# بررسی اثر دمای سینتر بر ریزساختار و فاکتور کیفیت سرامیکهای دی الکتریک مایکروویو با ترکیب $0.88Ba([Zn_{0.6}Co_{0.4}]_{1/3},Nb_{2/3})O_3–0.1Ba(Ga_{1/2}Ta_{1/2})O_3–0.02BaZrO_3$

**کیوان اسدیان***

[1]استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی

**تاریخ ثبت اولیه:** ۹۲/۳/۵، **تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده:** ۹۲/۹/۳، **تاریخ پذیرش قطعی:** ۹۲/۹/۴

**چکیده** سرامیکهای دی الکتریک مایکروویو در دستگاه ها و سیستم‌های مورد استفاده در فرکانسهای مایکروویو برای مثال تلفن های همراه و سیستمهای مخابرات ماهواره ای بکار میروند. ترکیب $0.88Ba([Zn_{0.6}Co_{0.4}]_{1/3},Nb_{2/3})O_3–0.1Ba(Ga_{1/2}Ta_{1/2})O_3–0.02BaZrO_3$ (BZCN-BGT-BZ) از طریق روش معمول ساخت سرامیکها یعنی آسیاب مخلوط پودرهای اولیه ، کلسینه کردن مخلوط، آسیاب مجدد و سینتر قرص های پرس شده در دماهای مختلف تهیه شدند تا بتوان تأثیر دمای سینتر بر روی ریز ساختار و خواص دی الکتریکی را بررسی نمود. نتایج نشان داد که افزایش دمای سینتر باعث افزایش دانسیته میگردد و در ۱۵۰۰°C بالاترین دانسیته مشاهده شد. فاکتور کیفیت (Q×f) نیز با بالا رفتن دمای سینتر افزایش پیدا کرد و در ۱۵۰۰°C بالاترین مقدار فاکتور کیفیت (Q×f)، ۱۶،۰۰۰GHz مشاهده شد. افزایش در Q×f در اثر افزایش دمای سینتر ارتباط با افزایش دانسیته دارد. این افزایش را نمی توان به ارتقاء نظم در شبکه یا حضور سوپر ساختار در شبکه نسبت داد زیرا که پیک سوپر ساختار در الگوی پراش اشعه X مشاهده نشد. علاوه بر این احتمال وجود سوپر ساختار توسط بررسی اعوجاج در شبکه و بررسی تغییرات نسبت c/a (پارامترهای شبکه هگزاگونال سوپرساختار)، منتفی شد.

**کلمات کلیدی:** الکتروسرامیک، دی‌الکتریک مایکروویو، پروسکایت، سینتر، ریز ساختار، فاکتور کیفیت

# The effect of sintering temperature on microstructure and microwave dielectric properties of $0.88Ba([Zn_{0.6}Co_{0.4}]_{1/3},Nb_{2/3})O_3–0.1Ba(Ga_{1/2}Ta_{1/2})O_3–0.02BaZrO_3$ ceramics

**K. Asadian*[1]**

[1]*Materials and Energy Research Center*

**Abstract** Microwave dielectric ceramics are extensively used in systems utilized at microwave frequencies for example mobile telephone and satellite devices. In this study ceramics with $0.88Ba([Zn_{0.6}Co_{0.4}]_{1/3},Nb_{2/3})O_3–0.1Ba(Ga_{1/2}Ta_{1/2})O_3–0.02BaZrO_3$ composition were prepared through the conventional ceramic processing; i.e. mixing and milling of the starting powders, calcination at 1100°C, second milling and sintering of pressed samples at different temperatures. The study showed that increasing sintering temperature resulted in an increase in density so that the highest density was observed at 1500°C. There was also an increase in quality factor (Q×f) when sintering temperature was increased; Q×f was about 16,000 GHz at 1500°C. The increase in quality factor is mainly due to the increase in density. Since superlattice reflections were not observed in XRD spectrum, the increase in quality factor can not be related to an increase in ordering degree. The presence of ordering can also be evaluated by changes in c/a ratio (c and a are lattice parameters of the hexagonal superlattice structure) and changes in lattice distortion. None of these two methods were able to show the existence of ordering.

