

## بی‌قاعدگی رسانش الکتریکی در شیشه‌های نقره وانادیم - تلوریمی در دماهای بالاتر از یک دمای مشخصه: شاهدی بر رسانش مخلوط یونی - پلارونی غیر بی‌دررو

زهرا اسمعیلی طحان، داریوش سوری\*

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ملایر

\* d.souri@gmail.com

### چکیده:

بی‌قاعدگی رسانش الکتریکی در رژیم رسانشی مخلوط یون-پلارون برای سیستم شیشه‌ای  $xAg_2O-(60-x)V_2O_5-40TeO_2$  با  $0 \leq x \leq 50$  درصد مولی، تهیه شده به روش معمول فرونشانی مذاب، مشاهده شد. در شیشه‌های مورد مطالعه، وابستگی دمایی رسانش الکتریکی جریان مستقیم نمونه‌ها از یک دمای مشخصه تا  $380$  درجه کلوین اندازه‌گیری شد که ماهیت نیم‌رسانایی نمونه‌ها را تایید نمود. مقادیر اندازه‌گیری شده در دمای نوعی  $300$  درجه کلوین در گستره‌ی  $Scm^{-1} \times 10^{-7} - 3/33 \times 10^{-7}$  بدست آمد که نشان‌دهنده‌ی روند کاهشی رسانش الکتریکی با افزایش تراکم اکسید نقره برای نمونه‌های با  $x = 0 - 30$  و یک روند افزایشی در نمونه‌های با  $x = 40 - 50$  می‌باشد. با افزایش درصد مولی  $Ag_2O$  در گستره‌ی  $20 \leq x \leq 50$  و به ویژه برای نمونه با  $x \geq 40$ ، مکانیسم رسانش از جهش پلارونی به پلارونی - یونی تغییر می‌یابد که شاهدی بر بی‌قاعدگی مکانیسم رسانشی است. مکانیسم رسانش الکتریکی نمونه‌های حاضر در دماهای بالاتر از یک دمای مشخصه، از مکانیسم جهش غیر بی‌دررو پلارون کوچک الکترون‌ها بین یون‌های وانادیم پیروی نموده و مقادیر تحرک و چگالی حامل بار به عنوان پارامترهایی مهم در بررسی خواص الکتریکی در رژیم غیر بی‌دررو محاسبه شدند. هم‌چنین بررسی پارامتر چگالی اکسیژن‌های غیرپیوندی نشان‌دهنده اثر  $Ag_2O$  روی پایداری گرمایی و تردی شیشه‌ها می‌باشد و دلالت بر معرفی نمونه‌ی با مقدار بحرانی  $x = 20$  بعنوان نمونه‌ی با بالاترین پایداری گرمایی دارد.

### اطلاعات مقاله:

دریافت: ۷ بهمن ۱۳۹۷  
پذیرش: ۲۸ مرداد ۱۳۹۸

### کلید واژه:

رسانش مخلوط پلارونی-یونی،  
سرمایش سریع مذاب، جهش غیر  
بی‌دررو پلارون‌های کوچک،  
چگالی اکسیژن‌های غیرپیوندی

### ۱- مقدمه

توجهی در زمینه انواع نیم‌رساناهای آمورف دست می‌یابند، چرا که حتی تغییر اندک درصد‌های مولی مولفه‌های تشکیل دهنده مواد آمورف، باعث پیدایش خواص و ویژگی‌های

علیرغم پیشینه دور بررسی ویژگی‌های مواد آمورف، سالانه دانشمندان و پژوهشگران فیزیک و علم مواد به نتایج جالب



یون های قلیایی مانند نقره، بتوان رسانش آنها را بهبود داد؛ بنابراین در پژوهش حاضر، از طریق وابستگی دمایی رسانش الکتریکی شیشه های اخیر در دماهای بالاتر از یک دمای مشخصه (دمای جدا کننده نواحی شیب بالا و پایین در نمودارهای وابستگی دمایی رسانش) به مطالعه بی قاعدگی رسانش الکتریکی و وجود رسانش یونی-پلارونی و همچنین تایید مکانیسم بی دررو جهش پلارون کوچک می پردازیم.

## ۲- فعالیت های تجربی

### ۲-۱- روش ساخت نمونه ها

در پژوهش حاضر، نمونه های  $(60-x)\text{Ag}_2\text{O}-40\text{TeO}_2-\text{V}_2\text{O}_5$  با ذوب مولفه های اولیه دی اکسید تلوریم، پنتا اکسید وانادیم و اکسید نقره، تهیه شده از شرکت مرک آلمان، با درصدهای مولی متفاوت  $x=0-50$  (که در ادامه متن به صورت  $\text{TVAgx}$  نمایش داده می شوند) به روش سرمایش سریع مذاب ساخته شدند. برای بررسی های الکتریکی، لازم است نمونه ها به صورت توده ای تهیه شوند. جزئیات تهیه نمونه های توده ای آمورف، توسط نویسندگان مقاله حاضر در مراجع شماره ۱۱ و ۱۲ شرح داده شده است. برای انجام بررسی های تجربی الکتریکی، لازم است نمونه های توده ای تهیه شده، به دقت صیقل داده شوند.

