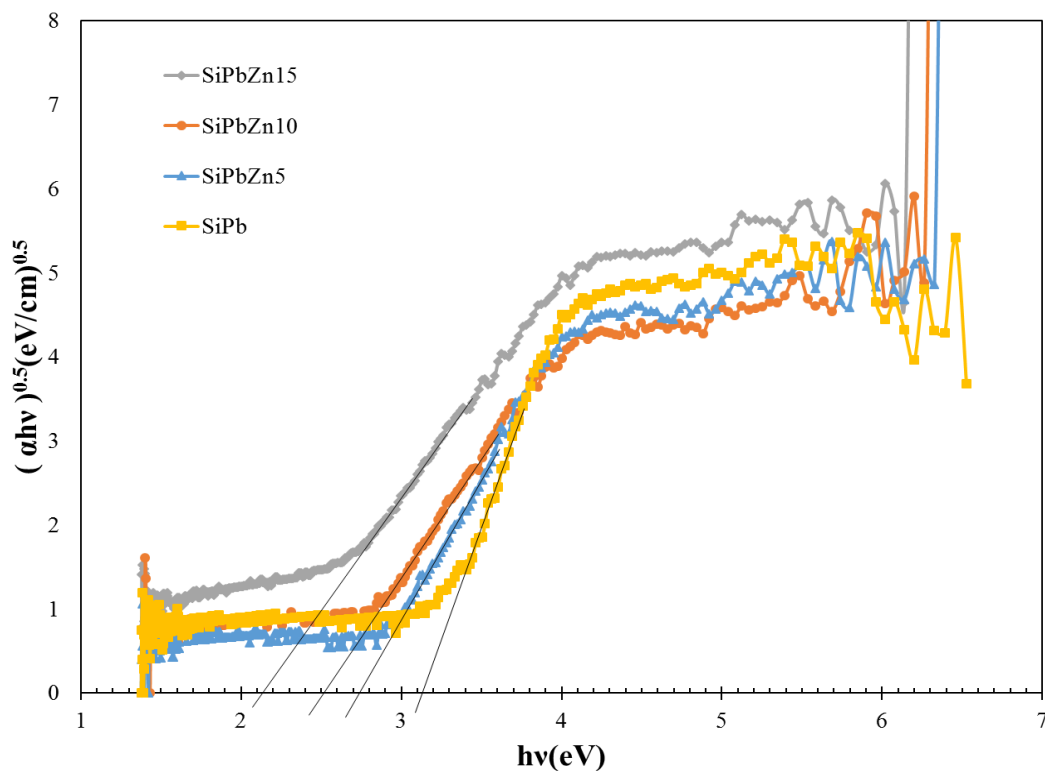
شکل (۴-۲۷) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید باریم با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه



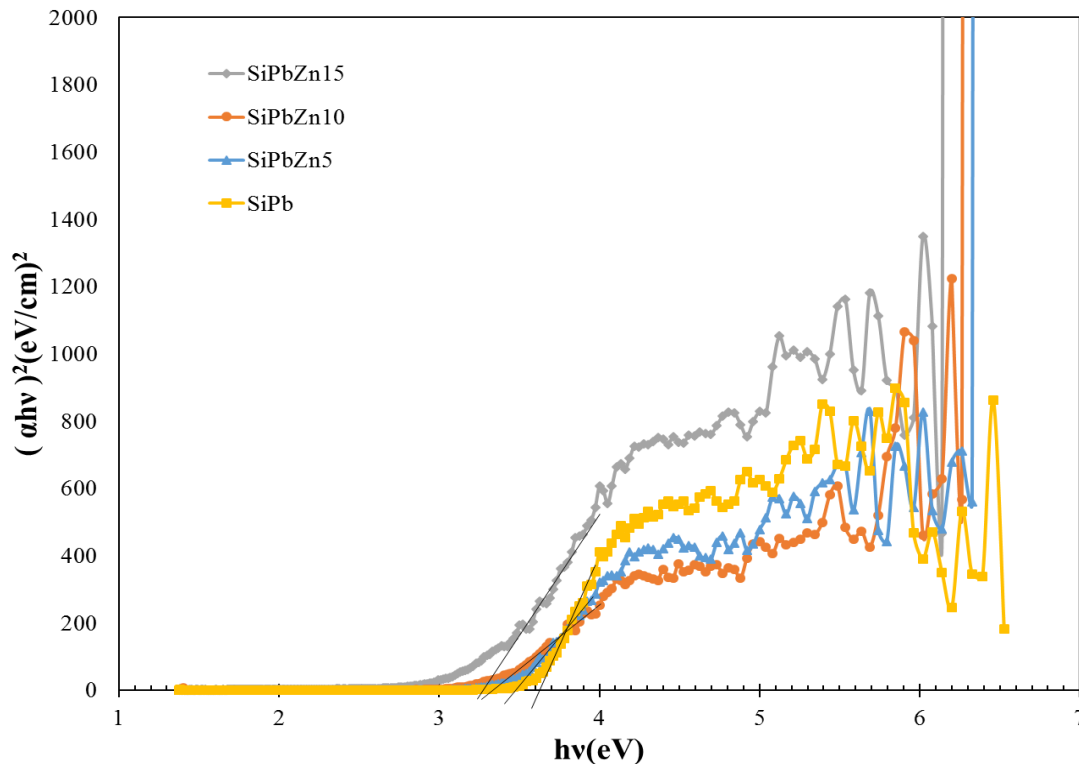
شکل (۴-۲۸) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید بور با مقادیر ۵ و ۱۰ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه



شکل (۲۹-۴) نمودار طیف جذب افزودنی اکسید کلسیم با مقادیر ۵ و ۱۰ درصد مولی در مقایسه با نمونه پایه



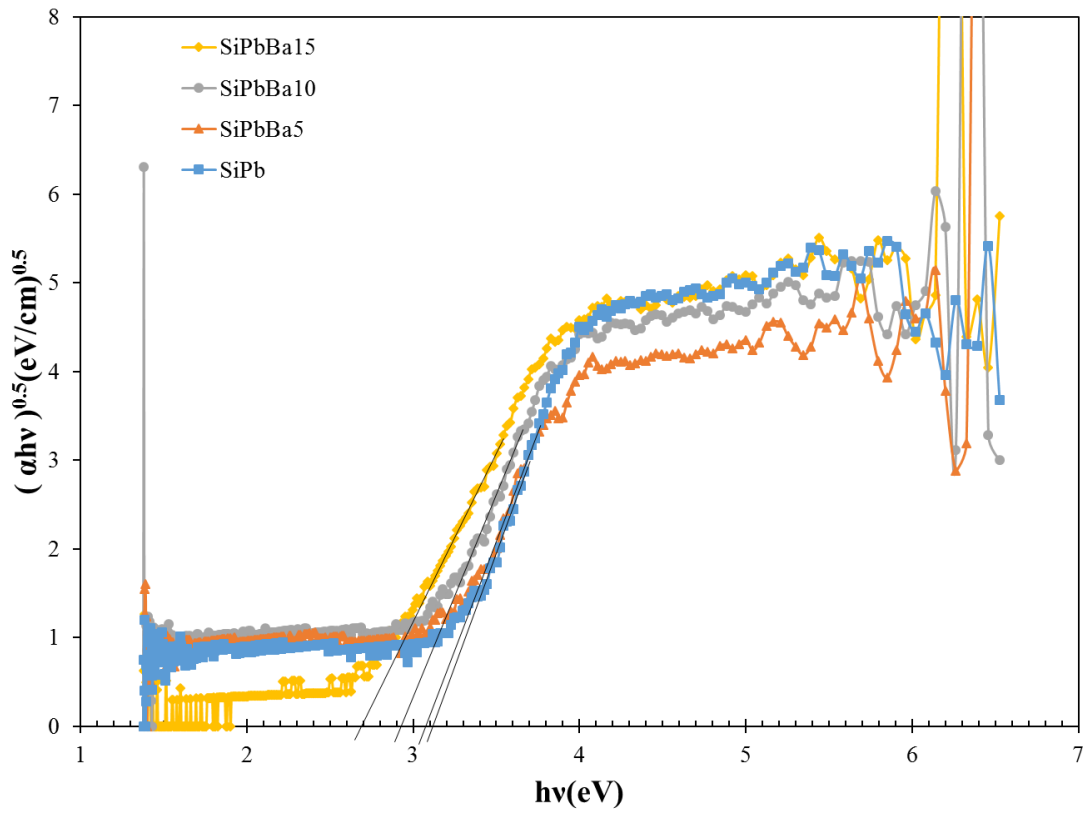
شکل (۳۰-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید روی با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه



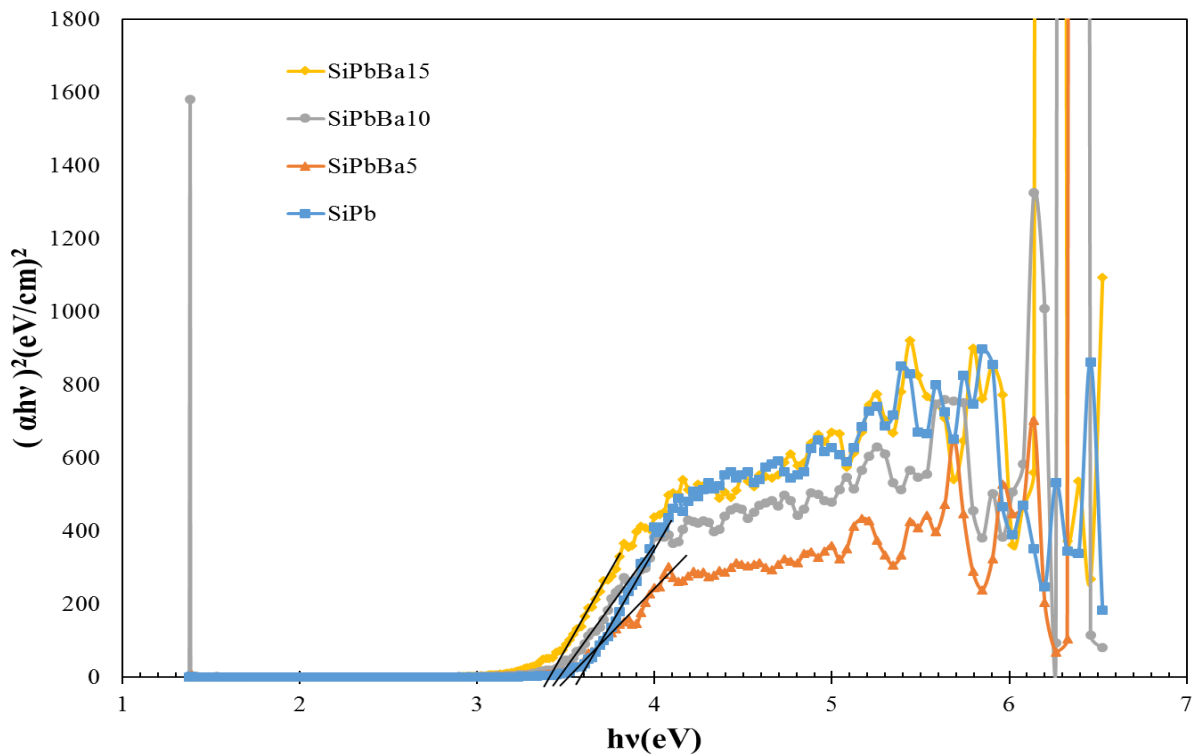
شکل (۴-۳۰) و (۴-۳۱) نمودار تاک افزودنی اکسید روی در درصدهای ۵، ۱۰ و ۱۵ مولی را که به نمونه پایه اضافه شده است در دو حالت انرژی نوار ممنوعه اپتیک مستقیم و غیر مستقیم در مقایسه با نمونه

شکل (۴-۳۱) نمودار تاک افزودنی اکسید روی با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه

شیشه پایه نشان می دهد. نحوه رسم نمودارهای تاک و محاسبه پارامترهای مختلف در فصل اول، قسمت پارامترهای کلیدی در بررسی خواص شیشه بیان گردیده است. شکل (۴-۳۲) و (۴-۳۳) نمودار تاک افزودنی اکسید باریم در درصدهای ۵، ۱۰ و ۱۵ مولی که به نمونه پایه اضافه شده است را در دو حالت انرژی نوار ممنوعه اپتیک مستقیم و غیر مستقیم در مقایسه با نمونه شیشه پایه نشان می دهد.

