

## بررسی تأثیر خواص مکانیکی و مقاومت عایقی نانو ذرات رس در بستر آمیزه PVC/A

علی رضانی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> شرکت تولیدی و صنعتی سیم و کابل مغان/مرکز علمی و کاربردی سیم و کابل مغان، R&D سیم و کابل مغان، شاهرود، a.ramezani@moghancableco.com

### چکیده

یکی از اجزای جدایی‌ناپذیر شبکه انتقال برق و توزیع آن سیم و کابل‌ها هستند. همان‌طور که مشهود است افزایش سطح ولتاژ با افزایش ضخامت عایق در کابل همراه است، از این رو انتخاب نوع عایق با ویژگی‌های بهبود یافته جهت استفاده در سیم و کابل‌ها امری ضروری است. از طرفی عایق کابل از مهم‌ترین اجزای سازنده کابل می‌باشد و وظیفه حفاظت از سیم‌های درون کابل در برابر جریان الکتریکی و سایر عوامل محیطی را بر عهده دارد؛ هم‌چنین قابل ذکر است افزایش مقاومت عایقی و استحکام مواد عایقی به جنس مواد اولیه مورد استفاده و ضخامت عایق بستگی دارد. فناوری نانو می‌تواند در بهبود خواص عایقی و مکانیکی کابل کمک کند. لذا در این مقاله اثر نانو ذرات رس به عنوان تقویت‌کننده عایق در آمیزه PVC/A مورد بررسی قرار گرفته است. تست‌های مقاومت عایقی و مکانیکال به صورت کامل انجام شده و نتایج آن با PVC/A مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد، نانو ذرات رس در بستر ماتریس به عنوان تقویت‌کننده، موجب بهبود خواص عایقی و مکانیکی می‌شود.

### کلمات کلیدی

کابل / عایق / نانو ذرات / رس / خواص مکانیکی / مقاومت عایقی / بهبود خواص

ذرات رس بر خواص کابل پرداخته شده است؛ نتایج نشان می‌دهد که نانو ذرات رس می‌تواند مقاومت عایقی، مقاومت در برابر دما و مقاومت در برابر آب در کابل‌ها را به طور قابل توجهی افزایش دهد. بررسی روش‌های تولید و ارزیابی عایق کابل مبتنی بر نانو ذرات رس توسط H.Li y.Wang و همکارانش [۴] انجام شده است؛ نتایج نشان می‌دهد عایق‌های کابل مبتنی بر نانو ذرات رس دارای خواص عایقی بهتری نسبت به عایق کابل‌های سنتی هستند. A.T.Akbari و همکاران [۵] به بررسی اثرات استفاده از نانو ذرات رس بر خواص مکانیکی و عایقی کابل پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نانو ذرات رس می‌توانند استحکام کششی، استحکام فشاری و مقاومت عایقی کابل‌ها را به طور قابل توجهی افزایش دهد. بررسی روش‌های توسعه عایق مبتنی بر نانو ذرات رس با مقاومت بالا در برابر دما و خوردگی توسط H.wang و همکارانش [۶] انجام شد؛ نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که عایق‌های کابل مبتنی بر نانو ذرات رس با استفاده از روش‌های مناسب می‌توانند دارای خواص عایقی و مکانیکی بسیار خوبی باشند.