### ۲-۲- بررسی آزمایشگاهی نمونه ها

جهت بررسی ماهیت ساختاری نمونه های تهیه شده، طرح پراش پرتو  $x$  با دستگاه دیفرکتومتر اشعه  $x$  (Unisantis-  $\text{CuK}\alpha$ , India, XMD-300) به دست آمد. جرم حجمی نمونه ها نیز با روش ارشمیدس و استفاده از مایع غوطه وری پارازایلین ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ,  $\rho=0.861\text{gr/cm}^3$ ) در دمای اتاق به

متفاوت کاربردی در آن ها می شود [۷-۱]. بنابراین، ورود به حوزه پژوهش های آزمایشگاهی مختلف در زمینه ساخت و بررسی خصوصیات مواد آمورف با ساختار جدید و برخوردار از پتانسیل های مطلوب کاربردی، ضروری به نظر می رسد.

از بین شیشه های مختلف، شیشه های تلوریمی شامل اکسید فلزات واسطه (TMO) به دلیل دارا بودن خواص فیزیکی منحصر به فرد، مورد دقت و توجه بسیاری از پژوهشگران قرار دارند [۱۲-۸ و ۱]. از طرفی با توجه به ویژگی دی اکسید تلوریم در کمک به تشکیل شیشه در ترکیبات مختلف آمورف و نیز نم گیری پایین این ماده، استفاده از این ماده در ساخت شیشه بسیار مفید و مورد توجه می باشد [۱]. بنابراین با توجه به توضیحات ذکر شده و نیز پتانسیل بالای کاربردی شیشه های تلوریمی در ساخت وسایل الکتروشمیایی و اپتوالکترونیکی مانند باتری های حالت جامد، حسگرها، کلیدزن های الکتریکی و نوری و همچنین ویژگی های ضدباکتری و باکتری کشی [۱۳]، مطالعه وابستگی دمایی رسانش الکتریکی این دسته از شیشه ها در یک گستره دمایی وسیع می تواند گامی موثر در پیشرفت کاربرد این مواد باشد [۴-۲]. در مطالعات اخیر، شیشه های  $\text{TeO}_2-\text{ZnO}-\text{NiO}$  [۶]،  $\text{MoO}_3-\text{TeO}_2-\text{V}_2\text{O}_5$  [۵]،  $\text{TeO}_2-\text{PbO}$  [۷] و  $\text{TeO}_2-\text{V}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  [۱۰] از حیث خواص فیزیکی بررسی شده اند. هم چنین ترکیبات مختلفی از شیشه های  $\text{Ag}_2\text{O}-\text{TeO}_2-\text{V}_2\text{O}_5$  نیز از حیث خواص فیزیکی نوری و الکتریکی توسط نویسندگان این مقاله مورد بررسی و دقت نظر قرار گرفته است [۱۳-۱۱]. اغلب شیشه های مذکور از حیث رسانش الکتریکی بصورت پلارونی عمل نموده و بنظر می رسد که شاید با ورود

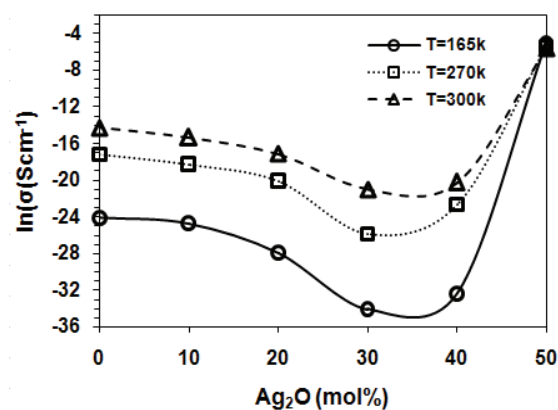


ترتیب انرژی فعال سازی، ثابت بولتزمن، انرژی بی نظمی، انرژی جهش، دمای نمونه، دمای دبای، رسانندگی DC و پیش فاکتور رسانندگی می‌باشند. پیش فاکتور  $\sigma_0$  در معادله ۱ نیز در رژیم جهش غیری در رو الکترون‌ها توسط رابطه زیر بدست می‌آید [۲۱۴]:

$$\sigma_0 = \frac{\nu_0 N e^2 R^2 C (1-C)}{k} \exp(-2\alpha R) \quad (3)$$

در این رابطه،  $\nu_0$  فرکانس فوتون‌های نوری، C کسر کاهیده‌ی یون‌های فلزات واسطه، N چگالی یون‌های فلزات واسطه،  $\alpha$  عامل فرو افت تابع موج الکترون و R فاصله متوسط یون‌های شبکه می‌باشد.