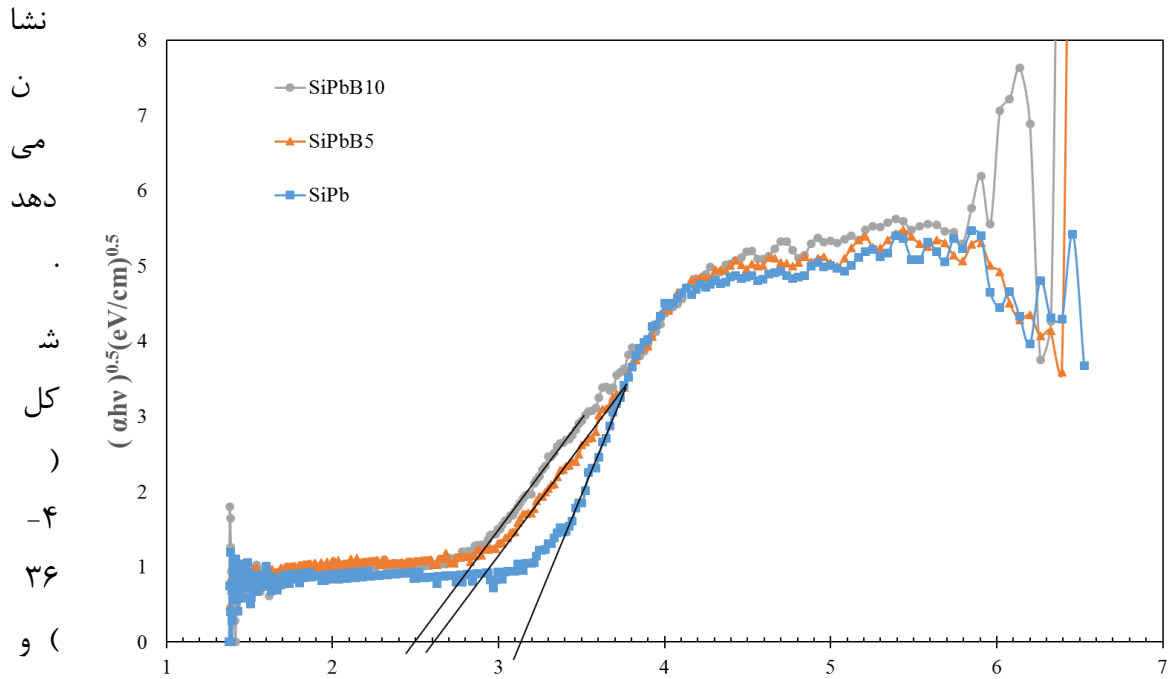


شکل (۳۳-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید باریم با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه



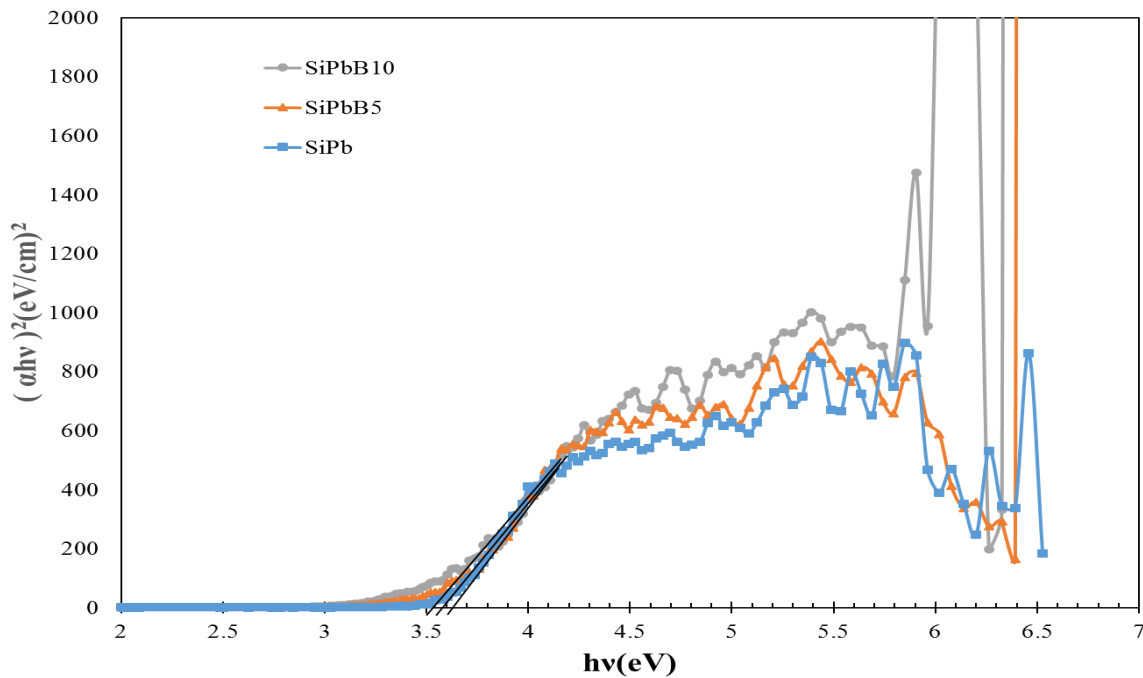
شکل (۳۲-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید باریم با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه

شکل (۴-۳۴) و (۴-۳۵) نمودار تاک افزودنی اکسید بور را در درصدهای ۵ و ۱۰ مولی که به نمونه پایه اضافه شده است را در دو حالت انرژی نوار ممنوعه اپتیک مستقیم و غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه



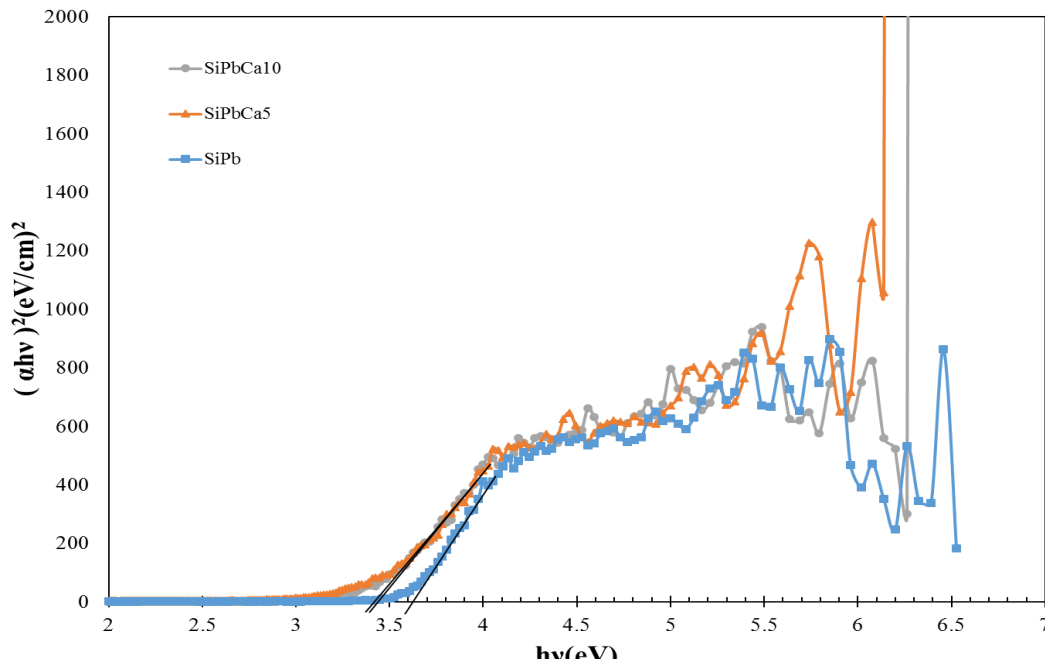
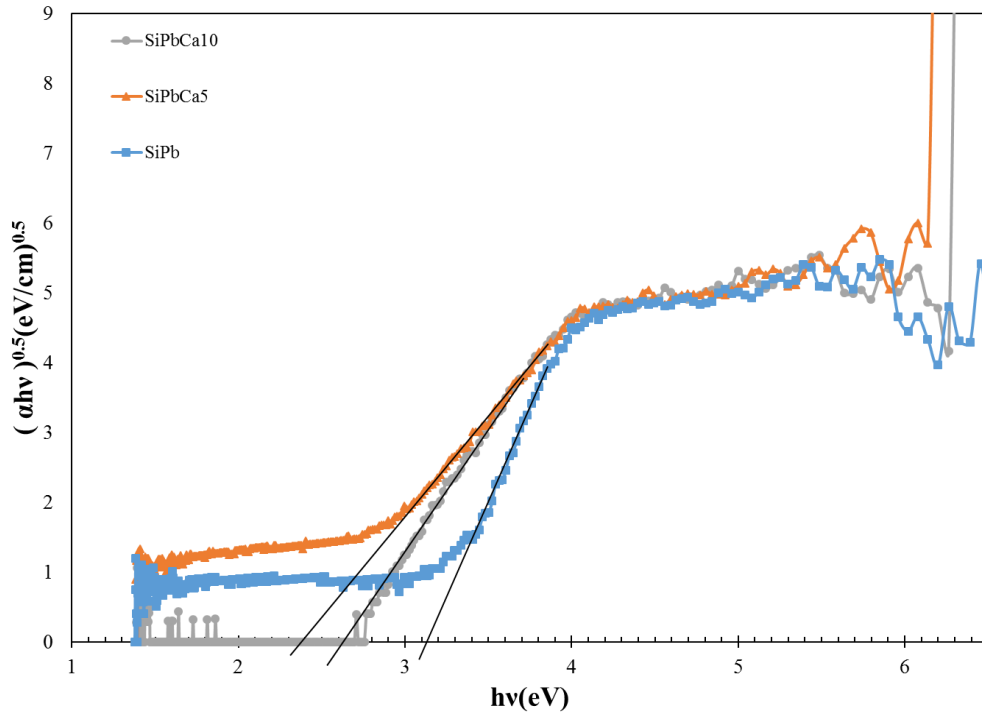
شکل (۴-۳۵) نمودار تاک افزودنی اکسید بور با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه

(۴-۳۷) نمودار تاک افزودنی اکسید کلسیم را در درصدهای ۵ و ۱۰ مولی که به نمونه پایه اضافه شده است



شکل (۴-۳۴) نمودار تاک افزودنی اکسید بور با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه

را در دو حالت انرژی نوار ممنوعه اپتیک مستقیم و غیر مستقیم در مقایسه با نمونه شیشه پایه نشان می دهد.