**Keywords:** electroceramics, microwave dielectrics, perovskite, sintering, microstructure, quality factor.

* **عهده‌دار مکاتبات**

**نشانی:** کرج ، مشکین دشت

**تلفن:** ۷-۳۶۲۸۰۰۴۰-۰۲۶ ، **پیام نگار:** k_asadian@merc.ac.ir و keivan.asadian@yahoo.com

## ۱– مقدمه

سرامیکهای دی‌الکتریک مایکروویو در سیستمهای مخابراتی مایکروویو برای مثال تلفن های همراه، سیستمهای مخابراتی ماهواره‌ای وغیره کاربرد فراوان دارند [۱]. سرامیکهای مورد استفاده در این زمینه باید سه شرط را دارا باشند:

۱- دارای فاکتور کیفیت (Q, Quality factor) بالایی باشند $Q=\frac{1}{\tan\delta}$. واژه Q×f (که در آن f فرکانس اندازه‌گیری است) معمولاً بجای Q در بیان نتایج بکار می‌رود زیرا که امکان مقایسه Q که در فرکانسهای متفاوت اندازه‌گیری شده است را فراهم می‌آورد. یادآوری می‌شود حاصل Q×f در فرکانسهای مایکروویو تقریباً مساوی می‌باشد.

۲- دارای ضریب دی‌الکتریک ($\varepsilon_r$) بالایی باشند. بدلیل اینکه ضریب دی‌الکتریک با اندازه قطعه تناسب معکوس دارد.

۳- دارای ضریب دمایی فرکانس رزونانس، Temperature Coefficient of Resonant Frequency) ($\tau_f$) نزدیک به صفر باشند [۲].

یکی از مهمترین گروه‌های سرامیک‌های مایکروویو، گروه بر مبنای فرمول $Ba(M_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ که در آن Mg یا M=Zn می‌باشد. ساختار این ترکیبات به اصطلاح پروسکایت پیچیده (Complex Perovskite) نامیده می‌شود. این گروه بخاطر آنکه فاکتور کیفیت بالایی دارند بنام سرامیکهای مایکروویو با Q بالا شناخته می‌شوند که در عین حال ضریب دمائی فرکانس رزنانس آنها نیز نزدیک به صفر می‌باشد [۳]. این سرامیک‌ها دو مشکل را دارا می‌باشند. اول آنکه ساخت آنها به دما بالا و زمان زیاد احتیاج دارد و دیگری مسئله قیمت اکسید تنتالم ($Ta_2O_5$) است. مسئله ساخت آنها با افزودن $BaZrO_3$ به ترکیب قابل حل می‌باشد، زیرا که افزایش این ماده بطور قابل ملاحظه‌ای زمان لازم برای رسیدن به یک محصول با خواص مناسب را کاهش می‌دهد [۴]. مسئله هزینه اکسید تنتالم باعث شده است که توجه به سمت ترکیب $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ (BZN) که درآن Ta با Nb جایگزین شده است و دارای قیمت خیلی پایین‌تری است، جلب شود [۵]. نکته‌ای که در مورد پروسکایتهای پیچیده قابل ذکر است مسئله نظم در سایت B برای مثال سایت حاوی دو یون Zn و Nb در $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ می‌باشد که بر فاکتور کیفیت تأثیر میگذارد. در اینجا برای توضیح نظم از مراجع مربوط به ترکیب $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ (BZT) که بطور وسیعی مورد تحقیق قرار گرفته است و ساختاری مشابه با $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ دارد، استفاده می‌شود. ترکیب $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ وقتی فاقد نظم است، دارای ساختار مکعبی ساده با تقارن $Pm\bar{3}m$ و a≈0.4095 nm میباشد. در حالت با نظم، نظم ۱:۲ را می پذیرد که در آن یونهای Zn و Ta بطور مجزا بر روی صفحات (۱۱۱) قرار گرفته بطوریکه در جهت [۱۱۱] تکرار صفحات $\{\cdots Zn-Ta-Ta\cdots\}$ مشاهده می‌شود [۷-۶]. سوپر ساختار (Superstructure) فرم با نظم، هگزاگونال (hexagonal) می‌باشد (تقارن $P\bar{3}m1$).

تحقیقات متعددی در ارتباط با ترکیب $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ حاوی مواد افزودنی انجام پذیرفته است که در اینجا چند تحقیق منتخب مرتبط با مطاله حاضر ارائه می‌شود.