با توجه به داده‌های تجربی بدست آمده، مقادیر رسانش الکتریکی نمونه‌ها در دمای نوعی ۳۰۰ کلوین در گستره‌ی  $Scm^{-1}$   $3/33 \times 10^{-3}$  -  $5/88 \times 10^{-7}$  قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده‌ی کاهش رسانش الکتریکی با افزایش تراکم اکسید نقره برای نمونه‌های ۳۰- و افزایش رسانش الکتریکی در نمونه‌های ۴۰-۵۰ است. در شکل ۱، تغییرات رسانش الکتریکی برای نمونه‌های مورد مطالعه در دماهای ۱۶۵، ۲۷۰ و ۳۰۰ کلوین نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار تغییرات  $\ln \sigma$  برحسب درصد مولی  $Ag_2O$  برای نمونه‌های TVAgx در دماهای مختلف.

دست آمد. اثر دما بر رسانش الکتریکی نمونه‌های تهیه شده با ضخامت ۱ mm و شعاع ۱ cm با دستگاه الکترومتر Keithley (model 617) از دمای مشخصه تا ۳۸۰ K با استفاده از روش چهار سیمه اندازه گیری شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- الگوی پراش پرتو X (XRD)

الگوی XRD نمونه‌های ۴۰- TVAg مؤید ساختار آمورف نمونه‌ها است [۱۱-۱۲]، ولی در نمونه TVAg۵۰ قله‌های مشاهده شده نشانگر وجود فاز بلوری می‌باشد. جزئیات مربوط به الگوی XRD و نیز فازهای بلوری در نمونه TVAg۵۰ در کارهای قبلی مؤلف ذکر شده است [۱۱-۱۲].

#### ۳-۲- خواص الکتریکی و ملاحظات

##### مربوطه

در این بخش، وابستگی دمایی رسانش الکتریکی DC نمونه‌های TVAgx در دماهای بالا (دمای بزرگتر از نصف دمای دبای) مطابق مدل جهش پلارون کوچک بین حالت‌های جایگزیده (SPH) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مکانیسم، رسانندگی الکتریکی DC از رابطه زیر پیروی می‌کند [۲۱۴]:

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{T} \exp[-W/KT] \quad (1)$$

که در آن

$$W = \begin{cases} W_H + W_D/2 & T > \frac{\Theta_D}{2} \\ W_H & T < \frac{\Theta_D}{4} \end{cases} \quad (2)$$

در این رابطه،  $\sigma_0$ ,  $\sigma$ ,  $\Theta_D$ , T,  $W_H$ ,  $W_D$ , K, W به



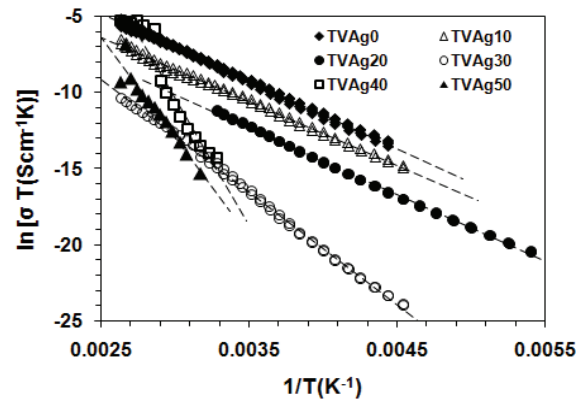
همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، تطابق خوب نمودار با رابطه ۱ نشان می دهد که در گستره ی دمایی مورد بررسی، برهمکنش الکترون-فونون در مکانیسم رسانشی جهش پلارون کوچک عهده دار رسانش الکتریکی جریان مستقیم DC در نمونه های مورد مطالعه خواهد بود. چنین رفتاری برای شیشه های  $Sb-TeO_2-V_2O_5$  [۹] و  $K_2O-TeO_2-V_2O_5$  [۱۵] نیز مشاهده شده است.

با استفاده از شیب نمودار تغییرات  $\ln(\sigma T)$  برحسب  $\frac{1}{T}$  در گستره ی دمایی بالا، می توان مقدار انرژی فعال سازی شیشه ها را با استفاده از روش کمترین مربعات با ضریب همبستگی خطی حدود  $0.9993$  بدست آورد. مقادیر به دست آمده در جدول ۱ ذکر شده اند. هم چنین، مقایسه مقادیر انرژی فعال سازی ( $W$ ) و گاف انرژی نوری ( $E_g$ ) [۱۱ و ۱۲] برای نمونه های مورد مطالعه (جدول ۱) موید این مطلب است که گذار حامل ها به صورت نوار به نوار نبوده و حامل های بار بین حالات جایگزیده جهش داشته اند.