شکل (۴-۳۶) نمودار تاک افزودنی اکسید کلسیم با نوار ممنوعه مستقیم در مقایسه با نمونه پایه

شکل
)

۳۷-۴) نمودار تاک افزودنی اکسید کلسیم با نوار ممنوعه غیر مستقیم در مقایسه با نمونه پایه

همان گونه که در قبل نیز به آن اشاره گردید جهت محاسبه انرژی نوار ممنوعه اپتیک مستقیم و غیر مستقیم پس از رسم نمودارهای $(\alpha hv)^{0.5}$ جهت انرژی نوار ممنوعه غیر مستقیم و $(\alpha hv)^2$ جهت انرژی نوار ممنوعه مستقیم در برابر hv با رسم خط مماس در منطقه خطی و تقاطع آن با محور افقی می توان این مقادیر انرژی (E_g) را محاسبه نمود. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۴-۷) ذکر شده است.

جدول (۴-۷) مقادیر انرژی نوار ممنوعه غیرمستقیم و انرژی نوار ممنوعه مستقیم نمونه های ساخته شده با توجه نمودار تاک مربوط به هر نمونه

کد نمونه	انرژی نوار ممنوعه غیر مستقیم (eV)	انرژی نوار ممنوعه مستقیم (eV)
SiPb	۳/۱۶	۳/۶۲
SiPbZn5	۲/۷۵	۳/۴۸
SiPbZn10	۲/۵۵	۳/۳۲
SiPbZn15	۲/۱۲	۳/۲۵
SiPbBa5	۳/۰۸	۳/۵۰
SiPbBa10	۲/۹۲	۳/۴۵
SiPbBa15	۲/۷۰	۳/۴۰
SiPbB5	۲/۶۰	۳/۵۵
SiPbB10	۲/۵۰	۳/۵۲
SiPbCa5	۲/۴۰	۳/۴۵
SiPbCa10	۲/۶۵	۳/۴۲

با توجه با اینکه مقادیر اندازه گیری شده جهت انرژی نوار ممنوعه غیر مستقیم نمونه های ساخته شده از مقادیر اندازه گیری شده جهت انرژی نوار ممنوعه مستقیم آنها کمتر است مقادیر انرژی نوار ممنوعه غیر مستقیم مبنای محاسبات سایر پارامترهای اپتیک از جمله ضریب شکست و مقدار فلزی شدن قرار گرفت [۱۸].

از آنجاییکه مقدار انرژی باند ممنوعه تاثیر بسزایی در میزان شفافیت شیشه دارد می توان از مقادیر اندازه گیری شده میزان جذب نورمرئی را بررسی نمود بطوریکه شیشه هایی که میزان انرژی باند ممنوعه آنها

بیشتر از ۳/۱ الکترون ولت باشد نور مرئی را جذب نمی کنند. در واقع نورتوانایی برانگیختگی یونها از باند ظرفیت به باند هدایت را ندارد [۲۲].

با توجه به شکل های (۴-۲۶) و (۴-۲۷) و (۴-۲۸) و (۴-۲۹) و میزان انرژی باند ممنوعه غیر مستقیم محاسبه شده برای اکسید های مختلف که در جدول (۴-۷) ذکر گردیده، استنباط می گردد که جذب نمونه های اکسید روی و اکسید باریم با مقدار مولی ۱۵ درصد بیشتر از سایر نمونه ها با درصد های مولی پایین تر، بیشتر است که در توافق با مقادیر جدول (۴-۷) می باشد. بطوریکه هر چه میزان انرژی باند ممنوعه غیر مستقیم کمتر باشد شفافیت کمتر و جذب بیشتر است [۲۲].

در نمونه های ساخته شده در این پژوهش با توجه به مقادیر اندازه گیری شده جهت انرژی نوار ممنوعه که در جدول (۴-۷) ذکر گردیده است می توان نتیجه گرفت که تنها نمونه پایه که دارای هیچ گونه اکسید افزودنی نیست با مقدار انرژی نوار ممنوعه ۳/۱۶ الکترون ولت و نمونه SiPbBa_5 که دارای پنج درصد افزودنی اکسید باریم است با مقدار انرژی باند ممنوعه ۳/۰۸ الکترون ولت دارای شفافیت هستند و سایر نمونه ها دارای خاصیت کدری هستند و نور مرئی را جذب می کنند.

همچنین با توجه به مقادیر انرژی نوار ممنوعه غیر مستقیم و انرژی نوار ممنوعه مستقیم می توان دریافت که این مقادیر با ترکیب شیمیایی و مقدار اکسیژن های غیر پل ساز در یک ترکیب رابطه غیر مستقیم دارد. بطوریکه افزایش میزان اکسیدافزودنی از ۵ تا ۱۵ درصد مولی باعث می شود که مقادیر انرژی نوار ممنوعه غیرمستقیم و انرژی نوار ممنوعه مستقیم کاهش پیدا کند. این کاهش مقدار به دلیل کاهش قدرت پیوندهای اکسیژن فلزی است که در واقع منجر به افزایش مقدار اکسیژن های غیر پل ساز و کاهش تشکیل اکسیژن های پل ساز در ترکیب شیشه می شود [۱۸].

این مقدار جهت اکسید روی از مقدار ۲/۷۵ تا ۲/۱۲ الکترون ولت با افزایش اکسید روی از ۱۵ تا ۵ درصد مولی کاهش می یابد. همچنین میزان کاهش جهت اکسید باریم از مقدار ۳/۰۸ تا ۲/۷۰ الکترون ولت و جهت اکسید بور ۲/۶۰ تا ۲/۵۰ الکترون ولت با افزایش مقدار افزودنی می باشد.

ولی با توجه به آنچه که ذکر شد مقدار انرژی نوار ممنوعه غیرمستقیم در افزودنی اکسید کلسیم از ۲/۴۰ تا ۲/۶۵ الکترون ولت افزایش پیدا کرده است که این امر به دلیل کاهش مقدار اکسیژن های غیر پل ساز و افزایش مقدار اکسیژن های پل ساز است که البته با توجه به مقادیر محاسبه شده جهت انرژی نوار ممنوعه مستقیم افزودنی اکسید کلسیم (کاهش از ۳/۴۵ تا ۳/۴۲ الکترون ولت) به نظر می رسد افزایش اکسیژن های غیر پل ساز و کاهش اکسیژن های پل ساز اتفاق افتاده است. از طرفی با توجه به روند نتایج به دست

آمده برای سایر اکسیدها می توان این گونه استنباط نمود که احتمال خطای آزمایش در مورد افزودنی اکسید کلسیم وجود دارد.

پارامترهای اپتیکی دیگری نیز با توجه به مقدار اندازه گیری شده جهت انرژی نوار ممنوعه غیرمستقیم قابل به محاسبه، بحث و بررسی است که مقادیر مربوط به این پارامترها در جدول (۴-۸) ذکر گردیده است.

جدول (۴-۸) مقادیر ضریب شکست و مقدار فلزی شدن محاسبه شده جهت نمونه های ساخته شده

مقدار فلزی شدن (M)	ضریب شکست (n)	کد نمونه
۰/۳۹۸	۲/۳۵۵	SiPb
۰/۳۷۱	۲/۴۶۸	SiPbZn5
۰/۳۵۷	۲/۵۳۰	SiPbZn10
۰/۳۲۶	۲/۶۸۶	SiPbZn15
۰/۳۹۲	۲/۳۷۶	SiPbBa5
۰/۳۸۲	۲/۴۱۹	SiPbBa10
۰/۳۶۷	۲/۴۸۳	SiPbBa15
۰/۳۶۱	۲/۵۱۴	SiPbB5
۰/۳۵۴	۲/۵۴۷	SiPbB10
۰/۳۴۶	۲/۵۸۱	SiPbCa5
۰/۳۶۴	۲/۴۹۸	SiPbCa10

همچنین کمتر از واحد بودن مقادیر فلزی شدن ماهیت غیر فلزی نمونه ها را نشان می دهد و کم شدن یا افزایش آن توجیهی جهت کاهش یا افزایش مقدار انرژی نوار ممنوعه در نمونه ها می باشد. کاهش یا افزایش مقدار ضریب شکست نیز توجیهی جهت افزایش یا کاهش میزان اکسیژن های غیرپل ساز است [۱۸].

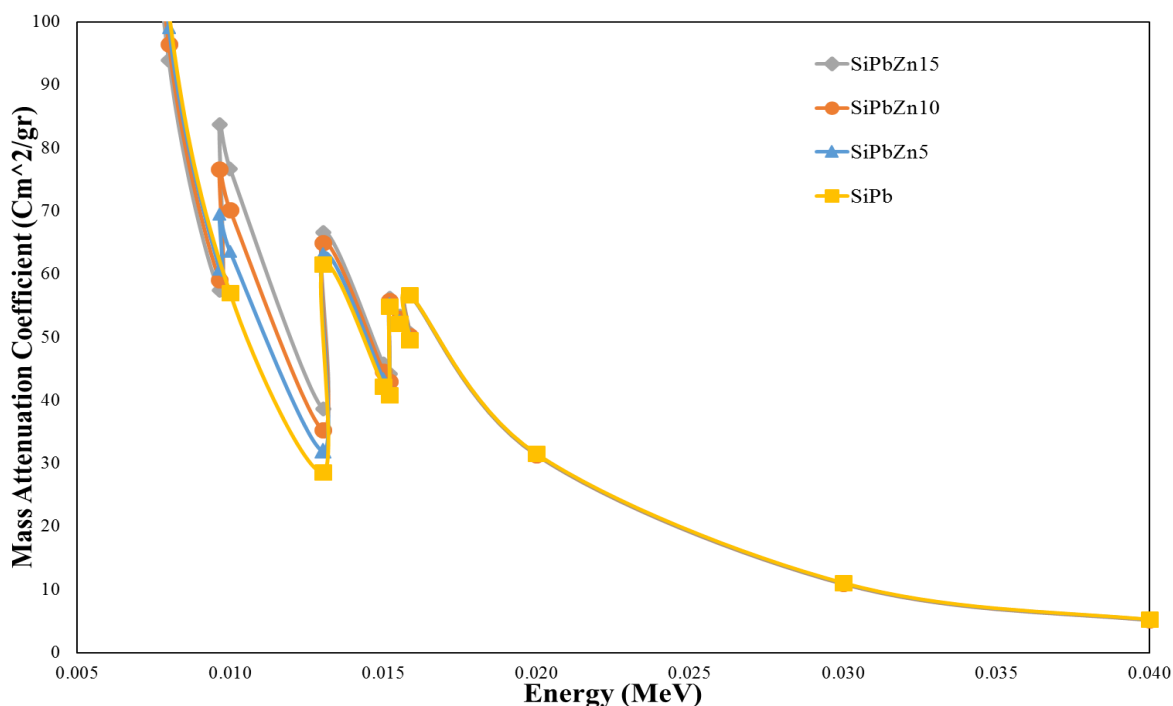
۴-۵-۱ - بررسی میزان ضریب جذب نمونه های ساخته شده

همان گونه که در قسمت پارامترهای کلیدی در بررسی خواص شیشه ها اشاره شد با استفاده از نرم افزار XCOM به صورت تئوری می توان به مقایسه میزان جذب نمونه ها پرداخت که البته لازم به ذکر است نتایج حاصل از این نرم افزار در تعامل بسیار بالا با نتایج حاصل از مقادیر عملی است. به طوریکه آنچه از مطالعات آگار و همکارانش [۴۵] و کائور همکارانش [۸] مشاهده می شود آن است که مقادیر عملی و تئوری در نتایج آنها بسیار به هم نزدیک هستند.

