



## **Studies on Nano Barium Strontium Titanate/Cellulose Derivatives Composites**

Y. Hamzeh\*<sup>1</sup>, A.H. Rahbari<sup>1</sup>, M. Enhessari<sup>2</sup>, and Gh. Ebrahimi<sup>1</sup>

1. Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources,  
University of Tehran, P.O. Box: 31585-4314, Karaj, Iran

2. Department of Chemistry, Islamic Azad University, Naragh Branch, Naragh, Iran

Received 13 August 2009, accepted 2 January 2010

### **ABSTRACT**

**S**tudies were carried out on the preparation and properties of the composites made from cellulose acetate butyrate and cellulose acetate propionate with various amounts of barium strontium titanate nano-particle. The nano-particles of barium strontium titanate (BST) with formulation of  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$  were made by sol-gel method and their purity and particle size were analyzed by X-ray diffraction (XRD). The composites were prepared with BST nano-particle loading of 10 to 50 vol%, and their distribution in the composites studied using SEM imaging. The dielectric constant of the composites was measured at 1 kHz and 100 kHz at room temperature. It was found that the adopted procedure produced dense and uniform composites. The dielectric constant of the composites increased with the solid content of BST and followed the modified Lichtenecker equation. The increasing rate of dielectric constant with increased BST content was more pronounced for the BST/CAP composite. The dielectric constant of the composites decreased with increasing the frequency which was more obvious at higher loading of BST nano-particle

#### **Key Words:**

composite,  
dielectric constant,  
cellulose acetate  
butyrate,  
nanoparticles,  
barium strontium titanate

(\*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: hamzeh@ut.ac.ir



# بررسی کامپوزیت‌های حاصل از مشتقات سلولوز و نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات

یحیی همزه<sup>۱\*</sup>، امیر حسین رهبری<sup>۱</sup>، مرتضی انحصاری<sup>۲</sup>، قنبر ابراهیمی<sup>۱</sup>

۱- کرج، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، صندوق پستی ۴۳۱۴-۳۱۵۸۵

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نراق، گروه شیمی

دریافت: ۸۸۵/۲۲، پذیرش: ۸۸۱۰/۱۲

## چکیده

در این پژوهش، تهیه و خواص کامپوزیت‌های حاصل از سلولوز استات بوتیرات (CAB) و سلولوز استات پروپیونات (CAP) با مقادیر مختلف نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات (BST) بررسی شده است. نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات با فرمول  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$  به روش سل-ژل تهیه و سپس درجه خلوص و اندازه ذرات آن با روش پراش پرتو X اندازه‌گیری شد. پس از ساخت کامپوزیت‌ها با ۱۰ تا ۵۰ درصد حجمی BST، نحوه توزیع نانوذرات در آنها با میکروسکوپ الکترون پویشی بررسی شده است. ثابت دی‌الکتریک نمونه‌های آزمون در بسامدهای ۱ و ۱۰۰ kHz در دمای محیط اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد، روش استفاده شده منجر به تولید کامپوزیت‌های یکنواخت و متراکم می‌شود. با افزایش مقدار ذرات BST در کامپوزیت، ثابت دی‌الکتریک آنها زیاد می‌شود و روند آن از معادله تغییر یافته Lichtenecker پیروی می‌کند. ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت سلولوز استات پروپیونات با افزایش مقدار نانوذرات افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. افزون بر این، با افزایش بسامد اندازه‌گیری، ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت کاهش می‌یابد و مقدار کاهش در مقادیر بیشتر نانوذرات BST بیشتر است.

## واژه‌های کلیدی

کامپوزیت،  
ثابت دی‌الکتریک،  
سلولوز استات بوتیرات،  
نانوذرات،  
باریم استرانسیم تیتانات