اسکات و همکاران [۷] خواص ترکیبات با فرمول $(1-x)\ Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$- $x\ Ba(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ را مورد مطالعه قرار دادند. دانسیته بدست آمده برای این سرامیک‌ها ٪۹۵≤ بود. یک فاز دوم که دارای کمبود Zn و Co می‌باشد بر روی سطح و عمق نمونه‌های سینتر شده مشاهده شد. علت بوجود آمدن این فاز تبخیر Zn و Co از ترکیب در هنگام سینترمی باشد. با افزایش میزان Co در ترکیب، $\varepsilon_r$ کاهش پیدا کرد. $\tau_f$ نیز با افزایش میزان Co کاهش پیدا کرد. $\tau_f$ ترکیب با ٪ ۶mol Zn نزدیک به صفر می‌باشد که به همین دلیل قسمت بعد مطالعه که بررسی اثر سرعت سرد کردن بعد از سینتر بود، برروی این ترکیب صورت گرفت. مطالعات نشان می‌دهد که بالاترین Q زمانی که سرعت سرد کردن ۳ °C/h و دمای نهایی سرد کردن ۹۰۰°C است، بدست می‌آید. علت مشاهده فوق این است که دمای استحاله فازی نظم ـ بی نظم برای ترکیب فوق حدوداً بین ۱۱۰۰°C تا ۱۲۵۰°C است و سرد کردن آهسته به دمایی زیر این دما باعث تشکیل نظم ۱:۲ با درجه بالاتری می‌گردد که به نوبه خود باعث افزایش Q می گردد.

یو و همکاران [۸] اثر ترکیب و دمای سینتر از ۱۳۵۰°C تا ۱۴۵۰°C را بر روی خواص دی الکتریک مایکروویو سرامیکهای $Ba[(Zn_{1-x}Co_x)Nb_{2/3}]O_3$ (BZCN) x=۰-۰/۸ مورد مطالعه قرار دادند. بررسیXRD نشان داد که تمامی نمونه‌های

دارای ترکیب متفاوت، ساختار بی‌نظم مکعبی ساده پروسکایت را دارند. برای ترکیبات x=۰/۲ و x=۰/۸ اثر دمای سینتر بر ثابت دی‌الکتریک ناچیز می‌باشد. این در حالی است که برای ترکیبات x=۰/۴ و x=۰/۶، ضریب دی‌الکتریک ابتدا افزایش قابل ملاحظه‌ای در محدودهٔ ۱۳۵۰°C تا ۱۴۰۰°C دارد و سپس در بالاتر از ۱۴۰۰°C ثابت می‌ماند. دانسیته نیز تغییرات مشابهی را با دمای سینتر دارد که این مشاهده وابستگی میان ضریب دی‌الکتریک و دانسیته را مشخص می‌کند. دمای سینتر اثر قابل ملاحظه‌ای بر Q×f دارد. تمامی ترکیبات Q×f ماکزیممی را در دمایی متفاوت از خود نشان می‌دهند، که مثلا برای x=۰ ماکزیمم Q×f در ۱۳۹۰°C اتفاق افتاد. ضریب دمائی فرکانس رزونانس نیز تقریباً بطور خطی با x کاهش می‌یابد و به $\tau_f \approx -۰/۱۱$ ppm/°C در x=۰/۸ می‌رسد. مشاهده این رفتار نیز قابل تفسیر است زیرا که $\tau_f$ برای $Ba(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ منفی و برای $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ مثبت است. دسترسی به $\tau_f$ نزدیک به صفر در x=۰/۸ از نتایج خوب این تحقیق بود (ضریب دی‌الکتریک این سرامیک ۳۳ و Q×f آن ۲۰,۲۴۸ GHz بود).