در ادامه به مقایسه نمونه های ساخته شده از لحاظ میزان قدرت جذب با استفاده از مقدار ضریب جذب جرمی که از نرم افزار XCOM قابل به برداشت است، اشاره خواهد شد. بعد از وارد کردن ترکیب درصد شیمیایی در نرم افزار XCOM می توان با استفاده از این نرم افزار که در واقع در بازه انرژی خاص میزان ضریب جذب جرمی ترکیب را در اختیار می گذارد به مقایسه قدرت جذب نمونه ها پرداخت.

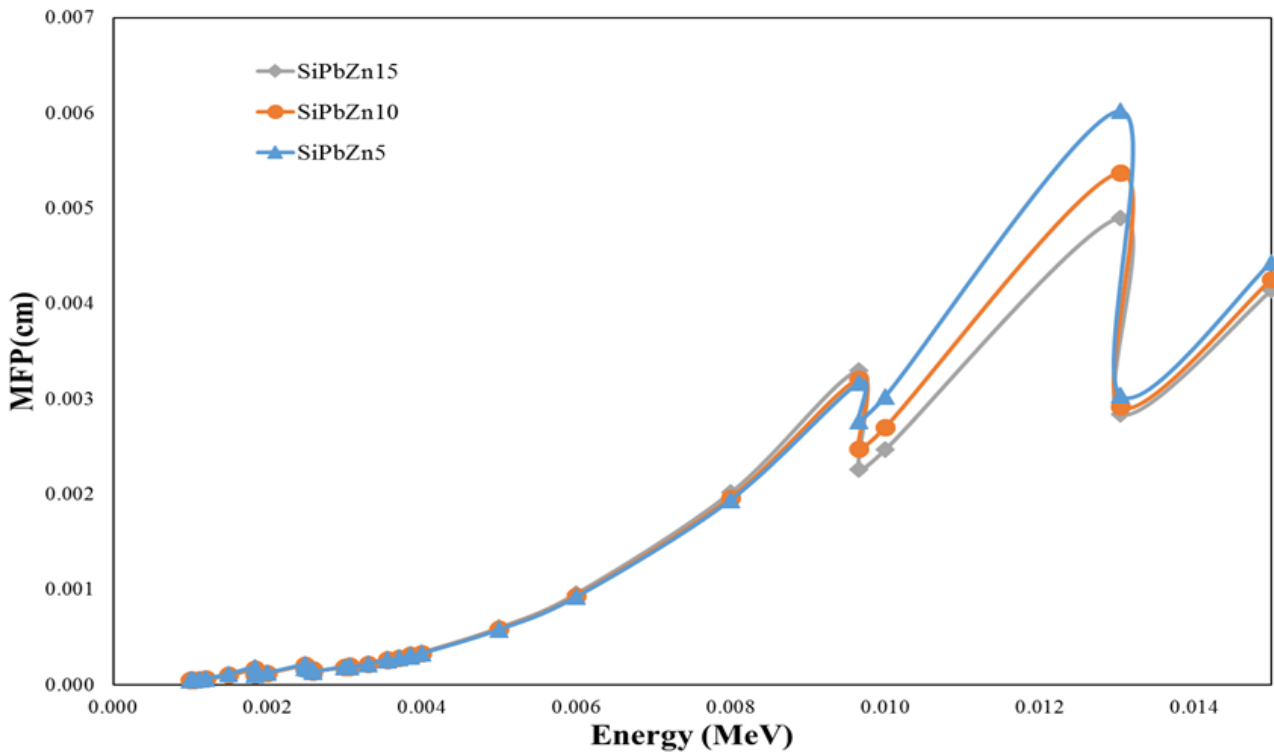
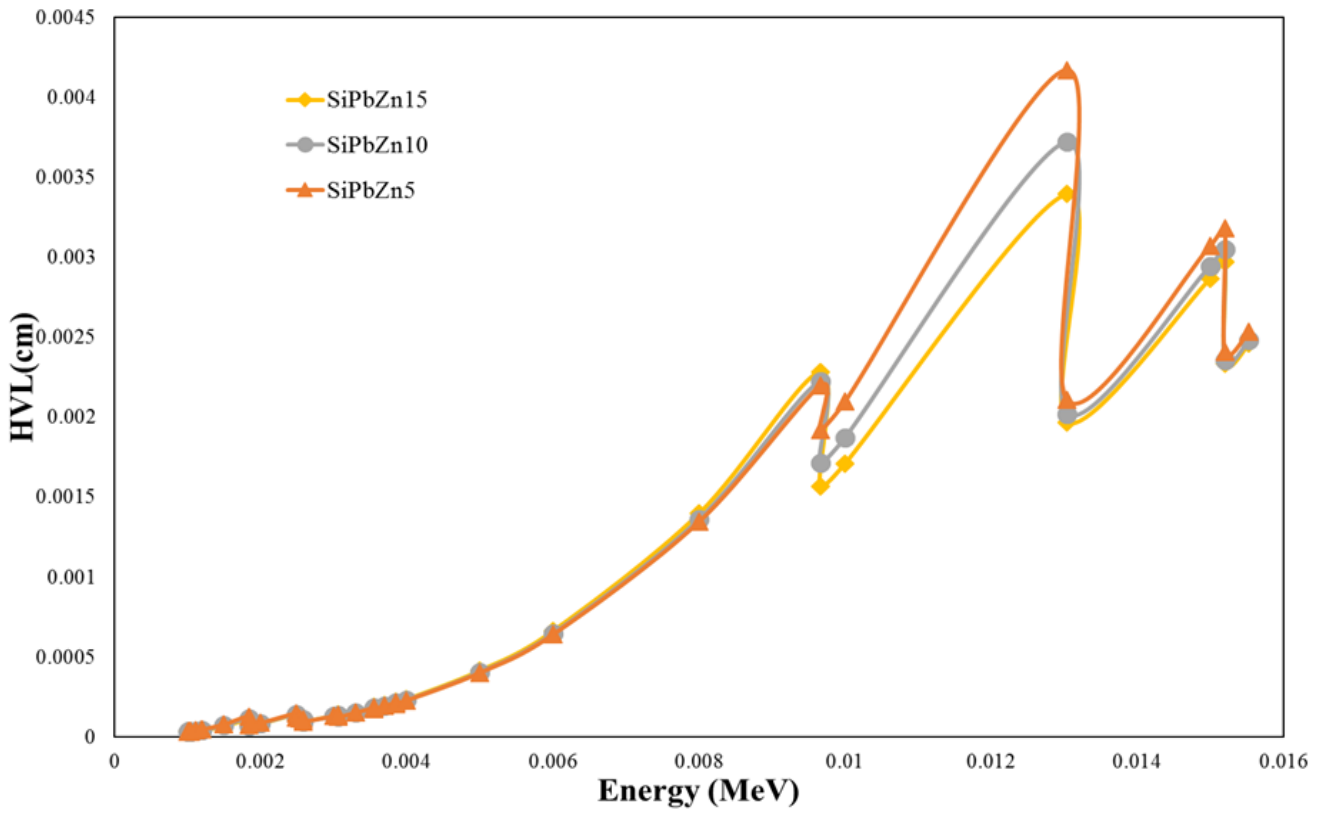
در این قسمت نیز نمونه ها به تفکیک نوع اکسید افزودنی با یکدیگر مقایسه شدند. شکل (۴-۳۸) نمودار ضریب جذب جرمی افزودنی اکسید روی را در مقایسه با نمونه پایه (نمونه بدون اکسید افزودنی) نشان می دهد.

همان گونه که در شکل (۴-۳۸) قابل به مشاهده است با افزایش افزودنی اکسید روی مقدار ضریب جذب جرمی افزایش پیدا کرده است که در واقع نشان دهنده میزان جذب بیشتر توسط نمونه با ۱۵ درصد مولی اکسید روی است. البته با محاسبه پارامترهای دیگر از جمله HVL و MFP نیز صحت این اطلاعات تایید می



شکل (۴-۳۸) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید روی در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصد های مولی مختلف

شود. شکل (۴-۳۹) و شکل (۴-۴۰) نمودار مقادیر HVL و MFP در مورد افزودنی اکسید روی را نشان می دهد.