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

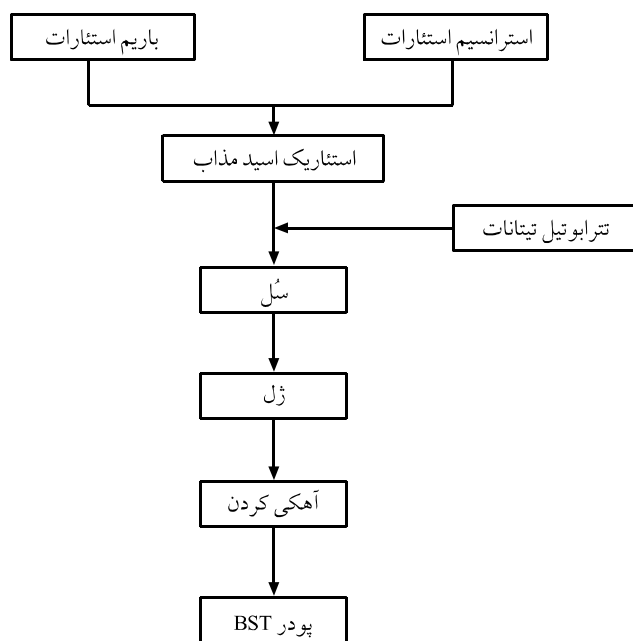
## مقدمه

با توجه به این که نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات می‌تواند به عنوان ماده‌ای مناسب برای افزایش خواص دی‌الکتریک کامپوزیت‌های حاصل از انواع پلیمرهای مختلف به کار رود، در این پژوهش امکان تهیه و خواص دی‌الکتریک کامپوزیت‌های ساخته شده از دو نوع از مشتقات سلولوزی شامل سلولوز استات بوتیرات و سلولوز استات پروپیونات و نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات با خاصیت دی‌الکتریک زیاد بررسی می‌شود. هم‌چنین، اثر مقدار نانوذرات در کامپوزیت‌های تهیه شده و خواص آنها با کامپوزیت‌های مشابه مقایسه می‌شود.

## تجربی

## مواد

شکل ۱ فرایند سنتز نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات (BST) به روش سل - ژل را نشان می‌دهد. در این پژوهش، برای سنتز BST با فرمول  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$ ، از باریم استتارات به عنوان منبع باریم، استرانسیم استتارات به عنوان منبع استرانسیم، تترابوتیل تیتانات به عنوان منبع تیتانیم و استتاریک اسید به عنوان حلال یا ماده فعال سطحی استفاده شده است. ابتدا مقدار لازم استتاریک اسید در ظرف تبلور در دمای  $73^{\circ}C$  ذوب شد. سپس مقدار معینی باریم استتارات و استرانسیم استتارات در استتاریک اسید مذاب حل شد تا محلول سفیدرنگ و شفاف به دست آید. سپس به



شکل ۱ - مراحل تهیه نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات (BST).

صنایع میکروالکترونیک و الکترونیک مدرن کنونی مانند ساخت کامپوزیت‌های سریع و خازن‌های یک پارچه مورد استفاده در صنایع الکترونیک به موادی نیاز دارند که ضمن داشتن ثابت دی‌الکتریک زیاد به راحتی فراورش شده و خواص مکانیکی مناسبی داشته باشند. وجود هم‌زمان این خواص، در مواد خالص به سختی امکان‌پذیر است، زیرا مواد معدنی دارای خواصی مانند پایداری در برابر گرما، ثابت دی‌الکتریک زیاد و خواص مغناطیسی مطلوب هستند. اما، دارای افت دی‌الکتریک زیاد در بسامدهای بالا هستند و به علاوه به دلیل شکننده بودن به سختی به شکل لایه نازک قابل تهیه‌اند. از طرف دیگر، مواد پلیمری خواص مختلفی مانند ثابت دی‌الکتریک کم، پایداری دی‌الکتریک در گرما و بسامدهای متفاوت، مقاومت در برابر مواد شیمیایی، انعطاف‌پذیری و قابلیت تبدیل به لایه‌های نازک را دارند [۱،۲]. کامپوزیت‌های حاصل از مواد معدنی و مواد پلیمری معایب یک‌دیگر را پوشش داده و سبب تولید محصولات با اشتعال‌پذیری کمتر [۳] پایداری مکانیکی و گرمایی بیشتر و زیست‌تخریب‌پذیری بیشتر [۴] می‌شوند. از این رو، کامپوزیت‌ها در سال‌های اخیر، کاربردهای متفاوتی در صنایع مختلف مانند مواد بسته‌بندی، صنایع الکترونیک، صفحات مدارهای الکتریکی، مواد دی‌الکتریک لایه‌ای، آنتن‌ها و خازن‌های با ظرفیت زیاد را به خود اختصاص داده‌اند [۵،۶]. خواص کامپوزیت‌های تهیه شده از مواد پلیمری و سرامیکی از یک طرف تابع خواص ذاتی مواد اولیه مورد استفاده در ساخت کامپوزیت و از طرف دیگر تابع درصد ترکیب، اندازه ذرات و نحوه پراکنش ذرات در کامپوزیت است [۷]. باریم استرانسیم تیتانات ( $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ ) یکی از مواد سرامیکی با ثابت دی‌الکتریک زیاد و افت دی‌الکتریک کم است که پژوهش‌های زیادی در زمینه کاربرد آن در تهیه کامپوزیت‌های قابل استفاده در صنایع الکترونیک و میکروالکترونیک در حال انجام است [۸-۱۰].

پژوهش‌های انجام شده در این زمینه به طور عمده با استفاده از پلیمرهای مشتق شده از منابع نفتی مانند پلی‌فنیلن سولفید [۸]، کوپلیمر اولفین حلقوی [۱۰]، رزین اپوکسی [۱۱] و مشتقات آکریل [۱۲] بوده و مطالعات بسیار محدودی در زمینه خواص کامپوزیت‌های حاصل از مواد سرامیکی فروالکتریک و پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مانند مشتقات سلولوزی انجام شده است [۱۳]. مشتقات سلولوزی جزء مواد دی‌الکتریک شناخته شده هستند و در مقایسه با پلیمرهای نفتی، ارزان بوده و از منابع تجدیدپذیر قابل تهیه هستند. این مواد به دلیل زیست‌تخریب‌پذیر بودن، مشکلات زیست‌محیطی ایجاد نمی‌کنند [۱۴]. خواص کامپوزیت‌های حاصل از مواد سرامیکی فروالکتریک با سلولوز استات بوتیرات و سلولوز استات پروپیونات تاکنون مطالعه نشده است.