رنی و همکاران [۹] با استفاده از آزمایشات سرد کردن سریع (quenching) اقدام به تعیین دمای استحاله نظم–بی نظم در سرامیک $0.9Ba\ [(Zn_{0.60}Co_{0.4})\ Nb_{2/3}]\ O_3–0.1Ba\ (Ga_{0.5}Ta_{0.5})\ O_3$ نمودند. Q×f ، $\varepsilon_r$ ، و $\tau_f$ سرامیکهای فوق بعد از سینتر در دمای ۱۳۵۰°C بترتیب ۹۷۶۰۰GHz، ۳۵ و ۰ ppm بود. برای انجام آزمایشات سرد کردن سریع، نمونه‌ها پس از سینتر در دماهای ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد بمدت ۱۶ ساعت آنیل گردیده و سپس بداخل آب انداخته شدند. آنالیز XRD وجود نظم را تأیید نکرد و همه نمونه ها به نظر ساختار مکعبی ساده پروسکایت (بی‌نظم) را داشتند. با اینحال انجام آنالیز TEM نشان داد که نمونه‌های سرد شده از دمای ۱۱۰۰°C نظم ۱:۲ را بطور مشخص (نظم برد طولانی long range order) دارا هستند. اما وجود پیک های ضعیف مربوط به نظم ۱:۱، وجود نظم ۱:۱ با برد کوتاه ( short range order) را نیز تأیید می‌کند. برای دماهای سرد کردن بالاتر ۱۲۰۰°C، دو نظم ۱:۱ با برد کوتاه و ۱:۲ با برد کوتاه مشاهده شد. بدین ترتیب دمای استحاله فازی نظم– بی‌نظم برای نظم ۱:۲، در حدود ۱۲۰۰°C پیشنهاد شد. وجود نظم برد کوتاه ۱:۱، در همه دماهای سرد کردن با این پیشنهاد تعبیر شد که در ترکیب (BCZN-BGT) $0.9Ba[(Zn_{0.6}Co_{0.4})Nb_{2/3}]O_3–0.1Ba(Ga_{0.5}Ta_{0.5})O_3$، فقط ترکیب BCZN از نظر استوکیومتری قابل به تشکیل نظم ۱:۲ است و ترکیب BGT بدلیل دارا بودن نسبت یونی مناسب، نظم ۱:۱ را تشکیل داده و چون مقدار آن تنها ۱۰ درصد مولی است قابلیت بهم زدن نظم ۱:۲ را ندارد و بنابراین در ما بین حوزه‌های نظم ۱:۲، حوزه های نظم ۱:۱ را تشکیل می‌دهد.

در تحقیق حاضر اثر افزایش زمان سینتر بر ریز ساختار و فاکتور کیفیت سرامیک‌های بر مبنای ترکیب مورد مطالعه توسط رنی و همکاران [۹] یعنی $0.9\ Ba\ [(Zn_{0.6}Co_{0.4})Nb_{2/3}]\ O_3 – 0.1\ Ba\ (Ga_{0.5}Ta_{0.5})\ O_3$ مورد بررسی قرار گرفته شده است. فرمول ترکیب مورد مطالعه به صورت $0.88Ba\ ([Zn_{0.6}Co_{0.4}]_{1/3},\ Nb_{2/3})\ O_3–0.1Ba\ (Ga_{1/2}Ta_{1/2})\ O_3–0.02BaZrO_3$ می‌باشد. علت انتخاب $BaZrO_3$ بعنوان افزودنی به ترکیب مورد مطالعه توسط رنی و همکاران [۹] این می‌باشد که افزایش ترکیب فوق تا میزان ۰/۰۵ mol در سرامیک‌های $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ که ساختار یکسان با ترکیب پایه $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ دارند باعث بهبود فاکتور کیفیت شد [۱۰].

