تأثیر بایندر آلی در خواص الکتریکی برقگیر اکسید روی

فهیمه عابدسعیدی*[۱]، احسان کوشا[۲]
۱- شرکت برقگیر توس
۲- شرکت برقگیر توس
۱- faabedsaeedi@yahoo.com
۲- ehsankoosha@ymail.com

چکیده- برقگیرهای اکسید روی شامل ستونی از سرامیک‌های نیمه‌هادی وریستور اکسید روی می‌باشند که در حالت عادی شبکه کاملاً عایق و در صورت عبور اضافه ولتاژ هادی می‌شوند. وریستورهای اکسید روی،سرامیک‌های نیمه رسانا بوده که خصوصیات الکتریکی غیر خطی عالی داشته که ناشی از مرز دانه ها و ریز ساختار آن می‌باشد. از نظر تئوری، گرانول های ریزتر با توزیع اندازه محدودتر، خواص الکتریکی بهتری ارائه می‌دهند. خصوصیات الکتریکی به اندازه و مورفولوژی گرانول ها بستگی دارد. در این تحقیق، اثر بایندر آلی بر روی توزیع دانه بندی گرانول ها و خواص الکتریکی وریستورهای *ZnO* مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از درصد بهینهٔ بایندر آلی منجر به تولید گرانول با توزیع دانه بندی مناسب می‌گردد که درنتیجه موجب بهبود وضعیت پرس پذیری، افزایش دانسیته و استحکام وریستور و در نتیجه بهبود خواص الکتریکی برقگیر مانند کاهش جریان نشتی به میزان ۷۵ درصد می‌شود.

کلید واژه- توزیع دانه بندی، خواص الکتریکی، دانسیته، گرانول، وریستور اکسید روی

۱- مقدمه

وریستورها سرامیک های نیمه رسانا هستند که میتوانند خطوط برق را در برابر افزایش ولتاژ محافظت نمایند. وریستورها دارای یک مشخصه غیر خطی ولتاژ-جریان می‌باشند که می‌توان توسط رابطه زیر نشان داد:

$$I = (V/C)^{\alpha}$$

V ولتاژ اعمالی، I جریان، C ثابت مربوط به مقاومت غیر خطی و α توان مشخصه است[۱]. معروف‌ترین وریستورها، وریستورهای اکسید فلزی (MOV) هستند که به عنوان وریستورهای ZnO شناخته می‌شوند. اهمیت این وریستورها به دلیل مشخصه الکتریکی غیر خطی و توانایی جذب بالای انرژی آنها است [۲]. ترکیب عمومی وریستورهای پایه ZnO شامل ZnO و چند درصد مولی از دیگر اکسیدهای افزودنی مانند Bi_2O_3، Sb_2O_3، Co_3O_4، Cr_2O_3 و MgO می‌باشد. این اکسیدهای فلزی به علت جریان نشتی کم و ضریب غیر خطی عالی در سیستم‌های الکترونیکی و خطوط برق مانند تجهیزات حفاظت صاعقه استفاده می‌شوند. در عمل، وریستور اتصالی بین نیروی صاعقه و زمین می‌باشد. به هنگام افزایش جریان الکتریکی، اضافه جریان از وریستور عبور کرده و در نتیجه موجب محدود شدن ولتاژ خطوط می‌شود؛ بنابراین، با کنترل خصوصیات وریستور می‌توان مشخصات حفاظتی مورد نیاز را بهینه کرد[۳]. این وریستورها از دانه‌های اکسید روی به عنوان زمینه و دیگر اکسیدها به عنوان ذرات تشکیل می‌شوند. مرز دانه های ZnO ضخامتی در حدود چند نانومتر دارد. روش تولید وریستورها همانند روش تولید سرامیک‌ها است که شامل مخلوط کردن اجزای پودر، با تشکیل فاز کلسینه یا بدون تشکیل این فاز، همراه با پرس و زینتر در دماهای بالا می‌باشد[۴-۶].