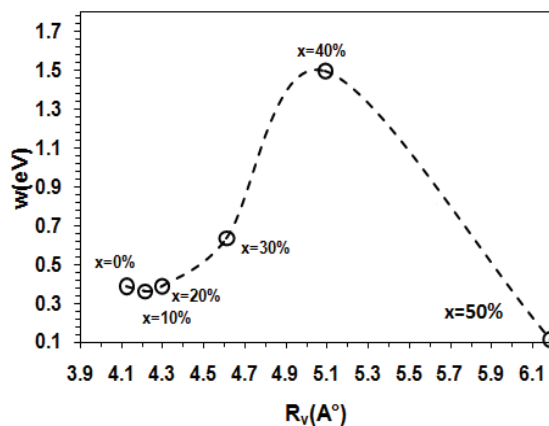
جدول ۱- مقادیر چگالی ( $\rho$ )، انرژی فعال سازی ( $W$ )، فاصله یون های وانادیم ( $R_V$ )، گاف انرژی نوری ( $E_g$ )، رسانندگی الکتریکی DC در دمای  $300\text{ K}$  ( $\sigma_{300k}$ )، پیش فاکتور رسانندگی فرمول مات ( $\ln \sigma_0$ )، حجم مولی اکسیژن ( $V_o$ ).

Sample	$\rho$ ( $\text{gr cm}^{-3}$ )	$W$ (eV) (Temperature range)[12]	$R_V$ ( $\text{A}^\circ$ )[12]	$E_g$ (eV) [11]	$\sigma_{300k}$ ( $\text{S cm}^{-1}$ )	$\ln \sigma_0$ ( $\text{S cm}^{-1} \text{K}$ ) [12]	$V_o$ ( $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$ ) [12]
TVAg0	3.587	0.385 (225-380k)	4.12	2.35	$5.88 \times 10^{-7}$	6.328	12.70
TVAg10	4.038	0.362 (220-380k)	4.21	2.30	$2.07 \times 10^{-7}$	4.167	12.99
TVAg20	4.756	0.391 (200-305k)	4.30	2.19	$3.49 \times 10^{-8}$	3.607	12.86
TVAg30	5.126	0.638 (220-380k)	4.61	2.30	$7.32 \times 10^{-10}$	9.357	14.21
TVAg40	5.717	1.502 (310-380k)	5.09	2.72	$1.55 \times 10^{-9}$	41.770	15.44
TVAg50	6.398	0.113 (315-380k)	6.18	-	$3.33 \times 10^{-3}$	-	17.29

در شکل ۱، علاوه بر مشاهده اثر افزایش درصد مولی اکسید نقره روی نمونه های مورد پژوهش، خصلت نیم رسانا بودن نمونه ها به علت افزایش رسانش با افزایش دما تایید شد. شکل ۲، نمودار تغییرات  $\ln(\sigma T)$  برحسب  $\frac{1}{T}$  را در گستره ی دمایی  $T > \frac{\Theta_D}{2}$  نشان می دهد.



شکل ۲- نمودار تغییرات  $\ln(\sigma T)$  برحسب  $\frac{1}{T}$  برای نمونه های TVAgx بالاتر از دمای مشخصه.



شکل ۳- نمودار تغییرات انرژی فعال‌سازی برحسب فاصله یون‌های وانادیم در نمونه‌های TVAgx [۱۲].

در واقع، تغییرات در رسانش الکتریکی DC شیشه‌های TVAgx به دو بخش تقسیم می‌شود. رسانش در گستره‌ی ۲۰-۵۰ TVAgx الکتریکی بوده و رسانش ناشی از حضور یون‌های نقره (رسانش یونی) در این رسانش نقشی اندکی دارد؛ اما در گستره‌ی ۵۰-۲۰ TVAgx رسانش، ناشی از حضور موثر یون‌های نقره در ترکیبات شیشه‌ها می‌باشد؛ بنابراین در این گستره هر دو رسانش الکتریکی و یونی موثر خواهند بود و در  $x \geq 40$  تغییر جدی در انرژی فعال‌سازی الکتریکی نشان‌دهنده غلبه رسانش یونی است. این موضوع نشان‌دهنده بی‌قاعدگی در روند رسانش الکتریکی نمونه‌هاست چرا که بطور معمول در شیشه‌های اکسیدی حاوی فلزات واسطه (نظیر وانادیم)، رسانش پلارونی رسانش غالب است.

### ۳-۴- تعیین پارامترهای رسانش الکتریکی

در این بخش، پارامترهای مربوط به رسانش الکتریکی شیشه‌های مورد مطالعه در گستره‌ی دماهای بالا، توسط

### ۳-۳- رابطه بین انرژی فعال‌سازی و فاصله میانگین یون‌های وانادیم

از آنجایی که ارتباط بین انرژی فعال‌سازی با فاصله بین یون‌های موجود در ساختار نمونه‌ها می‌تواند تحلیلی ساده بر مکانیسم رسانش الکتریکی DC نمونه‌ها باشد، به بررسی ارتباط بین پارامتر انرژی فعال‌سازی و فاصله بین یون‌های وانادیم در نمونه‌های مورد پژوهش می‌پردازیم.