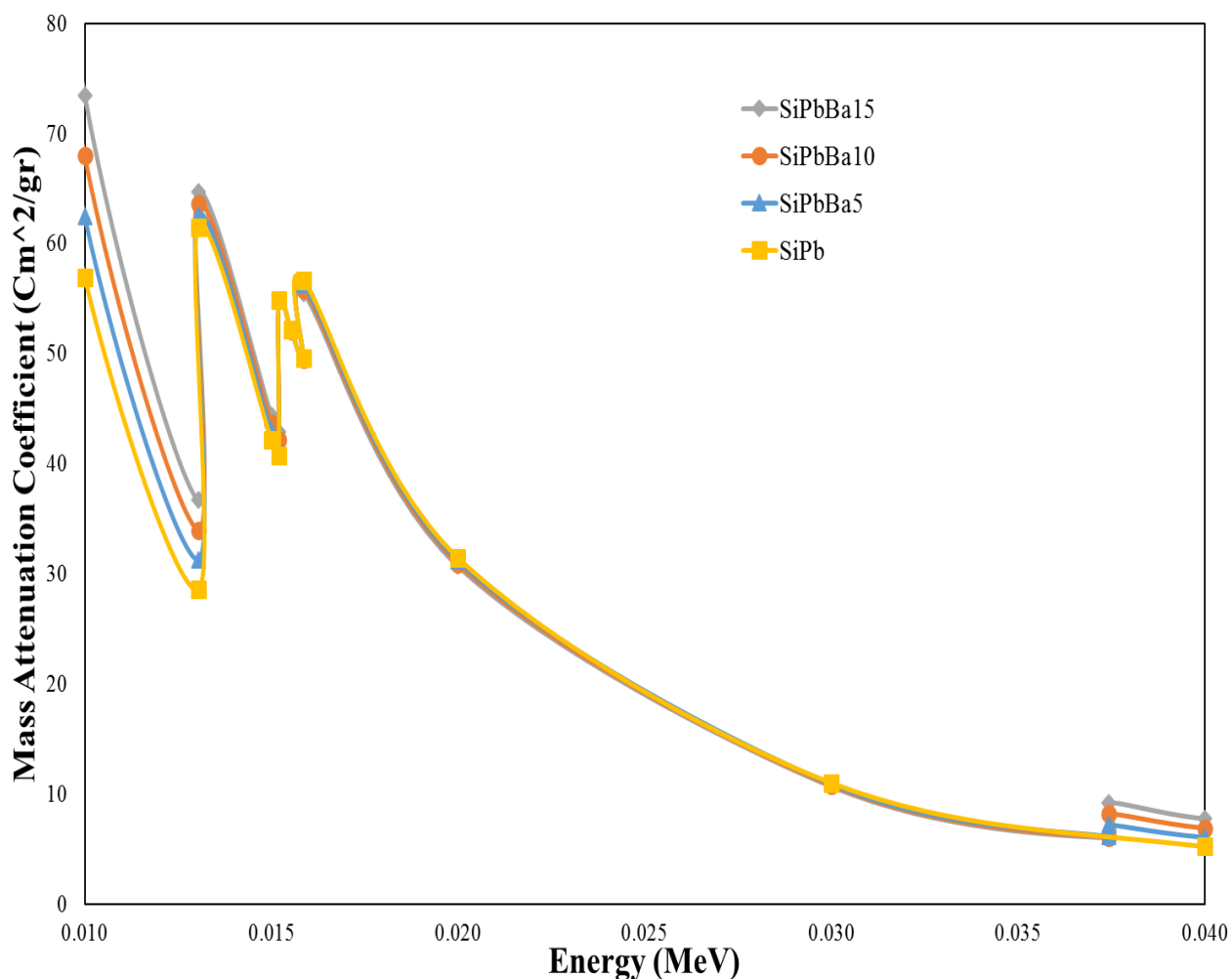


شکل (۴-۳۹) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید روی در درصدهای مولی مختلف

شکل (۴-۴۰) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید روی در درصدهای مولی مختلف

همان گونه که از شکل های (۳۹-۴) و (۴۰-۴) برمی آید با افزایش درصد مولی اکسید روی این قادیار کاهش پیدا کرده است که در واقع صحت اطلاعات مربوط به مقادیر ضریب جذب جرمی را تایید می کند. هر چه مقدار HVL و MFP یک ترکیب کمتر باشد آن ترکیب قدرت جذب بیشتری از خود نشان می دهد.

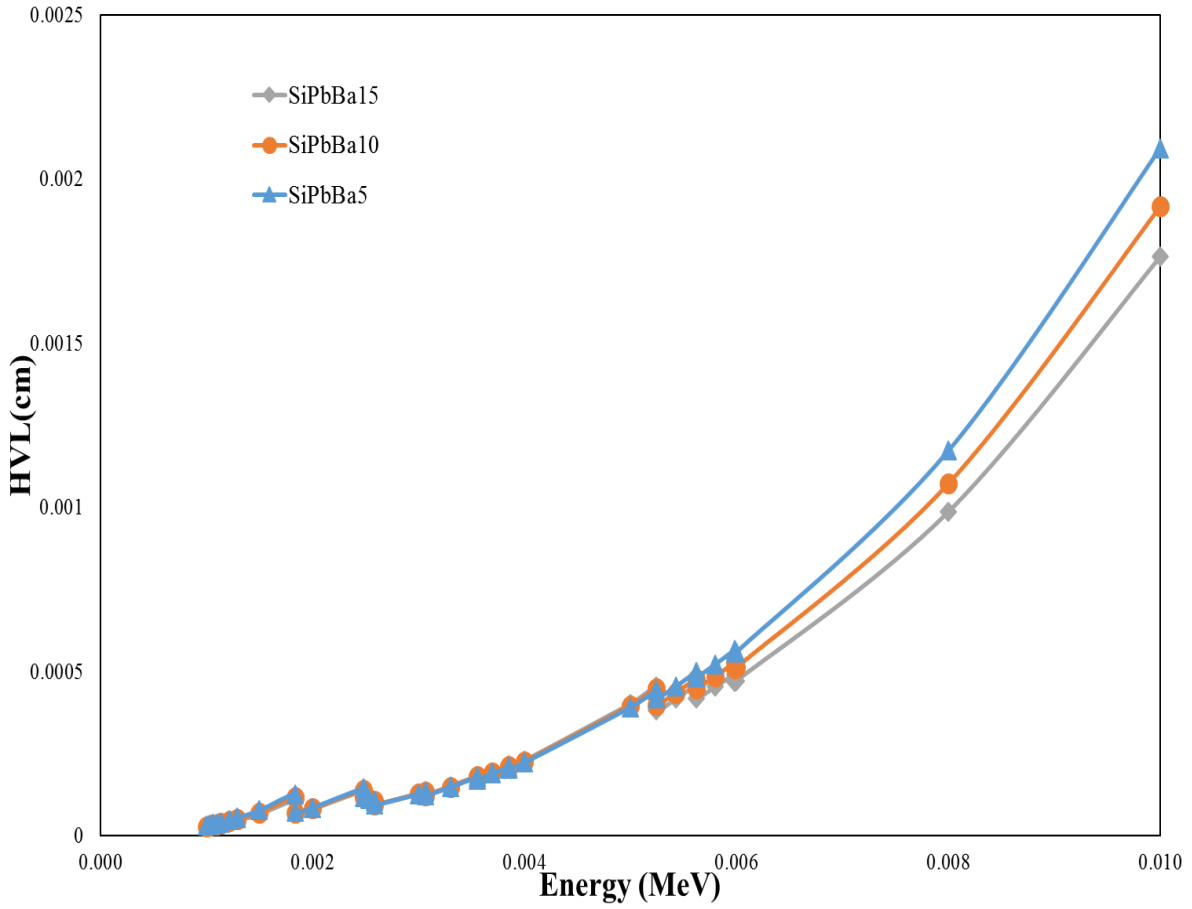
شکل (۴-۴۱) نمودار ضریب جذب جرمی افزودنی اکسید باریوم را در مقادیر مختلف انرژی نشان می دهد. با دقت در نمودار می توان دریافت که مشابه افزودنی اکسید روی هر چه میزان افزودنی بیشتر شود ضریب



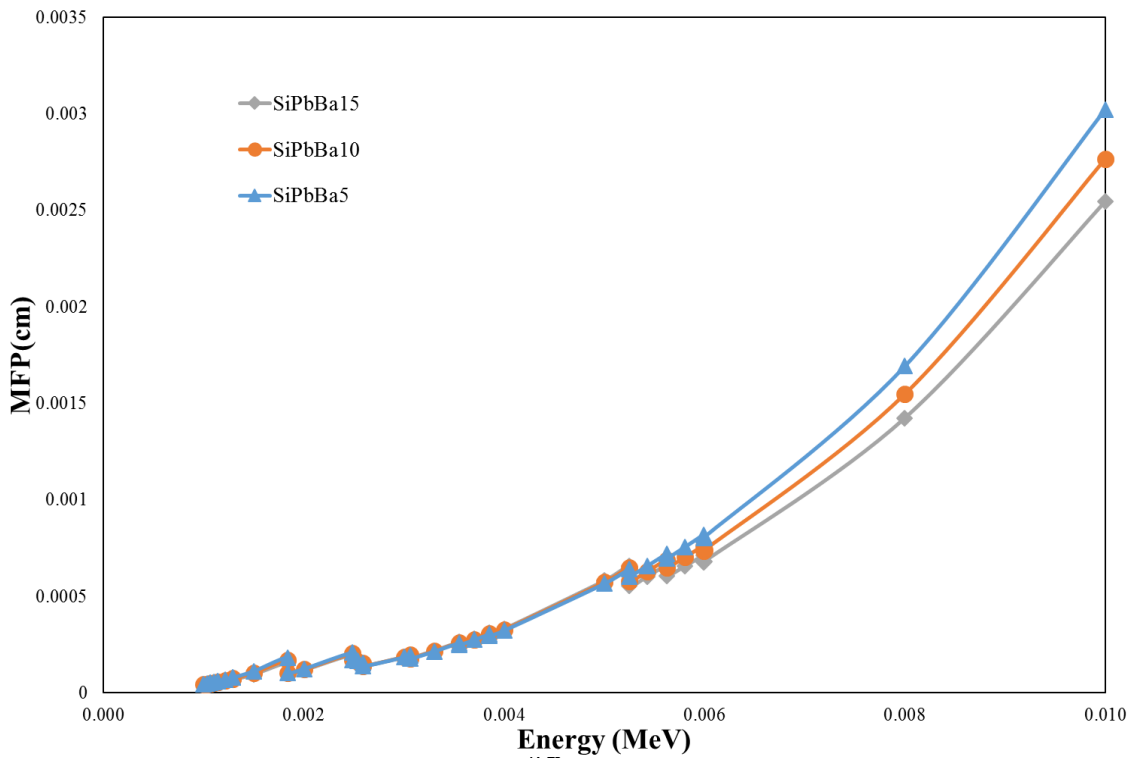
شکل (۴-۴۱) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید باریوم در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصدهای مولی مختلف

جذب جرمی بیشتر شده که نشان دهنده میزان جذب بیشتر از سوی نمونه مورد نظر می باشد.

در شکل های (۴۲-۴) و (۴۳-۴) نمودار مقادیر HVL و MFP مربوط به افزودنی اکسید بارییم قابل به مشاهده است.