مشخصات یک وریستور عالی با میزان α بالای آن در ناحیه غیر اهمی، تغییرات شدید در رفتار الکتریکی از ناحیه خطی به ناحیه غیر خطی و دارا بودن مقاومت به نشتی بالا در ناحیه قبل از شکست شناخته می‌شود. وریستورها می‌توانند در میدان‌های AC و DC در یک محدوده وسیع ولتاژ از چند ولت تا ده‌ها کیلو ولت، و در یک محدوده وسیع از جریان، از چند میکرو آمپر تا چند

کیلو آمپر مورد استفاده قرار گیرند. وریستورها دارای قابلیت جذب انرژی بالا تا هزاران ژول می‌باشند[۷]. ولتاژ شکست و مقاومت این وریستورها به شرایط ریز ساختاری شدیداً وابسته است؛ بنابراین اندازه دانه، توزیع دانه بندی مناسب و همگنی ریز ساختار پارامترهای بسیار مهمی در ساخت وریستور هستند[۳].
بایندرها برای بهبود قابلیت جریان‌یابی به پودرهای سرامیکی افزوده می‌شوند و درنتیجه باعث بهبود مشخصات پرس پذیری می‌گردد [8]. دمای سوختن چسب باید کمتر از دمایی باشد که انقباض آغاز می‌گردد و درنتیجهٔ این امر موجب می‌گردد بخارات چسب قبل از انقباض به طور کامل از وریستور خارج گردد [9]. در صورتی که نرخ سوختن چسب در کوره افزایش یابد حفره‌ها و ترک‌های مویی در وریستور ایجاد خواهد شد.
در این مقاله به بررسی ساخت وریستوری با مشخصه ولتاژ-جریان غیر خطی عالی و جریان نشتی بسیار کم با تغییر درصد بایندر آلی پرداختیم.

۲- روش انجام آزمایش

جهت بررسی خواص وریستور، نمونه های آزمایشگاهی با ترکیب شیمیایی مشهور Matsuka آماده شدند [۱۰]. ترکیب شیمیایی به کار رفته در وریستورها بر حسب درصد مولی در جدول ۱ نشان داده شده است. بدین جهت این ترکیب مورد استفاده قرار گرفت تا بتوان نتایج بدست آمده را با تحقیقات بسیاری که بر روی این ترکیب صورت گرفته مقایسه کرد و در نتیجه اثر دانه بندی را که مدنظر است به تنهایی مورد بررسی قرار داد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مورد استفاده در ساخت وریستور (بر حسب درصد مولی)

مواد اولیه	ZnO	Sb_2O_3	Bi_2O_3	MnO_2	Cr_2O_3	Co_3O_4
ترکیب	۹۷	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵

دوغاب با افزودن آب مقطر، بایندر آلی و مواد پراکنده ساز به مخلوط اولیه پودرهای خشک، در درون آسیاب گلوله ای تهیه گردید. با افزایش آب مقطر و بایندرهای آلی دوغاب با چگالی های متفاوت فراهم شد. درصد بایندر و محتوای جامد در دوغاب تغییر داده شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. این دوغاب ها پس از اسپری کردن بر روی یکسری الک مکانیکی منتقل و به مدت ۳ دقیقه تحت تکان و لرزش قرار گرفتند. گرانول های حاصل از نمونه های مذکور به شکل دیسک و به قطر و ضخامت ۴۱ میلی متر توسط پرس هیدرولیک پرس شدند. ۱۰ نمونه قرص خام با درصدهای مختلف بایندر پرس شدند. عملیات آسیاب کردن، تهیه گرانول و پرس نمودن پودرها به گونه ای انجام می‌شود که از حضور آلودگی‌ها در گرانول که می‌توانند موجب خلل در خواص وریستور گردند، جلوگیری به عمل آید. قرص‌ها در ۱۲۰۰ °C و به مدت ۲ ساعت زینتر شدند. پس از اعمال پوشش لعاب بر روی قرص‌های زینتر شده، سطوح آن ها الکترود گذاری گردید. به منظور اندازه گیری مشخصات ولتاژ-جریان، به نمونه‌ها ولتاژهای مختلف اعمال گردید و جریان عبوری توسط دستگاه مولتی متر اندازه گیری شد. ولتاژ آستانه در چگالی جریان ۱ mA/cm2 اندازه گیری گردید.