فاصله یون‌های وانادیم در هر نمونه را می‌توان با استفاده از رابطه زیر یافت:

$$R_V \approx (1/N_V)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

در این رابطه  $N_V$  چگالی یون‌های وانادیم می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید [۹ و ۱۱].

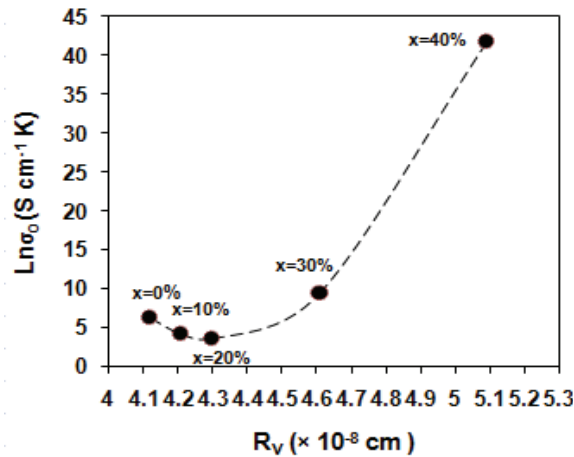
$$N_V = 2 [(\rho X_{V_2O_5} / M_{V_2O_5}) N_A] \quad (5)$$

که  $N_V$ ،  $\rho$ ،  $X_{V_2O_5}$ ،  $M_{V_2O_5}$ ،  $N_A$  به ترتیب عدد آووگادرو، جرم مولکولی ترکیب  $V_2O_5$  در نمونه، درصد مولی ترکیب  $V_2O_5$  در نمونه، چگالی نمونه، چگالی و فاصله یون‌های وانادیم در ترکیب نمونه هستند.

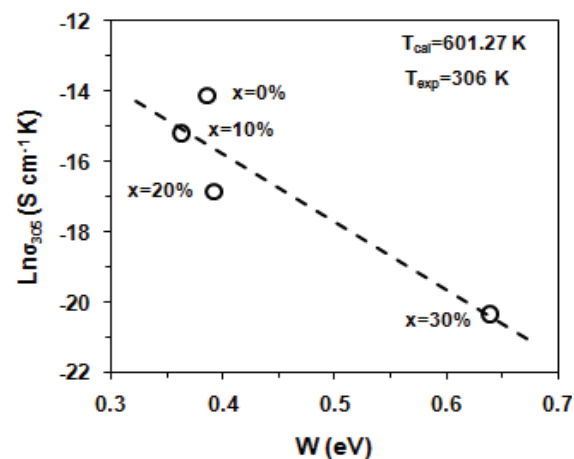
مقادیر چگالی نمونه‌ها و نیز چگالی و فاصله یون‌های وانادیم در ترکیبات نمونه در جدول ۱ ذکر شده‌اند.

شکل ۳ نمودار تغییرات انرژی فعال‌سازی نمونه‌ها را برحسب فاصله میانگین یون‌های وانادیم مطابق با مقادیر محاسبه شده، نشان می‌دهد.

تغییرات رفتاری مشاهده شده برای نمونه‌ها در شکل ۳ نشان دهنده تغییر مکانیسم رسانش از جهش پلارونی به پلارونی-یونی با افزایش درصد مولی  $Ag_2O$  از  $20 \leq x < 40$  و به ویژه برای نمونه با  $x \geq 40$  می‌باشد.



شکل ۴- نمودار رابطه بین  $\text{Ln} \sigma_0$  و فاصله یون های وانادیم در نمونه های TVAgx.



شکل ۵- نمودار رابطه بین  $\text{Ln} \sigma$  در دمای آزمایشگاهی  $306 \text{ K}$  بر حسب  $W$  در نمونه های TVAgx.

در دیدگاه اول، منحنی بودن نمودار شکل ۴ در نمونه های مورد مطالعه، موید شرط  $\exp(-2\alpha R) \neq 1$  بوده و به عنوان تاییدی بر غیر بی دررو بودن مکانیسم رسانش است. در دیدگاه دوم، نمودار  $\text{Ln} \sigma$  بر حسب  $W$  در یک دمای تجربی ثابت ( $T_{\text{exp}}=306 \text{ K}$ ) در شکل ۵ رسم شده است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، متفاوت بودن مقدار دمای بدست آمده حاصل از شیب خط چین رسم شده (طبق

مدل SPH تحت بررسی و دقت نظر قرار می گیرد. برای بررسی برخی پارامترهای مهم مربوط به رسانش الکتریکی نظیر تحرک و چگالی حامل بار، لازم است مکانیسم رسانش از نظر بی دررو و غیربی دررو بودن تعیین شود.

تعیین مکانیسم رسانش از نظر بی دررو بودن و یا غیربی دررو بودن از دو دیدگاه قابل بررسی است.