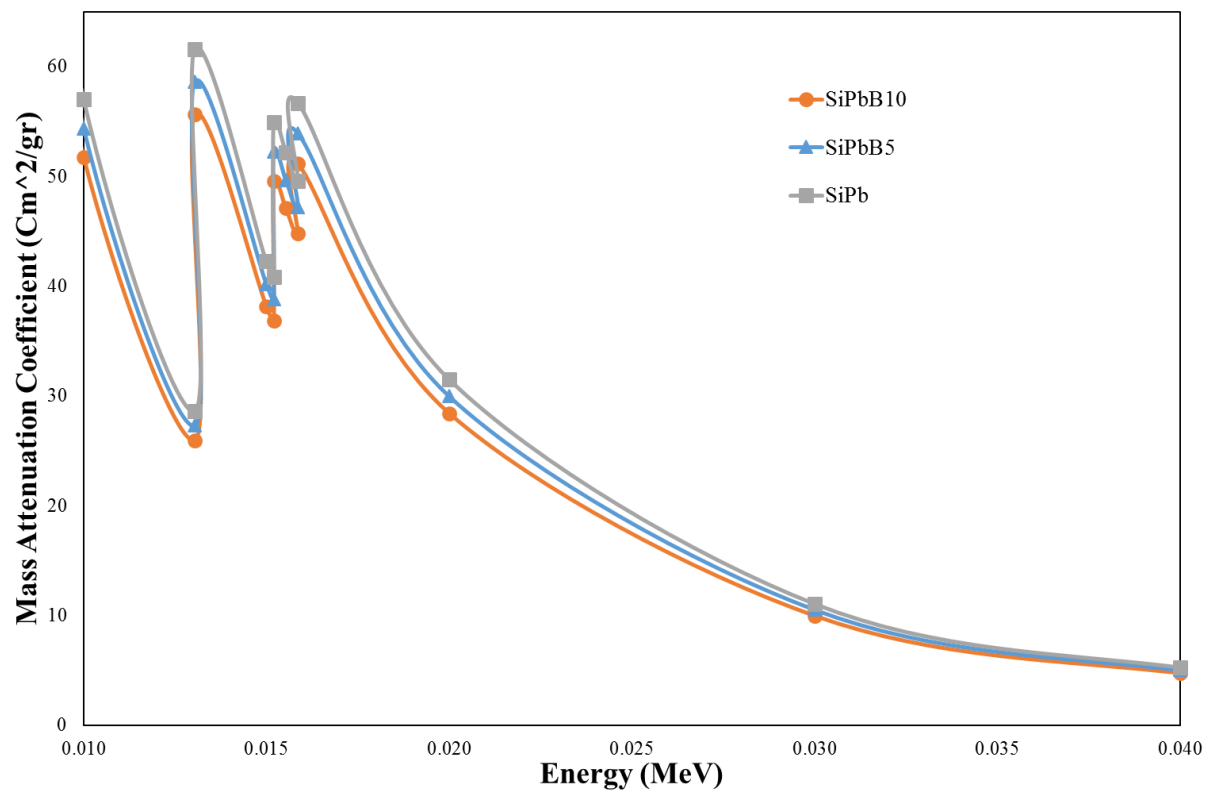
شکل (۴-۴۳) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید باریم در درصد های مولی مختلف



شکل (۴-۴۲) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید باریم در درصد های مولی مختلف

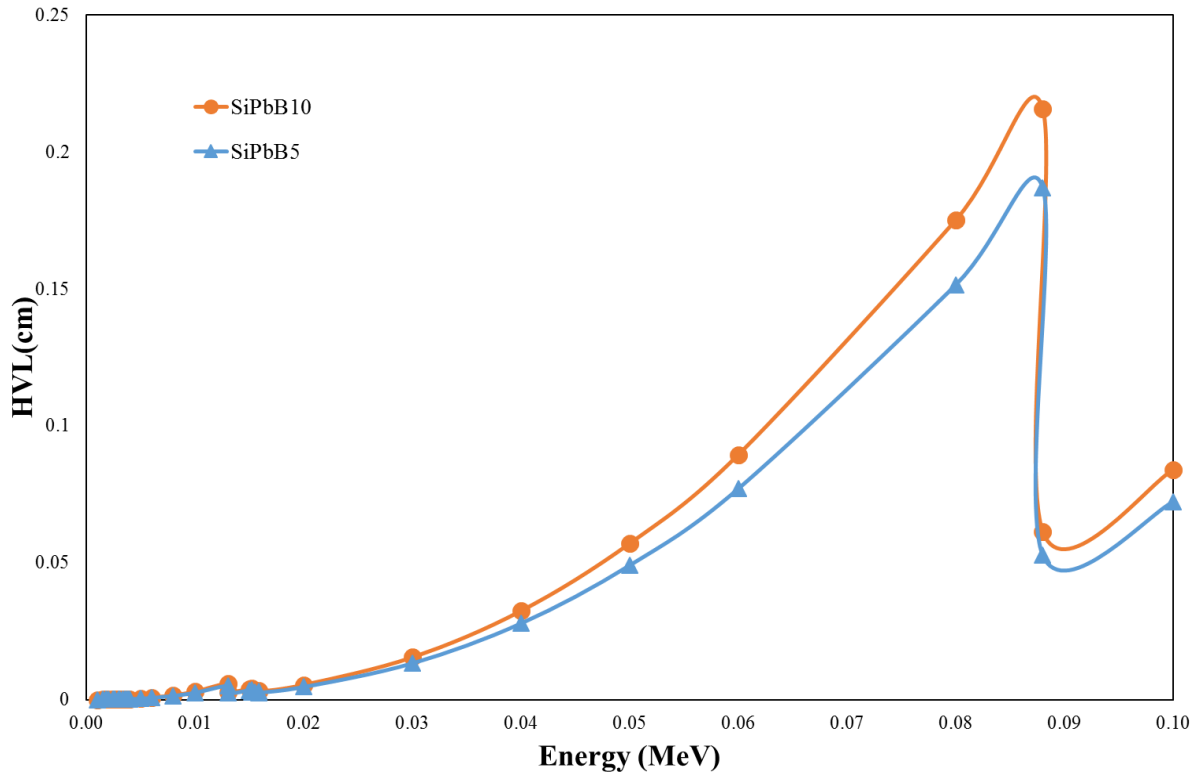
همان گونه که از شکل های (۴-۴۲) و (۴-۴۳) برمی آید میزان HVL و MFP نیز با افزایش ترکیب درصد افزودنی کاهش پیدا کرده است که نشان دهنده میزان جذب بیشتر در نمونه های با میزان اکسید باریم بیشتر است.

شکل (۴-۴۴) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید بور را در مقادیر مختلف انرژی نشان می دهد. با توجه به نمودار می توان دریافت که با افزایش میزان افزودنی اکسید بور میزان جذب کاهش پیدا می کند.

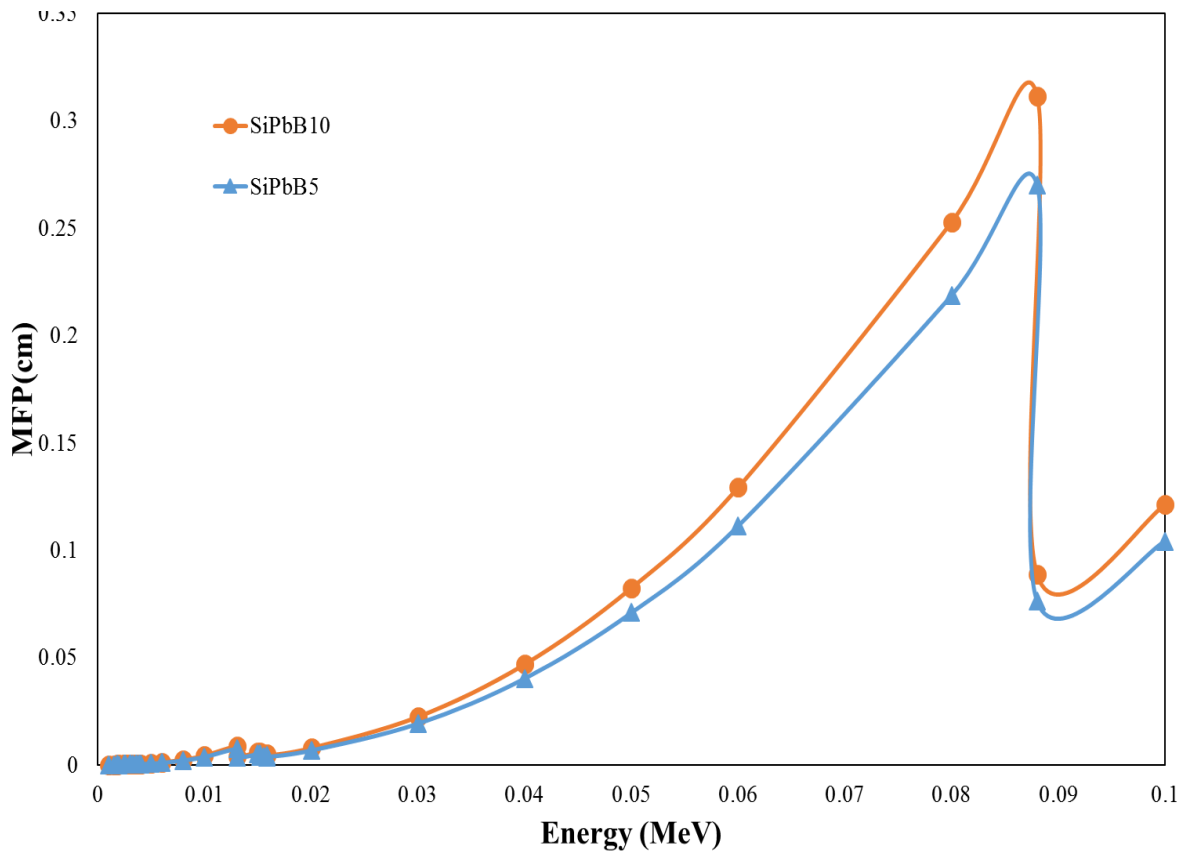


شکل (۴-۴۴) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید بور در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصدهای مولی مختلف

شکل های (۴-۴۵) و (۴-۴۶) نمودار های HVL و MFP مربوط به اکسید بور در مقادیر مختلف انرژی را نشان می دهد. با دقت در این نمودار ها می توان دریافت که مقادیر HVL و MFP با افزایش میزان اکسید بور افزایش پیدا کرده است که نشان دهنده قدرت جذب کمتر نمونه های با درصد اکسید بور بیشتر است.