جدول ۲. درصدهای وزنی مختلف بایندر و جامد محلول در دوغاب

نمونه آزمایشی	سطح تست (٪)	
	بایندر	*جامد*
1	*1*	*72*
2	*1.3*	*72*
3	*1.6*	*72*
4	*1*	*80*
5	*1.3*	*80*
6	*1.6*	*80*

مشخصات پودر

پودرها با درصدهای مختلف بایندر و غلظت‌های مختلف جامد محلول در دوغاب تولید شدند. جهت دستیابی به پودر بهینه ویژگی‌هایی نظیر چگالی دوغاب و رابطهٔ آن با خواص الکتریکی وریستور، دانسیته خام، قابلیت تراکم پذیری، دانسیته پخته و استحکام خام وریستور خام اندازه‌گیری گردید.

دانسیته خام

۱۵۰ گرم از هر نوع پودر داخل دستگاه پرس با قطر حفرهٔ 50mm و ارتفاع 25mm پرس گردید. قرص‌های استوانه‌ای شکل با قطر (d_g) و ارتفاع (h_g) برای محاسبه حجم استفاده می‌شوند که دانسیته قرص خام مساوی جرم تقسیم بر حجم می‌باشد.
استحکام قرص خام
این امر توسط دستگاه فشرده سازی قطری تعیین می‌گردد. قرص

بین دو صفحه قرار داده ی‌شود و باری با سرعت 5 mm/min به کار می‌رود. استحکام قرص از رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_a = 2\,P / \pi\, d_a\, h_a \qquad (1)$$

دانسیته پخته

به هنگام پرس پودر و اصطحکاک دیواره‌های قالب پرس با پودر دانسیته‌های مختلفی در قرص خام ایجاد می‌گردد [11]. پس از زینترینگ وریستور کاملاً استوانه‌ای شکل نخواهد بود؛ بنابراین حجم وریستور زینتر شده از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌گردد[12] :

$$V_f = (\pi/64) * h_t[(d_t+d_0)^2+4d_m(d_t+d_0)+4d_m^2] \qquad (2)$$

۳- نتایج و بحث

تأثیر محتوای بایندر و غلظت جامد موجود در دوغاب بر روی دانسیته دوغاب در جدول ۳ بررسی شده است. همچنین ارتباط بین دانسیته دوغاب و مشخصه ولتاژ-جریان بررسی گردید که نتایج این آزمایشات در شکل ۱ مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۱ در می‌یابیم مشخصه خواص الکتریکی عالی وریستور برای دانسیته بزرگ‌تر یا مساوی با۲/۵g/cc فراهم می‌گردد. چگالی دوغاب وریستور بر طبق JIS R 1639-2 اندازه‌گیری می‌شود. چگالی‌های دوغاب پایین‌تر، باعث به وجود آمدن تخلخل‌هایی در وریستور اکسید روی می‌شود و بین گرانول‌های وریستور اکسید روی ارتباط کمتری خواهد بود. اگر دانسیته دوغاب کمتر از این مقدار باشد باعث ایجاد شکاف‌هایی در وریستور می‌شود که مشخصه ولتاژ-جریان وریستور را معیوب می‌کند.

همچنین در گرانول های حاصل از اسپری کردن دوغاب با دانسیته کمتر از g/cc ۲/۵ میزان پوک بودن گرانول‌ها بیشتر می‌گردد و گرانول ها از شکل کروی خود خارج می‌شوند، در دانسیته بالاتر از g/cc ۲/۵ گرانول‌های کروی‌تر و چگال‌تری خواهیم داشت که این امر موجب کاهش تخلل‌ها در مرحله پرس و در نتیجه موجب بهبود خواص وریستور می‌شود. شکل میکروسکوپی گرانول‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

اثر درصد بایندر موجود در دوغاب و سطح جامد موجود در آن بر روی استحکام وریستور خام و دانسیته وریستور پخته و خام در جدول ۴ نشان داده شده است.