همان طور که ذکر شد، پیش فاکتور  $\sigma_0$  در معادله ۱ در مکانیسم غیربی دررو توسط رابطه ۳ بدست می آید [۲۱۴].

با توجه به اینکه در یک رژیم بی دررو  $\alpha R$  نادیده گرفته می شود، معادله ۱ به صورت زیر نوشته می شود [۲۱۴]:

$$\sigma = \frac{\nu_0 \text{Ne}^2 R^2 C(1-C)}{kT} \exp[-W/KT] \quad (6)$$

بنابر این، در صورتی که  $\exp(-2\alpha R) = 1$  باشد، مکانیسم رسانش بی دررو خواهد بود و در غیر این صورت مکانیسم رسانش غیر بی دررو خواهد بود. بنابر توضیحات ذکر شده، از دو دیدگاه، بی دررو بودن و یا غیر بی دررو بودن مکانیسم رسانش در نمونه ها بررسی می شود. در دیدگاه اول، بر طبق نمودار  $\text{Ln}(\sigma_0)$  بر حسب  $R_V$  (شکل ۴) و در دیدگاه دوم به عنوان تاییدی بر روش اول، نمودار  $\text{Ln} \sigma$  بر حسب  $W$  (شکل ۵) در یک دمای آزمایشگاهی مشخص، تایید کننده مکانیسم غیر بی دررو در نمونه های مورد مطالعه می باشد. در نتیجه مقادیر محاسبات مربوط به تحرک و چگالی حامل بار به عنوان پارامترهای مهم در بررسی ویژگی های الکتریکی نمونه ها در مکانیسم غیربی دررو محاسبه می شوند.



نتایج بررسی نوری نمونه‌ها توسط نویسندگان مقاله حاضر نیز تایید کننده این مطلب می‌باشد [۱۱ و ۱۲]. در بررسی نوری نمونه‌ها، گاف انرژی نوری نمونه‌های ۲۰-۴۰ TVAg<sub>0</sub> روند کاهشی و در نمونه‌های ۲۰-۴۰ TVAg<sub>20</sub> دارای روند افزایشی است؛ بنابراین کمینه گاف انرژی نوری، مربوط به نمونه ۲۰ TVAg<sub>20</sub> می‌باشد که موید تغییرات ساختاری و چگالی اکسیژن‌های گیرپیوندی در نمونه‌ها با افزایش درصد مولی اکسید نقره با شروع تغییر از نمونه ۲۰ TVAg<sub>20</sub> می‌باشد.

### ۳-۵- حجم مولی اکسیژن

بررسی پارامتر حجم مولی اکسیژن در نمونه‌های مورد مطالعه، نشان دهنده تاثیر تغییرات حجم مولی Ag<sub>2</sub>O روی پایداری گرمایی و استحکام شیشه‌ها می‌باشد. مقادیر حجم مولی اکسیژن در شیشه‌های TVAg<sub>x</sub> با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد [۱۶-۱۹].

$$V_0 = \frac{\{ (M_{V_2O_5} - 16C_V) x_{V_2O_5} + M_{TeO_2} x_{TeO_2} + M_{Ag} x_{Ag} \}}{\rho \{ (5 - C_V) x_{V_2O_5} + 2x_{TeO_2} + x_{Ag} \}} \quad (7)$$

در این رابطه، پارامترهای  $C_V$ ،  $M_i$ ،  $X_i$ ،  $\rho$  به ترتیب کسر کاهیده یون‌های وانادیم، وزن مولی اکسید، کسر مولی ترکیب شیشه و چگالی حجمی نمونه‌ها می‌باشند. مقادیر محاسبه شده حجم مولی اکسیژن نیز با توجه به مقادیر محاسبه شده چگالی و کسر کاهیده یون‌های وانادیم با استفاده از روش تیتراسیون در جدول ۱ ذکر شده است.

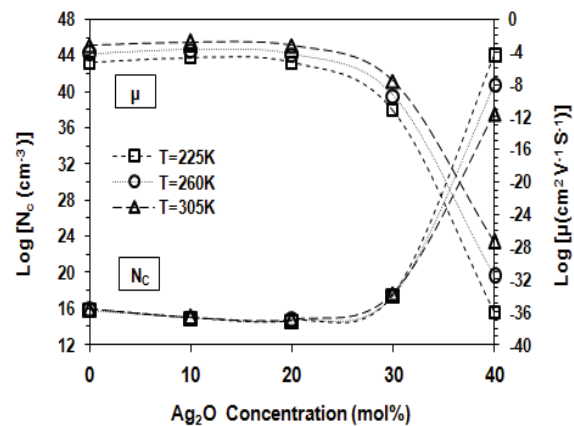
مطابق آنچه در جدول شماره ۱ آمده است، تغییر پارامتر حجم مولی اکسیژن در نمونه‌های TVAg<sub>x</sub> در گستره  $12/70 - 17/18 \text{ cm}^3/\text{mol}$  می‌باشد.