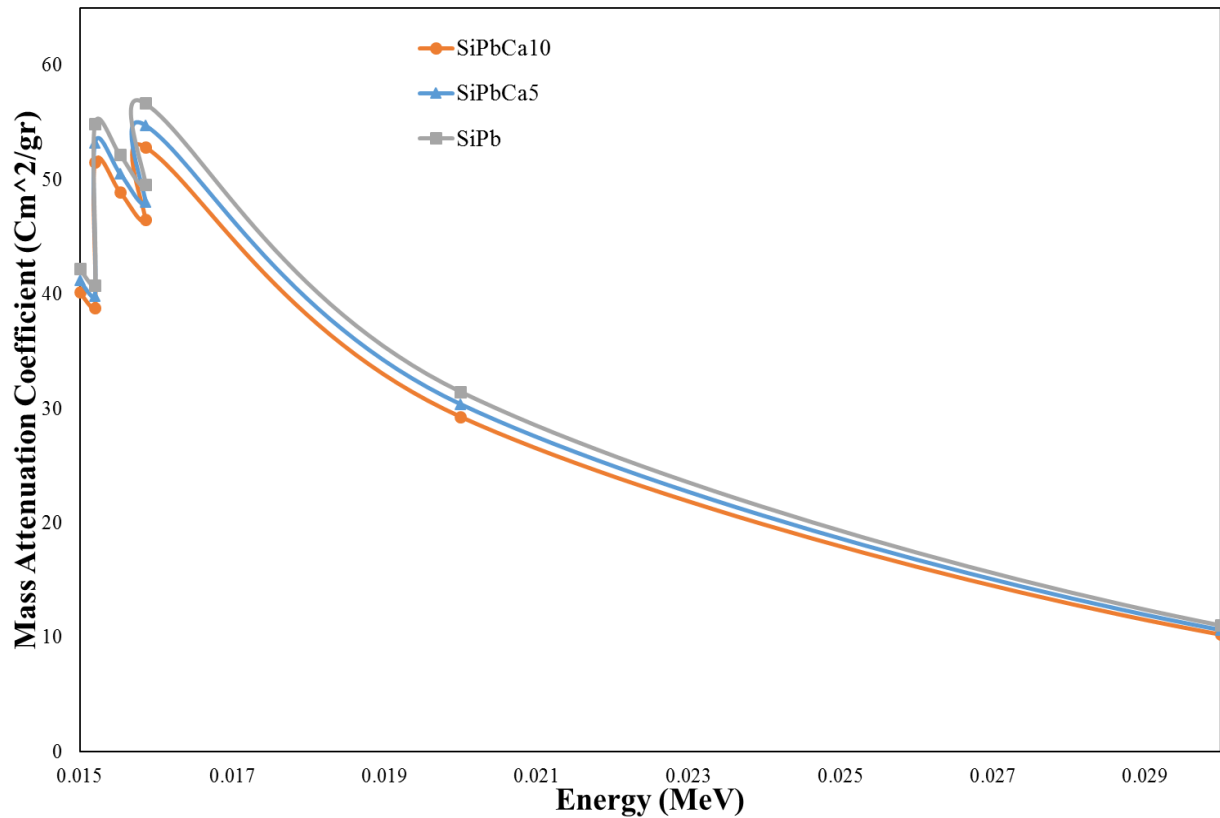


شکل (۴۶-۴) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید بور در درصد های مولی مختلف



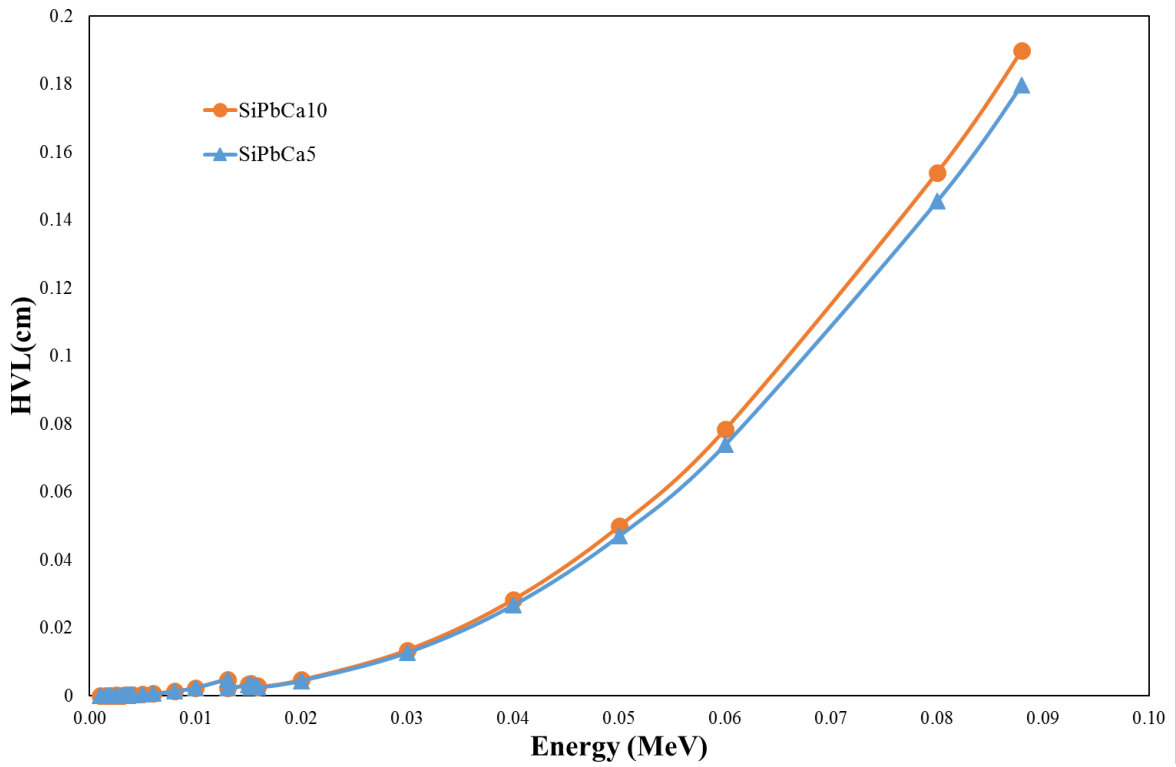
شکل (۴۵-۴) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید بور در درصد های مولی مختلف

شکل (۴-۴۷) نمودار ضریب جذب جرمی افزودنی اکسید کلسیم را در مقادیر مختلف انرژی نشان می دهد. با افزایش میزان اکسید کلسیم در نمونه ها همانند بور مقدار ضریب جذب جرمی کاهش پیدا کرده است که نشان دهنده قدرت جذب کمتر در نمونه های با اکسید کلسیم بیشتر است.

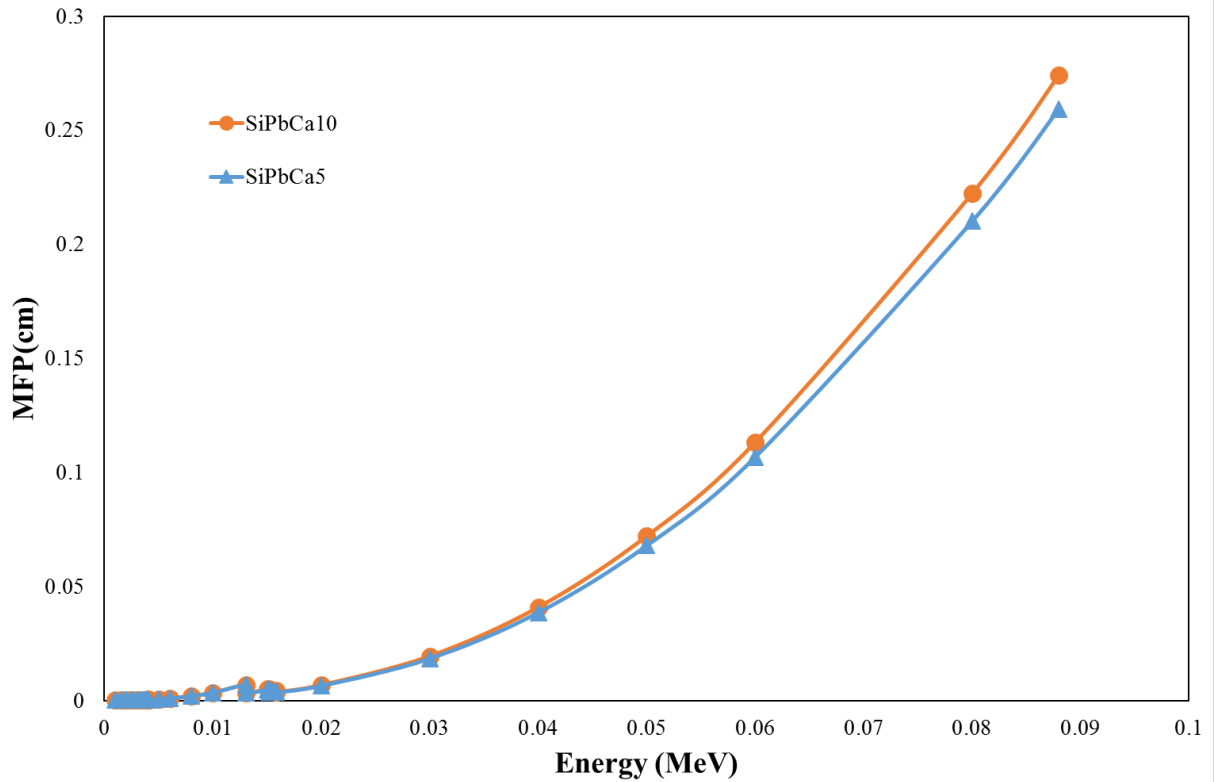


شکل (۴-۴۷) نمودار ضریب جذب جرمی اکسید کلسیم در مقایسه با نمونه پایه بر حسب انرژی در درصدهای مولی مختلف

شکل های (۴۸-۴) و (۴۹-۴) نمودارهای HVL و MFP مربوط به اکسید کلسیم را نشان می دهد که با توجه به افزایش این مقادیر نشان دهنده قدرت جذب کمتر در نمونه های با اکسید کلسیم بیشتر است.



شکل (۴-۴۸) نمودار HVL مربوط به افزودنی اکسید کلسیم در درصدهای مولی مختلف



شکل (۴-۴۹) نمودار MFP مربوط به افزودنی اکسید کلسیم در درصدهای مولی مختلف

از آنجاییکه مقدار HVL و MFP به میزان زیادی به مقدار چگالی وابسته است با توجه به کاهش مقدار چگالی در خصوص نمونه های حاوی افزودنی اکسید بور و اکسید کلسیم افزایش مقدار HVL و MFP منطقی به نظر می رسد. همچنین با توجه به فاصله نسبی منحنی ها و مقادیر ضریب جذب جرمی در نمودارهای مربوط به مقدار ضریب جذب جرمی در مقادیر پایین انرژی می توان دریافت که پدیده غالب جذب در نمونه های ساخته شده از نوع پدیده فوتوالکتریک است و در مقادیر انرژی های بالا که پدیده های جذب از نوع پراکندگی و تولید زوج الکترون است تفاوت زیادی در مقدار جذب در نمونه ها دیده نمی شود [۲۷].

فصل ۵ : جمع بندی و پیشنهادات

۵-۱ - نتیجه گیری

- در این پژوهش مشخص گردید که پس از افزودن اکسیدهای روی و باریم به شیشه پایه میزان ضریب جذب جرمی و به تبع آن میزان جذب امواج الکترومغناطیس با افزایش درصد مولی اکسید افزودنی افزایش پیدا کرده است که در مورد افزودنی های اکسید بور و اکسید کلسیم با روندی کاهشی مواجه هستیم.
- میزان جذب اپتیک در مورد افزودنی اکسید روی و اکسید باریم نیز با افزایش میزان درصد مولی اکسید افزودنی افزایش پیدا کرد که در مورد اکسید بور و اکسید کلسیم با روند کاهشی مواجه هستیم.