تغییر مشخصات الکتریکی وریستور با توجه به انحراف سطح بایندر و غلظت جامد در جدول ۵ نشان داده شده است. آنالیز نتایج نشان می‌دهد که ولتاژ نامی وریستور کاملاً با درصدهای مختلف بایندر تغییر می‌کند. مقدار ولتاژ نامی با تغییر سطح بایندر از ۱٪ به ۱,۳٪ کاهش می‌یابد اما در مقدار بایندر ۱,۶٪ در هر دو حالت درصد جامد کم و زیاد، دوباره افزایش می‌یابد.

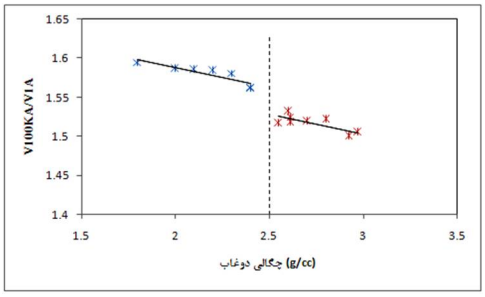
اثر سطح جامد روی ضریب غیرخطی بسیار مؤثر است. همانگونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود بالاترین ضریب غیر خطی با سطح بایندر کمتر و غلظت جامد بالاتر حاصل می‌شود.

قابلیت جذب انرژی وریستور وابسته به سطح جامد و درصد بایندر است. پودر تولید شده با بایندر کمتر و درصد بالاتری از جامد دوغاب دارای قابلیت جذب انرژی بالاتری خواهد بود.

جدول ۳. تأثیر سطح بایندر و غلظت جامد موجود در دوغاب بر روی دانسیته دوغاب

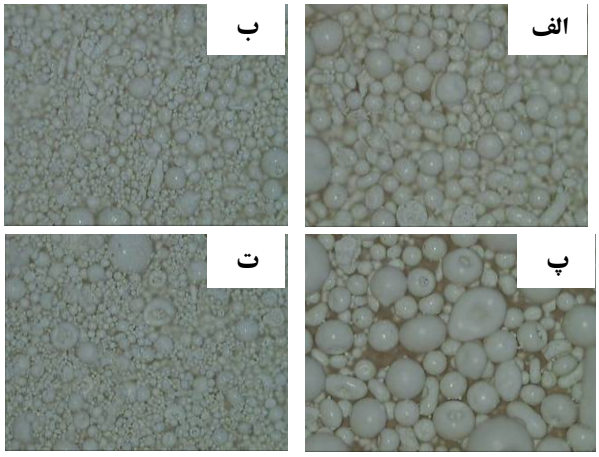
پارامترهای ورودی		
دانسیته دوغاب (gm/cc)	غلظت جامد	سطح بایندر
۲,۴	*72*	*1*
۲,۳	*72*	*1.3*
۲,۶	*72*	*1.6*
۲,۶	*80*	*1*
۲,۵	*80*	*1.3*
۲,۸	*80*	*1.6*

شکل۱. منحنی مشخصهٔ ولتاژی وریستور بر حسب چگالی دوغاب آن



جدول ۴. تأثیر درصد بایندر و غلظت جامد موجود در دوغاب بر روی استحکام و دانسیته قرص خام و پخته

پارامترهای ورودی		پاسخ		
سطح بایندر	سطح جامد	دانسیته خام (gr/cm^3)	دانسیته پخته (gr/cm^3)	استحکام خام (Mpa)
۱	۷۲	2.658	0.754	5.263
۱,۳	۷۲	2.752	0.780	5.31
۱,۶	۷۲	2.715	0.815	5.248
۱	۸۰	2.85	0.905	5.339
۱,۳	۸۰	2.994	0.921	5.364
۱,۶	۸۰	2.876	0.930	5.215