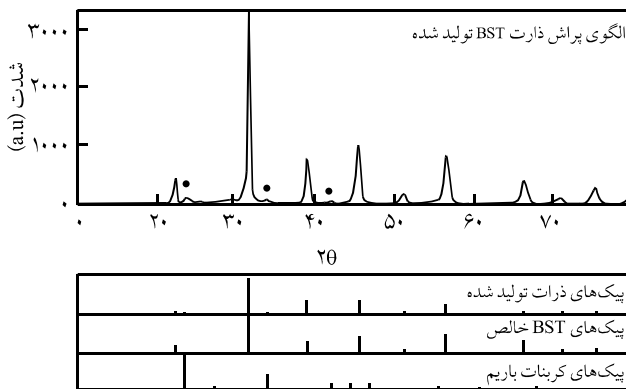
شکل‌گیری قرص کامپوزیت به طور کامل انجام شد. پراکندگی و یکنواختی پراکنش نانوذرات سرامیکی (BST) در زمینه سلولوزی کامپوزیت‌های حاصل با میکروسکوپ الکترون پویشی (SEM) ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت‌های ساخته شده، ابتدا دو سطح قرص استوانه‌ای شکل با استفاده از خمیر نقره لایه‌نشانی شد و سپس ثابت دی‌الکتریک آنها با استفاده از دستگاه LCR متر در دو بسامد ۱ و ۱۰۰ kHz اندازه‌گیری شد. ثابت دی‌الکتریک نمونه‌ها با ۳ مرتبه تکرار اندازه‌گیری شد. انحراف معیار نتایج در تمام نمونه‌ها کمتر از ۱٪ بود.

## نتایج و بحث

### بررسی فاز و اندازه ذرات به روش پراش پرتو X

نانوذرات BST تهیه شده با روش سل - ژل با استفاده از پراش پرتو X (XRD) ارزیابی شده است. در این روش الگوی پراش پرتو X نانوذرات BST سنتز شده با الگوی پراش پرتو X مرجع این ماده (Database in JCPDS, ۴۴-۰۹۹۳) مقایسه می‌شود (شکل ۲).

پیک‌های مشخص شده با علامت \* به ناخالصی کربنات باریم (Database in JCPDS, ۰۱-۰۵۰۶) مرتبط است و سایر پیک‌های الگوی پراش پرتو X نانوذرات BST سنتز شده از پیک‌های مرجع تبعیت می‌کند [۱۷]. مشاهده می‌شود که مقدار ناخالصی‌ها بسیار اندک و در حد صرف نظر کردن است. با استفاده از معادله شرر [۱۷-۱۵] و نتایج به دست آمده از الگوی پراش پرتو X نانوذرات BST سنتز شده، اندازه نانویولورهای ذرات باریم استرانسیم تیتانات محاسبه و اندازه متوسط



شکل ۲ - الگوی پراش پرتو X نانوذرات BST و مقایسه آن با الگوی پراش پرتو X ذرات BST خالص.

مقدار استوکیومتری، تریاوتیل تیتانات به محلول اضافه و مخلوط حاصل هم‌زده شد تا سل همگنی به رنگ سفید روشن حاصل شود. سل به دست آمده در دمای محیط سرد و به مدت ۱۲ h در گرم‌خانه خشک شد. در نهایت، برای تهیه نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات، ژل حاصل که ماده‌ای بی‌شکل است، برای متبلور شدن و خروج مواد فرار آن آهکی شد. برای آهکی کردن، ژل تولید شده در بوتله‌های چینی قرار داده شد و به مدت ۲h در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  گرمادهی شد. ابعاد ذرات تولید شده و درجه خلوص آن با استفاده از پراش پرتو X (XRD) ارزیابی شد [۱۵، ۱۶].

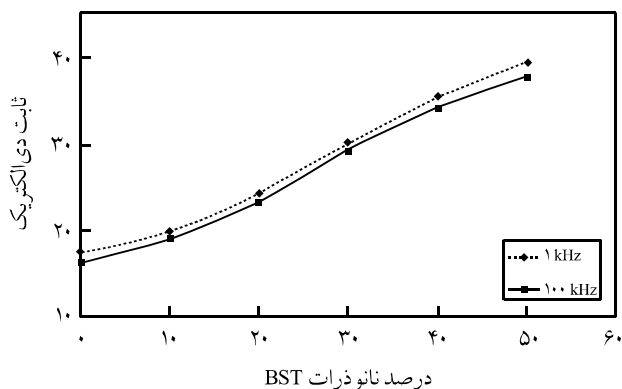
سلولوز استات بوتیرات (CAB) با خلوص ۹۹/۸ درصد و سلولوز استات پروپیونات (CAP) با خلوص ۹۹/۸ درصد از شرکت EASTMAN تهیه شد. مقادیر وزنی بوتیریل در سلولوز استات بوتیرات و پروپیونیل در سلولوز استات پروپیونات به ترتیب ۳۸ و ۴۲/۵ درصد بود.