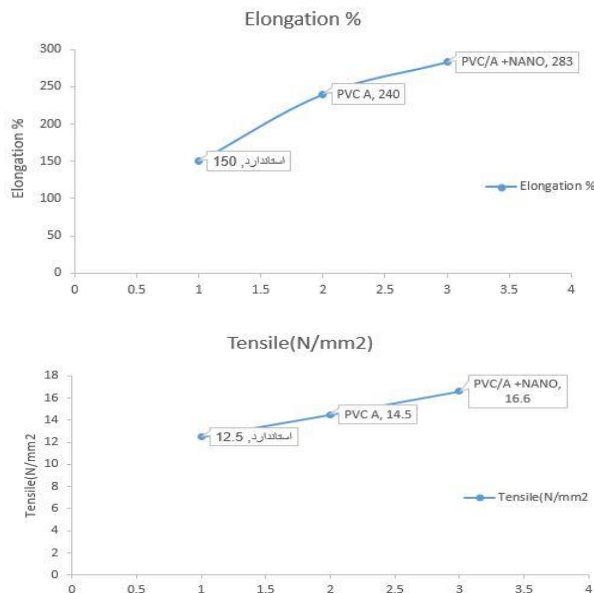
### ۱. مقدمه

عایق کابل بسته به نوع کاربرد می‌تواند جنس‌های مختلفی داشته باشد. متداول‌ترین نوع عایق‌ها در صنعت سیم و کابل PE، XLPE، PVC و NBR می‌باشد. عایق سیم و کابل می‌بایست مانع هدایت جریان الکتریکی به خارج شده و مقاومت خوبی در برابر عوامل مکانیکی داشته باشد. در عین دارا بودن خواص مکانیکی، قابلیت ارتجاعی نیز اهمیت بالایی دارد، هم‌چنین قابل ذکر است ضخامت عایق بر اساس استانداردهای مربوطه تعیین می‌شود. [۱] C. Pugazhendhi Sugumaran خواص الکتریکی و مقاومت عایقی مواد پلیمری در صنعت سیم و کابل می‌تواند تحت تأثیر مواد پرکننده نانو در بستر ماتریس پلیمری باشد. نتایج مقاله تجربی D.Edison Selvaraj و همکاران [۲] نشان می‌دهد که نانو لوله کربن مخلوط شده با پلی‌آمید می‌تواند خواص حرارتی را تا حد زیادی بالا ببرد. در مقاله A.mostafaei و همکاران [۳] به بررسی اثرات استفاده از نانو

مکانیکی از نمونه press sheet تولید شده در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. تولید press sheet در دمای ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۷ الی ۸ دقیقه انجام شده است. نتایج این بررسی در جدول ۱ قابل رؤیت می‌باشد.

جدول (۱) : نتایج تست press sheet

مقادیر استاندارد	
استحکام کششی (N/mm <sup>2</sup> )	ازدیاد طول %
12.5	150
مقادیر PVC/A	
استحکام کششی (N/mm <sup>2</sup> )	ازدیاد طول %
14.5-15	240-250
مقادیر PVC/A+NANO CLAY	
استحکام کششی (N/mm <sup>2</sup> )	ازدیاد طول %
16.6	283



شکل (۱) : مقادیر استحکام کششی و ازدیاد طول

همان‌طور که انتظار می‌رود مطابق با شکل ۱ مقادیر استحکام کششی و ازدیاد طول<sup>۱</sup> با افزایش قابل توجهی برای آمیزه حاوی نانو ذرات همراه می‌باشد.



شکل (۲) : نمونه های دمبلی جهت تست



شکل (۳) : نمونه های سیم تولید شده

لازم به ذکر است تحقیقات در این زمینه هم‌چنان ادامه دارد و انتظار می‌رود که در آینده شاهد توسعه عایق‌های نانو با خواص بهتر و کاربرد گسترده‌تر باشیم.

در این مقاله بررسی تأثیر خواص مکانیکی و مقاومت عایقی نانو ذرات رس در بستر آمیزه PVC A مورد بحث و آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد نانو ذرات به کاهش جریان الکتریکی در سطح عایق کمک می‌کنند و مقاومت عایق را افزایش می‌دهد. هم‌چنین نانو ذرات می‌توانند به بهبود مقاومت عایق‌ها در برابر دماهای بالاتر و سایر عوامل محیطی کمک کنند. نتایج نشان می‌دهد نانو ذرات رس دارای ساختاری لایه لایه هستند که باعث می‌شود سطح تماس آن‌ها با مواد دیگر بسیار زیاد باشد در نتیجه نانو ذرات رس می‌توانند به طور مؤثری جریان الکتریکی را در سطح عایق کاهش و مقاومت عایقی را افزایش دهند. هم‌چنین از دیگر نتایج به دست آمده می‌توان به کاهش تلفات انرژی و بهبود قابلیت اطمینان اشاره نمود.