## ۲- نحوه آزمایش

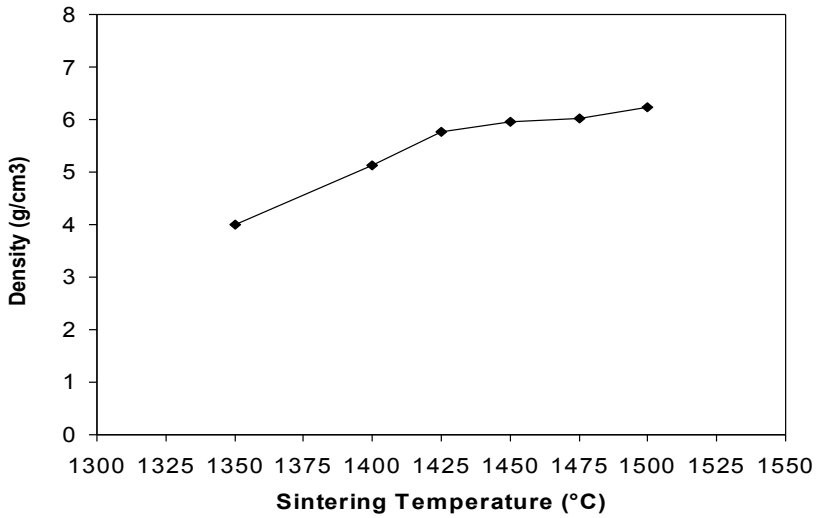
کربنات باریم، اکسید روی، اکسید کبالت، اکسید نایوبیوم، اکسید گلیوم، اکسید تنتالم، اکسید زیرکونیوم با خلوص بالاتر از ۹۹/۵٪ بر اساس ترکیب $0.88Ba\ ([Zn_{0.6}Co_{0.4}]_{1/3},\ Nb_{2/3})\ O_3 – 0.1\ Ba\ (Ga_{1/2}Ta_{1/2})\ O_3–\ 0.02BaZrO_3$ توزین شدند. ترکیب فوق بطور اختصار به صورت BZCN-BGT-BZr بیان می‌شود. مخلوط پودرها در بچ‌های ۱۵ گرمی تهیه و توسط آسیاب سیاره‌ای (Germany، مدل Fritsch 05.102) آسیاب شد. سپس دوغاب حاصله در یک بشر قرار داده شد و در یک خشک کن به مدت ۸ ساعت خشک شد. برای کلسینه کردن، پودر خشک شده در بوته آلومینائی قرار داده شد و در یک کوره الکتریکی (Carbolite, RHF 17/10E, England) در دمای ۱۱۰۰°C به مدت ۴ ساعت حرارت داده شد. پرس قطعات توسط یک پرس تک محور (SPECAC, England) در فشار ۱۰۰MPa انجام شد. سپس نمونه‌ها در یک کوره دمای بالا در دماهای ۱۳۵۰، ۱۴۰۰، ۱۴۲۵، ۱۴۵۰، ۱۴۷۵، و ۱۵۰۰°C بمدت ۳۰min سینتر شدند. زمان سینتر کوتاه بدلیل حضور

مواد فرار ZnO و CoO در ترکیب می‌باشد. دستگاه مورد استفاده جهت انجام آزمایشات پراش اشعه X در این تحقیق ساخت شرکت Philips (Netherlands) مدل ۳۷۱۰ با مشخصات I=30 mA ، V=40 kV و اشعه بکار رفته $CuK_\alpha$ با طول موج λ=1.5404Å بود. برای اندازه‌گیری پارامترهای شبکه از روش ارائه شده توسط کالیتی [۱۱] استفاده شد. اندازه‌گیری-های دی الکتریکی در فرکانس‌های مایکروویو از روش هکی و کولمن [۱۲] و توسط دستگاه (hp Network Analyser 8510B, USA) انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- دانسیته و کاهش وزن

اثر دمای سینتر بر روی دانسیته سرامیکهای BZCN-BGT-BZr در شکل (۱) نشان داده شده است. دانسیته در اثر افزایش دمای سینتر افزایش می یابد. بااینحال میزان این افزایش تا حدود ۱۴۲۵°C شیب زیادتری نسبت به دماهای بالاتر دارد. شکل (۲) تغییرات درصد کاهش وزن را بر اثر افزایش دمای سینتر نشان می دهد. افزایش کاهش وزن در اثر افزایش دما، بدلیل خروج مواد فرار (Zn و Co) از نمونه می‌باشد [۷]. دانسیته در اثر افزایش دما بعلت بهبود سینتر افزایش می‌یابد. این در حالی است که بالا رفتن دما کاهش وزن را افزایش داده و باعث کاهش در دانسیته می گردد. مشاهدهٔ افزایش در دانسیته در اثر افزایش دما نشان دهندهٔ این واقعیت است که افزایش در دانسیته بدلیل سینتر بر کاهش در دانسیته در اثر تبخیر Zn و Co غلبه می‌کند.