### دستگاه‌ها و روش‌ها

مقدار نانوذرات سرامیکی در ترکیب کامپوزیت به ترتیب ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد حجمی بود. برای ساخت کامپوزیت‌های مورد نظر، ابتدا مشتق سلولوزی در نظر گرفته شده بر اساس محاسبات ترکیب درصد حجمی و وزن مخصوص آنها توزین و داخل بشر ریخته شد. برای توزیع یکنواخت نانوذرات سرامیکی در زمینه، از روش انحلال پلیمر در حلال استفاده شد. در این مرحله، از استون خالص (با خلوص بیش از ۹۹ درصد) به عنوان حلال مناسب برای هر دو مشتق سلولوزی CAB و CAP استفاده شده است. پلیمرهای مورد استفاده به مقدار ۳۰ درصد وزنی در استون حل شدند. پس از انحلال کامل پلیمر سلولوزی در استون، نانوذرات سرامیکی با توجه به درصد حجمی مورد نظر به محلول اضافه و هم‌زن الکتریکی به کار گرفته شد تا اختلاط کامل و یکنواخت‌تری انجام شود.

در مرحله تبخیر حلال، از دستگاه فراصوت برای یکنواختی پراکنش نانوذرات سرامیکی در زمینه سلولوزی استفاده شده است. پس از تبخیر حلال، مواد ترکیب شده حاصل با استفاده از جارمیل آزمایشگاهی آسیاب شدند تا پودر ریز و یکنواختی که شامل پلیمر سلولوزی مورد استفاده و نانوذرات سرامیکی بود، حاصل شود. تهیه قرص‌های نانو کامپوزیت با کنترل دو عامل دما و فشار در قالب سمبه - ماتریس (تهیه شده از فولاد SPK) انجام شد.

برای اعمال فشار و گرما به شکل هم‌زمان از دو مرحله پرس، ابتدا پرس گرم با دمای  $120^{\circ}\text{C}$  و فشار  $50\text{ kg/cm}^2$  به مدت ۴ min و سپس پرس سرد در دمای محیط و فشار  $75\text{ kg/cm}^2$  به مدت ۴ min استفاده شده است. پرس گرمایی در نظر گرفته شده باعث سیالیت زمینه (پلیمر سلولوزی) شده و با توجه به فشار اعمالی در مرحله پرس سرد،

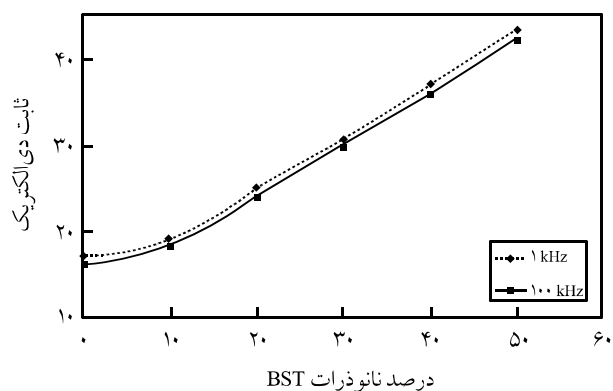


شکل ۵ - نمودار تغییر ثابت دی الکتریک کامپوزیت‌های حاصل از سلولوز استات بوتیرات و BST به شکل تابعی از درصد حجمی نانوذرات BST در بسامد ۱ و ۱۰۰ kHz.

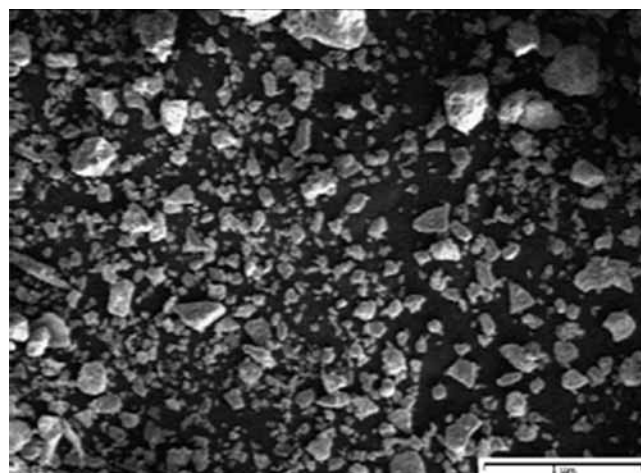
### خواص دی الکتریک کامپوزیت‌ها

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری ثابت دی الکتریک کامپوزیت‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار نانوذرات سرامیکی، ثابت دی الکتریک کامپوزیت‌های تولید شده افزایش می‌یابد. این موضوع از یک طرف به دلیل افزایش مقدار ذرات سرامیکی با خاصیت ثابت دی الکتریک زیاد در کامپوزیت است [۱،۲]. از طرف دیگر به دلیل افزایش سطح مشترک بین پلیمر مورد استفاده و نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات است که این افزایش سطح مشترک موجب افزایش دوقطبی بودن سطح مشترک و افزایش ثابت دی الکتریک می‌شود [۲،۱۰]. به علت بهبود پراکنش ذرات BST در زمینه پلیمر و ایجاد سطح مشترک بیشتر،