نتایج، نشان دهنده افزایش تدریجی حجم مولی اکسیژن با

رابطه (۱) با استفاده از تکنیک کمترین مربعات ( $T_{cal}$ )، با دمای تجربی ( $T_{exp}$ )، تاییدی بر غیر بی دررو بودن مکانیسم رسانش الکترونیکی می‌باشد. بنابراین، پس از اثبات غیر بی دررو بودن مکانیسم رسانش، مقادیر تحرک و چگالی حامل بار با استفاده از روابط مربوطه بدست می‌آیند. نحوه محاسبه این مقادیر در مراجع ذکر شده است [۱۱ و ۱۲].

نمودار شکل ۶ تغییرات تحرک و چگالی حامل بار را در سه دمای متفاوت ۲۲۵، ۲۶۰ و ۳۰۵ کلوین بر حسب درصد مولی اکسید نقره برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان

می‌دهد.



شکل ۶- نمودار تغییرات تحرک ( $\mu$ ) و چگالی حامل بار ( $N_c$ ) بر حسب درصد مولی Ag<sub>2</sub>O برای نمونه‌های TVAg<sub>x</sub>.

تغییرات تحرک و چگالی حامل بار نشان دهنده کاهش تحرک و افزایش چگالی حامل بار با شیب تند برای نمونه‌های با  $x \geq 20$  درصد مولی Ag<sub>2</sub>O می‌باشد که تایید کننده تغییر در شرایط نمونه‌ها در این درصد مولی و وجود رسانش یونی علاوه بر رسانش الکترونی در نمونه‌های ذکر شده می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که علیرغم افزایش چگالی حامل بار، تحرک رو به کاهش است و نقش هر دو عامل را در تحلیل رسانندگی باید بطور توأم در نظر گرفت.



برای نمونه‌ها نشان دهنده گذار نوار به نوار حامل نبوده و مؤند گذار حامل به صورت جهش حامل بار بین حالات جایگزیده می‌باشد.

- نتایج نشان دهنده‌ی افزایش تدریجی حجم مولی اکسیژن با افزایش درصد مولی  $Ag_2O$  برای نمونه‌های  $TVAg_{0-50}$  به جز نمونه‌ی  $TVAg_{20}$  می‌باشد؛ که نشان دهنده کاهش اکسیژن‌های غیرپیوندی در نمونه  $TVAg_{20}$  می‌باشد. این موضوع در بررسی‌های اپتیکی صورت گرفته روی نمونه‌های مورد مطالعه نیز با توجه به دارا بودن کمینه گاف انرژی برای این نمونه تایید شد. بنابر توضیحات فوق، نمونه  $TVAg_{20}$  از بین نمونه‌های مورد بررسی، دارای استحکام ساختاری مناسب‌تری می‌باشد.

## مراجع

- [1] R. El-Mallawany, "Some physical properties of tellurite glasses", *Tellurite Glass Smart Materials* (ISBN: 978-3-319-76568-6), Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76568-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76568-6_1) (ISBN: 978-331976568-6;978-331976567-6), pp. 67-105, 2018.
- [2] M. Pal, K. Hirota, Y. Tsujigami, H. Sakata, "Structural and electrical properties of  $MoO_3$ - $TeO_2$  glasses", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 34, pp.459-464, 2001.
- [3] R. Jose, T. Suzuki, Y. Ohishi, "Thermal and optical properties of  $TeO_2$ - $BaO$ - $SrO$ - $Nb_2O_5$  based glasses: New broadband Raman gain media", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 352, pp.5564-5571, 2006.
- [4] G. S. Murugan, T. Suzuki, Y. Ohishi, "Tellurite glasses for ultrabroadband fiber Raman amplifiers", *Applied Physics Letters*, Vol. 86, Article number 161109, 2005.

افزایش درصد مولی  $Ag_2O$  برای نمونه‌های  $TVAg_{0-50}$  به جز نمونه  $TVAg_{20}$  می‌باشد؛ که نشان دهنده کاهش اکسیژن‌های غیرپیوندی در نمونه  $TVAg_{20}$  می‌باشد. این موضوع در بررسی‌های اپتیکی صورت گرفته روی نمونه‌های مورد مطالعه نیز با توجه به دارا بودن کمینه گاف انرژی برای این نمونه تایید شد. بنابر توضیحات فوق، نمونه  $TVAg_{20}$  از بین نمونه‌های مورد بررسی، دارای استحکام ساختاری مناسب برای ساخت ابزاری مانند دیودهای نوری، سلول‌های خورشیدی و نیز دیودهای لیزری می‌باشد.