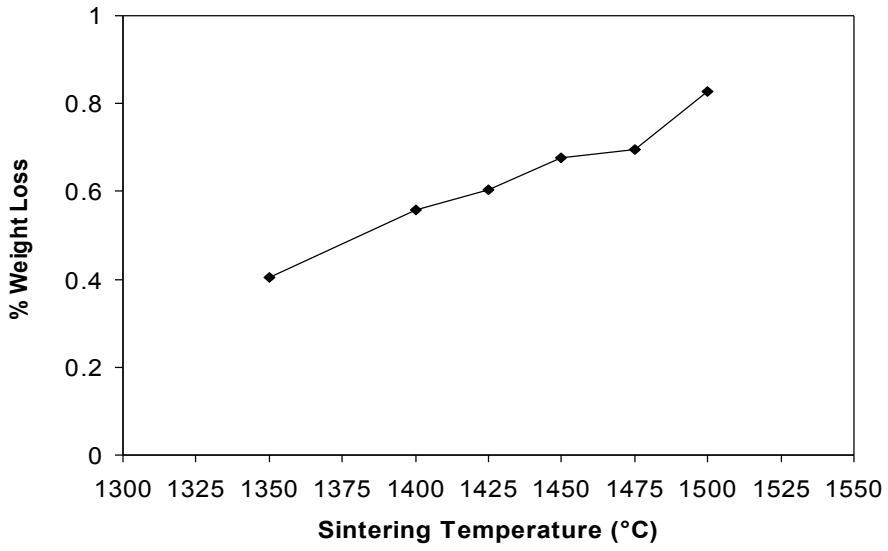



**شکل ۱.** نمودارتغییرات دانسیته در اثر افزایش دمای سینتر.

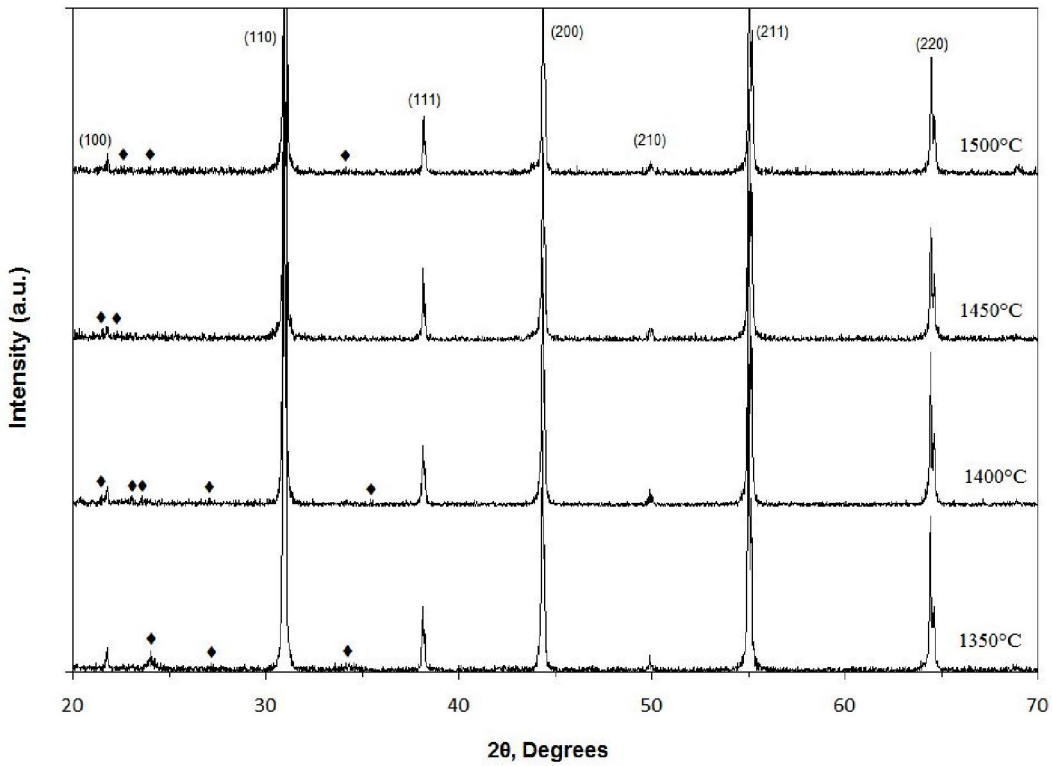
### ۳-۲- آنالیز XRD

الگوهای XRD ترکیب BZCN-BGT-BZr با دماهای سینتر متفاوت در شکل (۳) به نمایش در آمده است. نمودارهای فوق نشان دهندهٔ حضور فاز (BZN) $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ [۱۳] به همراه یک فاز دوم که غیر قابل شناسائی است، می‌باشد. از آنجائیکه پیک سوپر ساختار [۱۴] مشاهده نشد پیک‌ها براساس ساختار مکعبی ساده پروسکایت نامگذاری شدند.