شکل ۶ - نمودار تغییر ثابت دی الکتریک کامپوزیت‌های حاصل از سلولوز استات پروپیونات و BST بر حسب درصد حجمی نانوذرات BST در بسامدهای ۱ و ۱۰۰ kHz.

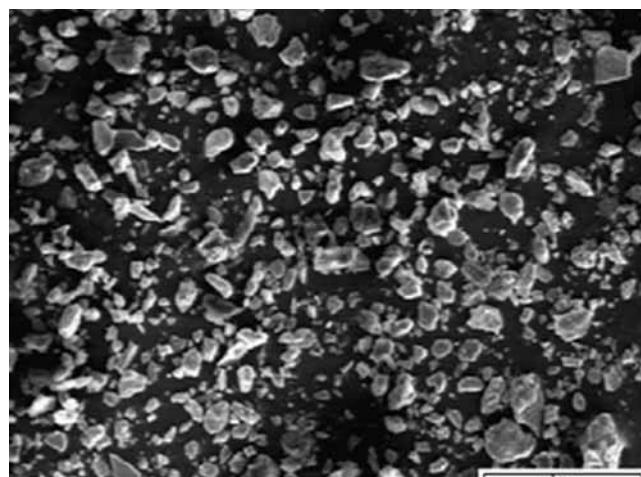


شکل ۳ - ریزنگار SEM کامپوزیت با زمینه سلولوز استات بوتیرات و ۲۰ درصد حجمی نانوذرات BST (بزرگ‌نمایی ۳۰۰۰).

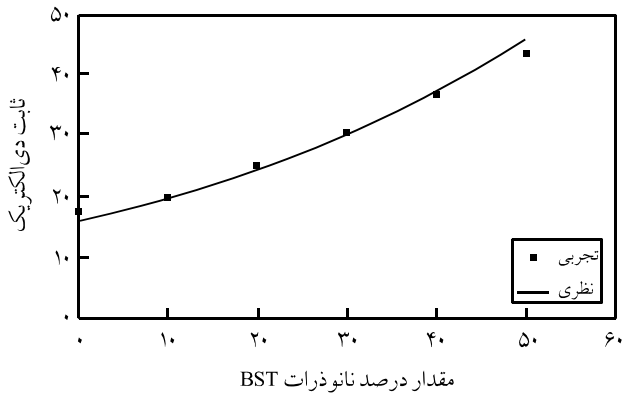
ذرات آن ۲۸ nm معین شد.

### ریزننگار میکروسکوپ الکترون پویشی (SEM)

شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب توزیع نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات در داخل فاز پلیمری سلولوز استات بوتیرات و سلولوز استات پروپیونات را نشان می‌دهد. این ریزنگارها ساختاری همگن و متراکم را نشان می‌دهند که بیان‌گر توزیع یکنواخت ذرات در فاز پلیمری است. هم‌چنین مشاهده می‌شود، ساختار کامپوزیت‌های ساخته شده فاقد فضاهای خالی هستند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش مورد استفاده و پارامترهای در نظر گرفته شده برای ساخت کامپوزیت‌های مزبور مناسب است و منجر به تهیه کامپوزیت‌های متراکم و یکنواخت می‌شود.



شکل ۴ - ریزنگار SEM کامپوزیت با زمینه سلولوز استات بوتیرات و ۵۰ درصد حجمی نانوذرات BST (بزرگ‌نمایی ۳۰۰۰).



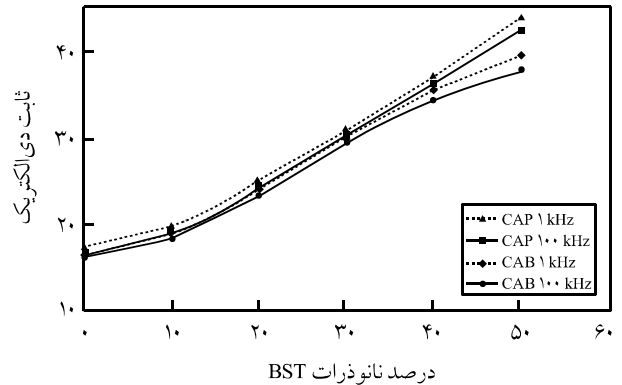
شکل ۹ - مقایسه ثابت دی الکتریک تجربی و نظری کامپوزیت حاصل از مقادیر مختلف نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات و سلولوز استات پروپیونات (مقایسه در بسامد ۱۰۰ kHz).