## ۴- نتیجه‌گیری

- خصلت نیم‌رسانایی بودن نمونه‌ها به علت افزایش رسانش با افزایش دما تایید شد.
- رسانش الکتریکی نمونه‌ها در دماهای بالاتر از یک دمای مشخصه، از مکانیسم جهش پلارون‌های کوچک پیروی می‌کند و در دماهای پایین‌تر از آن مکانیسم جهشی گستره متغیر مکانیسم غالب است.
- تغییرات در رسانش الکتریکی DC شیشه‌های  $TVAg_x$  به سه بخش تقسیم می‌شود. رسانش در گستره‌ی  $TVAg_{0-20}$  الکترونیکی بوده و رسانش ناشی از حضور یون‌های نقره (رسانش یونی) در این رسانش نقشی ندارد؛ اما در گستره‌ی  $TVAg_{20-40}$ ، رسانش ناشی از حضور موثر یون‌های نقره در ترکیبات شیشه‌ها می‌باشد؛ بنابراین در این گستره هر دو رسانش الکترونیکی و یونی موثر خواهند بود.
- مکانیسم رسانش در نمونه‌ها غیربی دررو تعیین شد.
- مقادیر انرژی فعال سازی (W) و انرژی گاف نوری ( $E_g$ )



- and bactericidal potential, their structural and extended XRD analysis by using Williamson-Smallman approach", *Ceramics International*, Vol. 45, pp.6459-6466, 2019.
- [14] N. Lebrun, M. Levy and J. L. Souquet, "Electronic conductivity in glasses of the  $\text{TeO}_2\text{-V}_2\text{O}_5\text{-MoO}_3$  system", *Solid State Ionics*, Vol. 40 & 41, pp.718-722, 1990.
- [15] S. A. Salehizadeh, B. M. G. Melo, F. N. A. Freire, M. A. Valente, M. P. F. Graça, "Structural and electrical properties of  $\text{TeO}_2\text{-V}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$  glassy systems", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 443, pp.65-74, 2016.
- [16] D. Souri, "Crystallization kinetic of  $\text{Sb-V}_2\text{O}_5\text{-TeO}_2$  glasses investigated by DSC and their elastic moduli and Poisson's ratio", *Physica B: Condensed Matter*, Vol. 456, pp.185-190, 2011.
- [17] H. Mori, H. Matsuno, H. Sakata, "Small Polaron Hopping Conduction in  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-Sb-TeO}_2$  Glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 276, pp.78-94, 2000.
- [18] H. Sakata, M. Amano, T. Yag, "DC conductivity of  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-PbO-TeO}_2$  glasses and the effect of pressure", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 194, pp.198-206, 1996.
- [19] H. Qiu, M. Kundo, H. Sakata, "Synthesis and electrical properties of  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-TeO}_2$  glasses", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 51, pp.233-238, 1997.
- [5] D. Souri, "Effect of molybdenum trioxide molar ratio on the optical and some physical properties of tellurite-vanadate-molybdate glasses", *Measurement*, Vol. 44, pp.717-721, 2011.
- [6] O. A. Zamyatin, M. F. Churbanov, J. A. Medvedeva, S. A. Gavrin, E. V. Zamyatina, A. D. Plekhovich, "Glass-forming region and optical properties of the  $\text{TeO}_2\text{-ZnO-NiO}$  system", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 479, pp.29-41, 2018.
- [7] S. H. Elazoumi, H. A. A. Sidek, Y. S. Rammah, R. El Mallawany, M. K. Halimah, K. A. Matori, M. H. M. Zaid, "Effect of  $\text{PbO}$  on optical properties of tellurite glass", *Results in Physics*, Vol. 8, pp.16-25, 2018.
- [8] D. Souri, M. Mohammadi, H. Zaliani, "Effect of antimony on the optical and physical properties of  $\text{Sb-V}_2\text{O}_5\text{-TeO}_2$  glasses", *Electronic Materials Letters*, Vol. 10, pp.1103-1108, 2014.
- [9] D. Souri, P. Azizpour, H. Zaliani, "Electrical conductivity of  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-TeO}_2\text{-Sb}$  glasses at low temperatures", *Journal of Electronic Materials*, Vol. 43, pp.3672-3680, 2014.
- [10] M. Farahmandjou, S. A. Salehizadeh, "The optical band gap and the tailing states determination in glasses of  $\text{TeO}_2\text{-V}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$  system", *Glass Physics and Chemistry*, Vol. 39, pp.473-479, 2013.
- [11] D. Souri, Z. E. Tahan, "A new method for the determination of optical band gap and the nature of optical transitions in semiconductors", *Applied Physics B: Lasers and Optics*, Vol. 119, pp.273-279, 2015.
- [12] D. Souri, Z. Esmaeili Tahan, S. A. Salehizadeh, "DC electrical conductivity of  $\text{Ag}_2\text{O-TeO}_2\text{-V}_2\text{O}_5$  glassy systems", *Indian Journal Physics*, Vol. 90, pp.407-415, 2016.
- [13] Y. Shahmoradi, D. Souri, M. Khorshidi, "Glass-ceramic nanoparticles in the  $\text{Ag}_2\text{O-TeO}_2\text{-V}_2\text{O}_5$  system: antibacterial