شکل ۲. تاثیر دانسیته دوغاب بر روی شکل ظاهری و توزیع اندازه گرانول ها، الف)۲/۶۱، ب) ۲/۵۵، پ) ۲/۳، ت) ۲/۲

جدول ۵. تأثیر درصد بایندر و غلظت جامد موجود در دوغاب بر روی خواص الکتریکی وریستور

پارامترهای ورودی		پاسخ		
سطح بایندر	سطح جامد	ولتاژ نامی (V/mm)	ضریب غیرخطی	انرژی (J/cm^3)
۱	۷۲	208	26.5	253
۱,۳	۷۲	200	26.3	221
۱,۶	۷۲	212	26.7	231
۱	۸۰	212	27.2	261
۱,۳	۸۰	208	25.7	257
۱,۶	۸۰	220	26.9	255

۴. نتیجه‌گیری

پودر تولید شده از دوغاب حاوی سطح پایین‌تر بایندر و سطح بالاتری از جامد محلول در آن منجر به افزایش بیشتر تراکم و دانسیته قرص خام و افزایش قابلیت جریان‌یابی می‌باشد. استحکام بیشتر قرص خام زمانی فراهم می‌گردد که که دوغاب دارای سطح بالاتری از بایندر باشد.

چگالی دوغاب فراهم شده با درصد بالاتری از بایندر افزایش می-یابد و با افزایش چگالی دوغاب ولتاژ نامی وریستور افزایش خواهد یافت. همچنین درصد پایین‌تر بایندر و سطح بالاتری از جامد منجر به افزایش قابلیت جذب انرژی خواهد شد.

مراجع

[1] Chong Phui Fah, John Wang, Effect of high-energy mechanical activation on the microstructure and electrical properties of ZnO-based varistors, Solid State Ionics 132 (2000) 107–117.

[2] Mohammad Reza Meshkatoddini, Metal Oxide ZnO-Based Varistor Ceramics, InTechOpen, 2011

[3] Arman Sedghi and Nastaran Riyahi Noori, Comparison of electrical properties of zinc oxide varistors manufactured from micro and nano ZnO powder, Journal of Ceramic Processing Research. 12 (2011) 752-755.

[4] M. Matsuoka, Nonohmic properties of zinc oxide ceramics, Jpn.J. Appl. Phys. 10 (1971) 736.

[5] K. Eda, Zinc oxide varistors, IEEE Elcetr. Insul. Mag. 5 (1989) 28.

[6] T.R.N. Kutty, S. Ezhilvalavan, The influence of Bi O non- 2 3 stoichiometry on the nonlinear property of ZnO varistors, . Mater. Chem. Phys. 38 (1994) 267.

[7] A.sinba and B.P Sharma, morel runte for preparation of high voltage varistor powder, mat.resa.Bull, 32, (1997) 157.

[8] M.D. Hudaa, R. Puyane M.A. El Baradie, M.S.J. Hashmi, "Failure modelling for ZnOvaristors", Journal of Materials Processing Technology, Vol 77, (1998, 273 – 277.

[9] R.A. Dilimia, J.S. Reed, "Stress transmission during the compaction of a spray dried alumina powder in steel die", J. Am. Ceram. Soc. U.S.A. 66 (9) (1983) 667–672.

[10] Matsuka, M., Discovery of ZnO varistors and their progress for the two decades. Ceram.Trans., 1982,3, 3-2

[11] A.N.M. Karim, R. Puyane, M. El-Baradie, M.S.J. Hashmi, "Effect of compaction parameters on the physical properties of zinc oxide varistor discs, in" Proceedings of the International Conference on Mechanics of Solids and Material Engineering, vol. A, 1995, pp. 286–291.

[12] A. Yaya1, 2 and d. Dodoo-arhin, "The influence of Bi2O3 and Sb2O3 doping on the microstructure and electrical properties of sintered zinc oxide", ARPN journal, Vol. 7, No. 7, july 2012.