مقدار نانوذرات سرامیکی در افزایش ثابت دی الکتریک کامپوزیت حاصل از سلولوز استات پروپیونات بیشتر از کامپوزیت حاصل از سلولوز استات بوتیرات است (شکل ۷). افزون بر این، در هر دو شکل با افزایش بسامد مورد استفاده در اندازه‌گیری ثابت دی الکتریک از ۱ به ۱۰۰ kHz، ثابت دی الکتریک کامپوزیت‌ها اندکی کاهش می‌یابد. این موضوع به دلیل است که با افزایش بسامد، قطب‌های دوگانه نانوذرات سرامیکی به مقدار کمتری از تغییر میدان الکتریکی تبعیت می‌کنند. با افزایش درصد حجمی ذرات سرامیکی در کامپوزیت‌های حاصل، مقدار کاهش ثابت دی الکتریک بر اثر افزایش بسامد بیشتر می‌شود.

لگاریتم ثابت دی الکتریک کامپوزیت در هر بسامد، تابع خطی از درصد حجمی فاز تقویت‌کننده است [۱۹، ۱۲، ۱۱] و روند افزایش ثابت دی الکتریک به لگاریتم ثابت دی الکتریک مواد اولیه بستگی دارد (معادله ۱):

$$\log \varepsilon = \varphi(1 - k) \log\left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right) + \log \varepsilon' \quad (1)$$

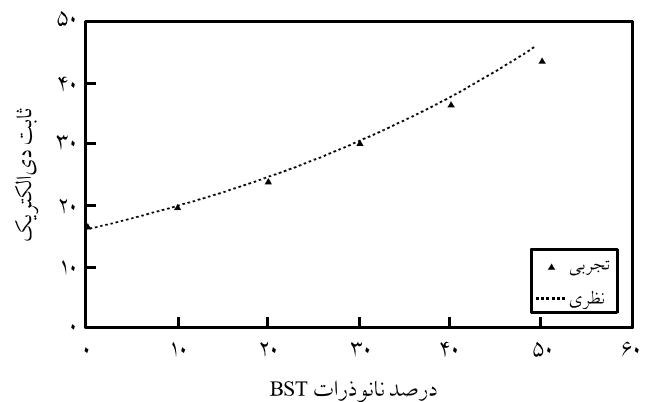
در این معادله،  $\varepsilon$  ثابت دی الکتریک کامپوزیت،  $\varphi$  درصد حجمی ذرات سرامیکی در کامپوزیت،  $\varepsilon'$  ثابت دی الکتریک پلیمر مورد استفاده و  $\varepsilon''$  ثابت دی الکتریک ماده سرامیکی مورد استفاده است.  $k$  ضریب تصحیح است و وقتی که ذرات سرامیکی به خوبی در داخل کامپوزیت پراکنده شده باشند، مقدار آن برابر ۰/۳ در نظر گرفته می‌شود [۵، ۸، ۱۰]. ثابت دی الکتریک سلولوز استات بوتیرات و سلولوز استات پروپیونات استفاده شده در این پژوهش در بسامد ۱۰۰ kHz به ترتیب ۱۶/۳ و ۱۶/۱ اندازه‌گیری شده است. هم‌چنین، ثابت دی الکتریک نانوذرات باریم استرانسیم تیتات  $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  با مقدار  $x$  برابر ۰/۷۵ تهیه شده با



شکل ۷ - نمودار تغییر ثابت دی الکتریک کامپوزیت‌های حاصل از سلولوز استات پروپیونات و سلولوز استات بوتیرات بر حسب درصد حجمی نانوذرات BST در بسامدهای ۱ و ۱۰۰ kHz.

استفاده از نانوذرات در مقایسه با میکروذرات موجب افزایش بیشتر ثابت دی الکتریک می‌شود [۸، ۱۰].

روند افزایشی ثابت دی الکتریک کامپوزیت‌های حاصل از سلولوز استات بوتیرات بر اثر افزودن نانوذرات سرامیکی به شکل تقریباً خطی، با کاهش جزئی در مقادیر زیادتر مواد سرامیکی است. اما، در کامپوزیت‌های ساخته شده از سلولوز استات پروپیونات، روند افزایشی ثابت دی الکتریک دومر حله‌ای است. به طوری که با کاربرد نانوذرات تا حد ۱۰ درصد حجمی، مقدار افزایش ثابت دی الکتریک کم است و با افزایش مقدار مواد سرامیکی از ۱۰ درصد حجمی به ۵۰ درصد حجمی، ثابت دی الکتریک با شیب بیشتری افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی در بررسی رفتار کامپوزیت‌های تهیه شده از پلی‌آمید و ذرات سرامیکی باریم تیتانات مشاهده شده است [۱]. نتایج نشان می‌دهند، اثر افزایش



شکل ۸ - مقایسه ثابت دی الکتریک تجربی و نظری کامپوزیت حاصل از مقادیر مختلف نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات و سلولوز استات بوتیرات (مقایسه در بسامد ۱۰۰ kHz).