## ۲. تعریف مشکل و چالش‌های مورد بررسی

خواص مکانیکی و مقاومت عایقی دو مشخصه مهم برای عایق سیم و کابل‌ها به شمار می‌رود، از طرفی عایق کابل از مهم‌ترین اجزای کابل به حساب می‌آید و وظیفه حفاظت هادی در برابر عوامل خارجی را بر عهده دارد. مقاومت عایقی موادی مانند PVC و PE برای عایق کابل‌ها مناسب است اما مقاومت عایقی این مواد در برابر جریان الکتریکی بالا محدود است و در دماهای بالاتر می‌توانند دچار تخریب شوند. فناوری نانو می‌تواند در بهبود خواص عایق‌ها (مکانیکی/ الکتریکی) کمک کند؛ نانو مواد دارای خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی هستند که می‌توانند به بهبود عملکرد عایق‌ها منجر شوند. لذا با توجه به اینکه چالش مورد بررسی استفاده از مواد نانو جهت کاهش ضخامت لایه عایق و وزن بود، از نانو ذرات رس جهت بهبود مقاومت عایق‌ها در برابر عوامل مکانیکی/ الکتریکی استفاده گردید. نانو ذرات رس با توجه به اینکه سطح بسیار بزرگی دارند (نسبت سطح به حجم) می‌توانند خواص الکتریکی را افزایش دهند.

## ۳. ارائه روش، راه‌حل و دستاوردهای حاصله

در این بررسی افزودن نانو ذرات رس، به پروسه تولید PVC/A در واحد کامپاندسازی و در محل افزودنی‌ها به سایر ترکیبات اضافه شده است. درصد وزنی ذرات نانو در این بررسی ۰.۲ درصد وزنی در نظر گرفته شده است. پس از ساخت نمونه گرانول حاوی نانو ذرات رس، تست‌های

<sup>۱</sup> Elongation

<sup>۱</sup> Tensile

یافته است، اما نکته حائز اهمیت این است که این مقادیر بعد از تست کهنگی نه تنها مطابق با PVC/A کاهش نیافته است بلکه افزایش داشته و این نشان می‌دهد که در پروسس تولیدی می‌توان بازه‌های دمایی را تا دماهای بالاتر از حد PVC/A افزایش داد؛ این امر مقاومت در برابر حرارت در مدت زمان مشخص را برای PVC/A+NANO CLAY به همراه دارد. یکی از پارامترهای مهم و مؤثر در این بررسی، مقایسه مقاومت عایقی مواد آمیزه‌های حاوی نانو با مواد پلیمری معمولی می‌باشد. در جدول ۳ مقادیر به‌دست آمده از نتیجه بررسی مشهود است.

سپس با توجه به تأیید مقادیر و خواص مکانیکی و ارتقاء خواص تست اولیه این مواد به عنوان عایق برای سیم ۱٫۵ میلی‌متر مربع به صورت تستی تولید گردید؛ نتایج بررسی‌ها در جدول ۲ قابل رؤیت می‌باشد.