۵-۲ - پیشنهادات

در ادامه این پروژه می توان پارامترهای زیر را نیز بررسی کرد:

- بررسی اثر افزودن درصدهای بالاتری از این افزودنی ها و بررسی میزان جذب شیشه های تولیدی
- بررسی اثر سایر افزودنی های دیگر و مشاهده روند جایگزینی عنصر فلزی آنها با عنصر سرب و تاثیر آن بر میزان جذب و عبور امواج الکترومغناطیسی
- بررسی تاثیر سرعت سرمایهش مذاب شیشه بر میزان جذب امواج الکترومغناطیس

مراجع

۱. Sridharan, K., The Electromagnetic Spectrum, in Spectral Methods in Transition Metal Complexes. 2016. p. 1-12.
۲. Saliev, T., et al., Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin. *Prog Biophys Mol Biol*, 2019. 141: p. 25-36
۳. Keangin, P., K. Vafai, and P. Rattanadecho, Electromagnetic field effects on biological materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013. 65: p. 389-399.
۴. Zachariasen, W.H., THE ATOMIC ARRANGEMENT IN GLASS. *Journal of the American Chemical Society*, 1932. 54(10): p. 3841–3851.
۵. Varshneya, A.K., *Fundamentals of Inorganic Glasses*. 1994: Academic Press, Boston, MA.
۶. Varshneya, A.K. and J.C. Mauro, Comment on misconceived ASTM definition of "Glass" by A. C. wright. *Glass Technology. European Journal of Glass Science and Technology Part A*, 2010. 51(1): p. 28-30.
۷. Karmakar, B., *Fundamentals of Glass and Glass Nanocomposites*, in *Glass Nanocomposites*. 2016. p. 3-53.
۸. Karmakar, B., Introduction to functional glasses and glass-ceramics, in *Functional Glasses and Glass-Ceramics*. 2017. p. 3-21.
۹. Khanna, A., S.S. Bhatti, and K.J. Singh, Gamma-ray attenuation coefficients in some heavy metal oxide borate glasses at 662 keV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 1996. 114: p. 217-220.
۱۰. Mustafa, I.S., et al., Structural and optical properties of lead-boro-tellurite glasses induced by gamma-ray. *Int J Mol Sci*, 2013. 14(2): p. 3201-14.
۱۱. Yasaka, P., et al., Gamma radiation shielding and optical properties measurements of zinc bismuth borate glasses. *Annals of Nuclear Energy*, 2014. 68: p. 4-9.
۱۲. Halimah, M.K., et al., Influence of bismuth oxide on gamma radiation shielding properties of boro-tellurite glass. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2019. 512: p. 140-147.
۱۳. Elmahroug, Y., et al., Investigation of radiation shielding properties for Bi₂O₃ - V₂O₅ - TeO₂ glass system using MCNP5 code. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2018. 499: p. 32-40.
۱۴. Chanthima N. and J. Kaewkhao, Study on Interaction of Bi₂O₃, PbO and BaO in Silicate Glass System at 662 keV for Development of Gamma-Rays Shielding

- Materials. Progress in NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, 2011. 1: p. 106-109.
۱۵. Optics for Devices. TIE-35: Transmittance of optical glass, 2005.
 ۱۶. Środa, M., et al., The effect of CeO₂ on the thermal stability, structure and thermoluminescence and optically stimulated luminescence properties of barium borate glass. Journal of Non-Crystalline Solids, 2019. 517: p.61-69
 ۱۷. Kavaz, E., An experimental study on gamma ray shielding features of lithium borate glasses doped with dolomite, hematite and goethite minerals. Radiation Physics and Chemistry, 2019. 160: p. 112-123.
 ۱۸. Ali, A.M., et al., Optically transparent newly developed glass materials for gamma ray shielding applications. Journal of Non-Crystalline Solids, 2019. 521.
 ۱۹. Jaeger, R.G., Engineering Compendium on Radiation Shielding. Vol. II:Shielding Materials. 1975: International Atomic Energy Agency. Springer-Verlag Vienna.
 ۲۰. Singh, K.J., et al., Gamma-ray shielding and structural properties of PbO–SiO₂ glasses. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2008. 266(6): p. 944-948.
 ۲۱. Singh N., et al., Gamma-ray attenuation studies of glass system. Radiation Measurements, 2006. 41(1): p. 84-88.
 ۲۲. Kharita, M.H., et al., Shielding properties of lead and barium phosphate glasses. Radiation Physics and Chemistry, 2012. 81(10): p. 1568-1571.
 ۲۳. Janimak, J.J. and M. Marteleur, On the suitability of cerium oxide glass for terminal radiation sterilization. Radiation Physics and Chemistry, 2004. 71(1-2): p. 197-200.
 ۲۴. Curry, T.S., J.E. Dowdey, and R.C. Murry, Christensen's physics of diagnostic radiology. 1990: Lippincott Williams & Wilkins.
 ۲۵. Kaur, P., et al., Investigation of bismuth borate glass system modified with barium for structural and gamma-ray shielding properties. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc, 2019. 206: p. 367-377.
 ۲۶. Ersundu, A.E., et al., The heavy metal oxide glasses within the WO₃ -MoO₃ -TeO₂ system to investigate the shielding properties of radiation applications. Progress in Nuclear Energy, 2018. 104: p. 280-287.
 ۲۷. Saeed, A., Y.H. Elbashar, and R.M. El shazly, Optical properties of high density barium borate glass for gamma ray shielding applications. Optical and Quantum Electronics, 2015. 48.(۱)

۲۸. Du, L.S., et al., Pressure-induced structural changes in a borosilicate glass-forming liquid: boron coordination, non-bridging oxygens, and network ordering. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2004. 337(2): p. 196-200.
۲۹. Soltan, A.S., et al., The activation energy and fragility index of the glass transition in Se₇₆Te₂₁Sb₃ chalcogenide glass. *Thermochimica Acta*, 2013. 574: p. 73-78.
۳۰. Angell, C.A., Relaxation in liquids, polymers and plastic crystals - strong/fragile patterns and problems. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1991. 131-133: p. 13-31.
۳۱. Jürgen, E.K.S. and K.-U. Hess, The kinetics of the glass transition of silicate glass measured by fast scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, 2019. 677: p. 85-90.
۳۲. Chebli, K. and J.M. Saiter, Strong-fragile glass forming liquid concept applied to GeTe chalcogenide glasses. *Physica B: Condensed Matter*, 2001. 304: p. 228-236.
۳۳. Abd-Elrahman, M.I., et al., The activation energies at glass transition temperatures and dynamic fragility of (Se₉₀Te₁₀)₁₀₀- In glassy alloys. *Thermochimica Acta*, 2019. 672: p. 86-92.
۳۴. Debolt, M.A., et al., Analysis of Structural Relaxation in Glass Using Rate Heating Data. *Journal of the American Ceramic Society*, 1976. 59(1-2): p. 16-21.
۳۵. Böhmer, R., Non-linearity and non-exponentiality of primary relaxations. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1994. 172-174: p. 628-634.
۳۶. Wang, L.M., C.A. Angell, and R. Richert, Fragility and thermodynamics in nonpolymeric glass-forming liquids. *J Chem Phys*, 2006. 125(7): p. 074505.
۳۷. Borde, B., H. Bizot, and G. Vigier, Calorimetric analysis of the structural relaxation in partially hydrated amorphous polysaccharides. I. Glass transition and fragility. *Carbohydrate Polymers*, 2002. 48: p. 83-96.
۳۸. Ben Kacem, I., et al., Structure and properties of lead silicate glasses and melts. *Chemical Geology*, 2017. 461: p. 104-114.
۳۹. Smets, B.M.J. and T.P.A. Lommen, The structure of glasses and crystalline compounds in the system PbO₂-SiO₂, studied by X-ray photoelectron spectroscopy. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1982. 48(2-3): p. 423-430.
۴۰. Wang, P.W. and L. Zhang, Structural role of lead in lead silicate glasses derived from XPS spectra. *Journal of non-crystalline solids*, 1996. 194(1-2): p. 129-134.
۴۱. Kirdsiri, K., et al., Comparative study of silicate glasses containing Bi₂O₃, PbO and BaO: Radiation shielding and optical properties. *Annals of Nuclear Energy*, 2011. 38(6): p. 1438-1441.

۴۲. Salem, S.M., Dielectric properties, conductivity, UV-visible and infrared spectroscopy of PbO P2O5 NaF glasses containing WO3. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2012. 358(11): p. 1410-1416.
۴۳. Singh, V.P., N.M. Badiger, and J. Kaewkhao, Radiation shielding competence of silicate and borate heavy metal oxide glasses: Comparative study. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2014. 404: p. 167-173.
۴۴. Kumar, A., et al., Physical, structural, optical and gamma ray shielding behavior of (20+x) PbO – 10 BaO – 10 Na2O – 10 MgO – (50-x) B2O3 glasses. *Physica B: Condensed Matter*, 2019. 552: p. 110-118.
۴۵. Agar, O., et al., An extensive investigation on gamma ray shielding features of Pd/Ag-based alloys. *Nuclear Engineering and Technology*, 2019. 51(3): p. 853-859.
۴۶. Karabulut, M. and e. al., Mechanical and structural properties of phosphate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2001. 288(1-3): p. 8-17.
۴۷. Liu, B.B., et al., Viscosity, relaxation and fragility of the Ca65Mg15Zn20 bulk metallic glass. *Intermetallics*, 2019. 109: p. 8-15.

Abstract:

Today, electromagnetic absorber glass, especially lead silicate glass, is widely used for protection applications against these high energy waves. These glasses are used both in routine medical practice, including for the protection of staff and patients in X-ray experiments with materials and in the science of materials engineering in advanced research laboratories and instruments. And building material identification), used for the safety and security of the device. Due to its high atomic number, Pb has a high absorption coefficient and has good absorption power to absorb electromagnetic waves.

The aim of this study was to obtain high adsorbent lead silicate glass by adding different oxides of lead to obtain optimum adsorption. In this study a number of disadvantages of electromagnetic waves have been pointed out and the process of making lead silicate glass has been presented and their absorption rate is increased by adding oxides such as barium oxide, zinc oxide, boron oxide and calcium oxide by 5, 10 And 15% molar compared to basesample with 60% silicon molar and 40% lead oxide molar.

Also analysis such as differential scanning calorimetry, X-ray diffraction, scanning electron microscopy, density and reflection spectroscopy to calculate, discuss and evaluate various parameters such as fuzzy structure and morphology, glass temperature at different thermal rates, Activation, forbidden bandgap energy, fracture index, refractive index and absorption rate were determined and mass absorption coefficient of the samples was compared using XCOM software. The optimal sample was identified.

Keywords: Lead Silicate Glass, Absorbent Glass, Electromagnetic Waves, Differential Scanning Calorimetry(DSC), X-ray Diffraction(XRD), Scanning Electron Microscopy(SEM), Density, Diffuse Reflection Spectroscopy(UV-VIS), XCOM Software



Shahrood University Of Technology
Faculty of Chemical and Materials Engineering

M.Sc. Thesis in Ceramic Engineering

**Fabrication and characterization of electromagnetic
waves absorbant lead glasses**

By: Abolfazl Khodadadi

Supervisor:

Dr. Reza Taherian

August 2019