سرامیکی در کامپوزیت، ثابت دی‌الکتریک آن زیاد شده و روند افزایش آن تابع معادله تغییر یافته Lichtenecker با ضریب  $k$  برابر  $0/37$  به دست آمده است. خواص دی‌الکتریک کامپوزیت تهیه شده از ذرات سرامیکی باریم تیتانات و پلی‌آمید مشابه نتایج این پژوهش است که در آن ثابت دی‌الکتریک حدود  $45$  در کامپوزیت حاوی  $90$  درصد وزنی ذرات سرامیکی حاصل شده است [۱].

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، خواص دی‌الکتریک کامپوزیت ساخته شده از دو نوع پلیمر سلولوزی با خاصیت زیست تخریب پذیری و قابلیت تهیه از منابع تجدیدپذیر با نانوذرات باریم استرانسیم تیتانات به عنوان ذرات سرامیکی با خواص دی‌الکتریک زیاد بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد، فرایند تهیه نانوذرات و هم چنین فرایند تهیه کامپوزیت‌ها با ترکیب درصد‌های مختلف مناسب است و منجر به تهیه کامپوزیت‌های متراکم با توزیع یکنواخت نانوذرات سرامیکی در آنها می‌شود. افزون بر این، با افزایش مقدار نانوذرات سرامیکی، ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت‌های تهیه شده در بسامدهای مختلف افزایش می‌یابد. روند افزایش ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت‌ها با استفاده از معادله تغییر یافته Lichtenecker با ضریب  $k$  برابر  $0/3$  تبعیت می‌کند. بنابراین، مشتقات سلولوز می‌توانند در کامپوزیت‌هایی که دارای خواص دی‌الکتریک زیاد هستند، جای‌گزین پلیمرهای حاصل از مشتقات نفتی شوند و خواص کامپوزیت حاصل از آنها قابل مقایسه با خواص کامپوزیت‌های دی‌الکتریک حاصل از ذرات سرامیکی و پلیمرهای نفتی است.

### قدردانی

از حمایت مالی و مشارکت ستاد ویژه توسعه فناوری نانو ایران و معاونت پژوهشی دانشگاه تهران برای انجام این پژوهش تقدیر و تشکر می‌شود.

### مراجع

1. Wang S.F., Wang Y.R., Cheng K.C., and Hsaio Y.P., Characteristics of Polyimide/Barium Titanate Composite Films, *Ceram. Int.*, **35**, 265-268, 2008.
2. Chao F., Liang G., Kong W., and Zhang X., Study of Dielectric Property on BaTiO<sub>3</sub>/BADCy Composite, *Mat. Chem. Phys.*,

روش سل - ژل در بسامد  $100$  kHz برابر  $320$  اندازه‌گیری شده است [۲۰، ۲۱]. بنابراین، با استفاده از این مقادیر و معادله (۱)، مقادیر ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت‌های تهیه شده با ترکیب درصد‌های مختلف از  $10$  تا  $50$  درصد حجمی نانوذرات محاسبه شد و با مقادیر تجربی مقایسه شد (شکل‌های ۸ و ۹).

ملاحظه می‌شود، به طور کلی بین مقادیر تجربی و مقادیر نظری با معادله (۱) هم‌بستگی خوبی وجود دارد و فقط انحراف جزئی در ترکیب درصد حجمی  $50$  درصد دیده می‌شود. نتایج حاصل بیان‌گر این است که مقادیر ثابت دی‌الکتریک کامپوزیت‌های ساخته شده با معادله تغییر یافته Lichtenecker قابل پیش‌بینی هستند. بنابراین، با توجه به این که ثابت دی‌الکتریک سلولوز استات پروپیونات و سلولوز استات بوتیرات در مقایسه با بسیاری از پلیمرهای نفتی مانند پلی‌آمید، زرین اپوکسی و زرین سیانات استر بیشتر است، می‌توان انتظار داشت که کامپوزیت حاصل از سلولوز استات پروپیونات و سلولوز استات بوتیرات و ذرات سرامیکی خواص دی‌الکتریک بهتری را در ترتیب درصد‌های یکسان داشته باشند. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از کامپوزیت پلی‌آمید و باریم تیتانات [۱]، کامپوزیت حاصل از کوپلیمر اولفینی حلقوی و BTS [۱۰] و هم چنین با کامپوزیت حاصل از زرین اپوکسی و باریم تیتانات [۱۱] این موضوع را تأیید می‌کند.