مشخصات	استاندارد	معیار	نتایج واقعی	
			PVC/A	PVC/A+NA NO CLAY
استحکام کششی از یاد طول	IEC 60811-501	$\geq 12/5$ N/mm <sup>2</sup>	۱۴/۵	۱۶
		$\geq 150\%$	۲۵۱	۲۶۰

جدول (۲) : نتایج تست عایق

همان‌طور که انتظار می‌رود و در جدول ۲ مشهود است، مقادیر خواص مکانیکی شامل استحکام کششی و ازدیاد طول نسبت به PVC/A بهبود

مشخصات	استاندارد	معیار	نتایج واقعی		
			PVC/A	PVC/A+NANOCLAY	
تست های انجام شده برای مواد جدید					
خواص مکانیکی از یاد طول	استحکام کششی از یاد طول	$\geq 12/5$ N/mm	۱۴/۷	۱۶/۲	
		$\geq 150\%$	۲۳۳	۲۷۵	
	تغییرات در استحکام کششی تغییرات در ازدیاد طول	IEC 60811-401	بیشینه: $\pm 25\%$	۱/۳۷	۴/۴
			بیشینه: $\pm 25\%$	۷/۱	-۰/۹۶
تست شوک حرارتی (ترک خوردگی)	IEC 60811-509	بدون ترک	بدون ترک	بدون ترک	
تست فشار در دمای بالا	IEC 60811-508	بیشینه: ۵۰٪	۲۳/۵	۲۶/۲	
تست خمش در دمای پایین	IEC 60811-504	بدون ترک	بدون ترک	بدون ترک	
از دست دادن جرم در کوره هوا PVC/C	IEC 60811-409	۲ mg/cm <sup>2</sup>	۰/۹۴	۱/۳۸	
مقاومت عایقی در دمای ۲۰ C°	IEC 60502-1	کمینه: $4/7 \text{ M}\Omega \cdot \text{Km}$	۹۹۶	۵۹۱۹	
مقاومت عایقی در دمای ۷۰ C°	IEC 60502-1	کمینه: $0.037 \text{ M}\Omega \cdot \text{Km}$	۰۵۳۲	۱/۸۳	

جدول (۳) : نتایج تست عایق

همان‌طور که انتظار می‌رود و در جدول ۳ مشهود است مقادیر مقاومت عایقی برای آمیزه پلیمری حاوی نانو ذرات در دمای ۲۰ درجه و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد مقدار قابل توجهی افزایش یافته است. این مقادیر به ترتیب ۶ و ۳٫۵ برابر مقادیر PVC/A می‌باشد.

## ۵. مراجع

- [1] P. Pugazhendhi Sugumaran "Experimental Investigation on Dielectric and Thermal Characteristics of Nanosized Alumina Filler Added Polyimide Enamel" J Electr Eng Technol Vol. 9, No. 3: 978-983, 2014
- [2] D. Edison Selvaraj "Experimental Investigation on Electrical and Mechanical Characteristics of PVC Cable Insulation with Silica Nano filler" *applied Mechanics and Materials* ISSN: 1662-7482, Vol. 749, pp 159-163
- [3] A. M. Mostafaei "Improving cable insulation properties using clay nanoparticles" Journal of Nanomaterials 2023
- [4] H. Li, Y. Wang "Production and evaluation of cable insulation based on clay nanoparticles" Composites Part B: Engineering 2023
- [5] A. T. Akbari "Improving the mechanical and insulating properties of cable insulation using clay nanoparticles" Journal of Polymers and the Environment 2022
- [6] H. Wang "Cable insulation capacity based on clay nanoparticles with high resistance to temperature and corrosion" Journal of Materials Science and Technology 2022

## ۴. نتایج

با ترکیب مواد عایقی PVC/A و نانو ذرات رس با درصد وزنی مشخص شاهد موارد زیر خواهیم بود:

- (۱) بهبود خواص عایقی از جمله مقاومت عایقی و افزایش ایمنی بالاتر در برابر جریان‌های الکتریکی بالاتر.
- (۲) بهبود مقاومت عایقی در برابر دماهای بالاتر و در نتیجه ایمنی بیشتر در برابر محیط‌های گرم در معرض آتش‌سوزی.
- (۳) بهبود خواص مکانیکی نظیر استحکام کششی و ازدیاد طول.