بررسی طیف اشعه X در محدودهٔ °۱۱۷-۱۱۳ امکان این را می‌دهد که احتمال وجود سوپر ساختار بهتر بررسی گردد [۱۵]. شکل (۴) طیف اشعه X در محدودهٔ فوق برای دماهای سینتر متفاوت را نشان می‌دهد. در هیچیک از دماهای سینتر اعوجاج در شبکه در اثر وجود سوپر ساختار مشاهده نمی‌گردد. در صورت وجود اعوجاج در شبکه پیک (۴۲۰) مربوط به فاز بی نظم مکعبی ساده تبدیل به دو پیک (۴۲۲) و (۲۲۶) در فاز با نظم هگزاگونال می‌شود.



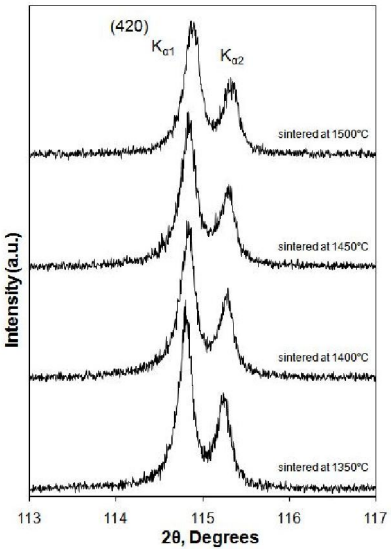

**شکل ۲.** نمودارتغییرات درصد کاهش وزن در اثر افزایش دمای سینتر.




**شکل ۳.** الگوی اشعه X برای سرامیک BZCN-BGT-BZr سینتر شده در دمای ۱۳۵۰ تا ۱۵۰۰°C بمدت ۳۰min. علامت ♦ نشان دهندهٔ پیک های مربوط به فاز دوم می‌باشد.

شکل (۵) تغییرات c/a یعنی نسبت ثوابت شبکه سوپر ساختار هگزاگونال را با دمای سینتر نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مربوط به اعوجاج در شبکه شکل (۴) و عدم حضور پیک‌های سوپر ساختار شکل (۳) می‌توان احتمال داد که نظم تشکیل نشده است. محاسبه نسبت c/a احتمال دارد که بتواند وجود سوپر ساختار را یا نظم ۱:۲ را نشان بدهد [۱۵]. با توجه به عدم تغییرات c/a با دمای سینتر این احتمال را می‌توان داد که نظم ۱:۲ تشکیل نگردیده است زیرا که در آن صورت شاهد افزایش در نسبت c/a در اثر افزایش درجه نظم ۱:۲ با افزایش دمای سینتر می‌بودیم. با اینحال بررسی دقیق حضور نظم ۱:۲

احتیاج به بررسی ساختار توسط تکنیک TEM دارد.