در زمینه استفاده از مشتقات سلولوزی برای تولید کامپوزیت‌های پلیمری - سرامیکی مطالعات محدودی انجام شده است. Chiang و Popoelarz [۱۳] با ترکیب پلیمر سلولوز سیانواتیلات با ذرات سرامیکی BaTiO<sub>3</sub> با درصد حجمی  $51$  درصد، کامپوزیتی تهیه کردند که دارای ثابت دی‌الکتریک  $130$  بود. این مقدار ثابت دی‌الکتریک بیشترین مقدار ثابت دی‌الکتریک گزارش شده برای کامپوزیت‌های ساخته شده از BaTiO<sub>3</sub> با پلیمرهای مختلف است و علت زیاد بودن آن به دلیل بیشتر بودن ثابت دی‌الکتریک پلیمر مورد استفاده به مقدار  $21$  در  $1$  kHz بوده است. هم چنین، Hu و همکاران [۸] خواص دی‌الکتریک کامپوزیت‌های ساخته شده از باریم استرانسیم تیتانات و پلیمر سولفید پروپیلن را بررسی کردند. مشابه این پژوهش، با افزایش مقدار ذرات

**108**, 306-311, 2008.

3. Mehrabzadeh M. and Kamal M.R., Effects of Different Types of Clays and Maleic Anhydride Modified Polystyrene on Polystyrene/Clay Nanocomposites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persion)*, **22**, 151-157, 2009.

4. Shokrieh M. and Sonbolestan S.E., Effects of Structural Parameters on Mechanical Properties Polymer/Clay Nanocomposites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persion)*, **20**, 187-195, 2007.
5. Ravikiran K., Ashraf F.A., Burtrand I.L., and Maxim M.S., Dielectric Constant of Barium Titanate/Cyanoethyl Ester of Polyvinyl Alcohol Composite in Comparison with the Existing Theoretical Models, *Microelec. Eng.*, **84**, 2853-2858, 2007.
6. Chao F., Liang G., Kong W., Zhang Z., and Wang J., Dielectric Properties of Polymer/Ceramic Composites Based on Thermosetting Polymers, *Polym. Bull.*, **60**, 129-136, 2008.
7. Mortezaei M., Navid Famili M.H., and Kokabi M., Effect of Surface Modification of Nanosilica on the Viscoelastic Properties of Its Polystyrene Nanocomposite, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persion)*, **21**, 523-53, 2009.
8. Hu T., Jari J. and Jantunen H., RF Properties of BST-PPS Composites, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **27**, 2923-2926, 2007.
9. Tagantsev A.K., Sherman V.O., Astafiev K.F., Venkatesh J., and Setter N., Ferroelectric Materials for Microwave Tunable Applications, *J. Electroceram*, **11**, 5-66, 2003.
10. Hu T., Juuti J., Jantunen H., and Vilkmann T., Dielectric Properties of BST/Polymer Composite, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **27**, 3997-4001, 2007.
11. Cheng K.C., Lin C.M., Wang S.F., Lin S.T., and Yang C.F., Dielectric Properties of Epoxy Resin-Barium Titanate Composites at High Frequency, *Mater. Lett.*, **61**, 757-760, 2007.
12. Popielarz R., Chiang C.K., Nozaki R. and Obrzut J., Dielectric Properties of Polymer/Ferroelectric Ceramic Composites from 100 Hz to 10 GHz, *Macromolecules*, **34**, 5910-5915, 2001.
13. Chiang K. and Popoelarz R., Polymer Composites with High Dielectric Constant, *Ferroelectrics*, **275**, 1-9, 2002.
14. Hassan M.L., Dielectric Properties of Cyanoethylated Bagasse Composites, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **41**, 589-600, 2002.
15. Somani V. and Kalita S.J., Synthesis and Characterization of Nanocrystalline Barium Strontium Titanate Powder via Sol-Gel Processing, *J. Electroceram*, **18**, 57-65, 2007.
16. Sadjadi M.S., Zare K., Khanahmadzadeh S., and Enhessari M., Structural Characterization of NiTiO<sub>3</sub> Nanopowders Prepared by Stearic Acid Gel Method, *Mater. Lett.*, **62**, 3679-3681, 2008.
17. Zare K., Enhessari M., Khanahmadzadeh S., Mossallae H., and Sadjadi M.S., Structural Characterization of Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) Nanopowders Prepared by Stearic Acid Gel Method, *J. Phys. Theor. Chem.*, **5**, 155-159, 2008.
18. Cheng L., Zheng L., Li G., Yao Z., and Yin Q., Manufacture of Epoxy-Silica Nanoparticle Composites and Characterisation of Their Dielectric Behaviour, *Int. J. Nanopart.*, **1**, 3-13, 2008.
19. Popielarz R. and Chiang C.K., Polymer Composites with the Dielectric Constant Comparable to that of Barium Titanate Ceramics, *Mater. Sci. Eng. B*, **139**, 48-54, 2007.
20. Kumar M., Roy S.C., Bhatnagar M.C., Agarwal S., and Sharma G.L., Study of Dielectric and Pyroelectric Properties of Sol-Gel Derived BST Thin Films, *Ferroelectrics*, **329**, 33-37, 2005.
21. Lahiry S. and Mansingh A., Dielectric Properties of Sol-Gel Derived Barium Strontium Titanate Thin Films, *Thin Solid Films*, **516**, 1656-1662, 2008.