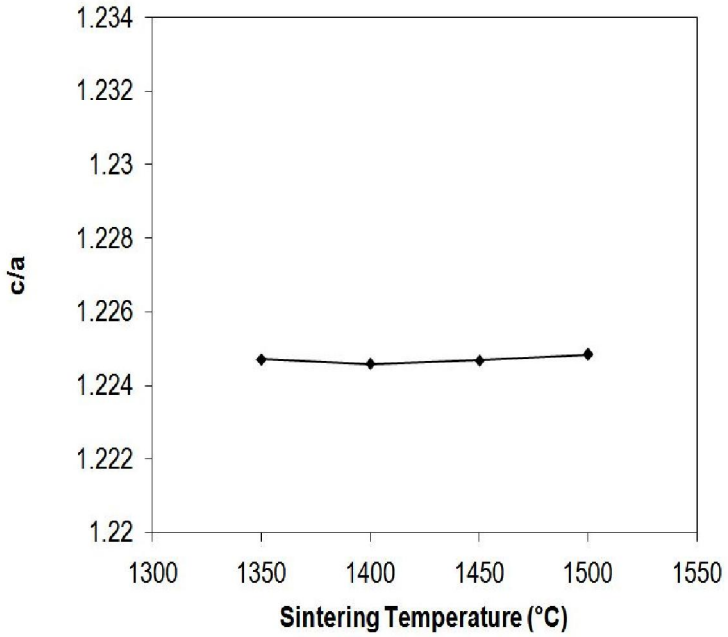



**شکل ۴.** الگوی اشعه X در محدودهٔ °۱۱۷–۱۱۳ برای سرامیک BZCN-BGT-BZr سینتر شده در دماهای مختلف بمدّت ۳۰min.

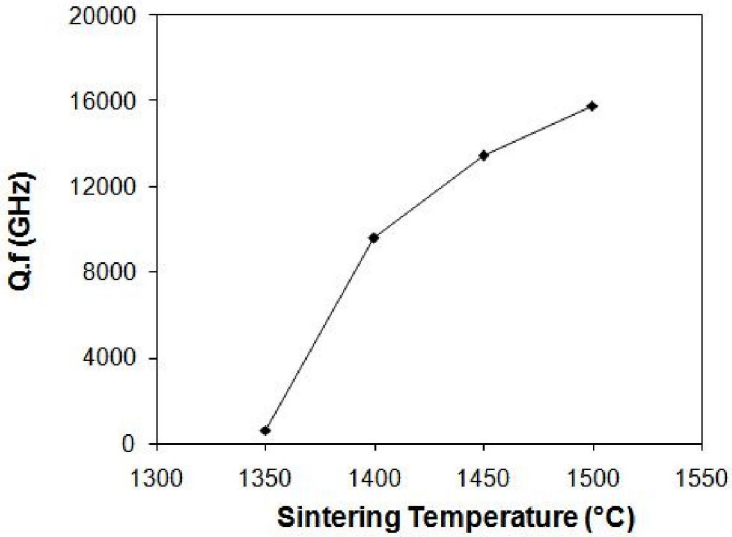
## ۳-۳ خواص دی الکتریک مایکروویو

شکل (۶) تغییرات فاکتور کیفیت با افزایش دمای سینتر را برای سرامیک BZCN-BGT-BZr نشان می‌دهد. حاصل Q×f (که در آن f فرکانس اندازه گیری می‌باشد) برای نمونه با دمای سینتر ۱۳۵۰°C حدود ۶۰۰GHz می‌باشد که بسیار پایین می‌باشد. با افزایش دمای سینتر از ۱۳۵۰به ۱۵۰۰°C میزان Q×f بشدت افزایش یافته و به حدود ۱۶،۰۰۰GHz می‌رسد.

در تحقیقی که توسط نوح و همکاران [۱۶] انجام شد مقدار Q×f برای سرامیک با ترکیب پایه $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ (BZN) بین ۲۰،۰۰۰ تا ۶۰،۰۰۰GHz برای نمونه‌های سینتر شده بین ۱۳۵۰ تا ۱۵۰۰°C گزارش شده است. میزان پایین Q×f نمونه‌های مربوط به این تحقیق نسبت به نمونه‌های تحقیقی که توسط نوح و همکاران [۱۶] صورت گرفته را می‌توان به حضور یونهای Co، Ga، Ta، Zr در شبکه BZN وحضور فاز دوم در ریز ساختار نسبت داد زیرا که فاز دومی در الگوی پراش اشعه X همه نمونه‌ها مشاهده شد شکل (۳). افزایش در Q×f در اثر افزایش دمای سینتر شکل (۶) ارتباط با افزایش دانسیته دارد شکل (۱). این افزایش را نمی‌توان به ارتقاء نظم در شبکه یا حضور سوپر ساختار در شبکه نسبت داد زیرا که پیک سوپر ساختار در الگوی پراش اشعه X مشاهده نشد شکل (۳). علاوه بر این احتمال وجود سوپر ساختار توسط بررسی اعوجاج در شبکه شکل (۴) و بررسی تغییرات نسبت c/a شکل (۵)، منتفی شد. یادآور می‌شود که بررسی دقیق حضور نظم احتیاج به مطالعات پراش الکترونی توسط TEM دارد.




**شکل ۵.** نسبت c/a برای سرامیک BZCN-BGT-BZr سینتر شده در دماهای مختلف بمدّت ۳۰min.




**شکل ۶.** حاصل Q×f برای سرامیک BZCN-BGT-BZr سینتر شده در دماهای مختلف بمدّت ۳۰min.

## ۴- نتیجه گیری

افزایش دمای سینتر باعث بهبود دانسیته شد بطوریکه در ۱۵۰۰°C بالاترین دانسیته مشاهده شد. تغییرات فاکتور کیفیت (Q×f) از تغییرات دانسیته تبعیت کرد و بالاترین میزان فاکتور کیفیت (Q×f) که برابر با ۱۶،۰۰۰GHz بود در دمای ۱۵۰۰°C مشاهده شد. به نظر می‌رسد که افزایش در Q×f در اثر افزایش دمای سینتر بطور عمده در اثر افزایش در دانسیته باشد. افزایش دمای سینتر می‌تواند بر میزان نظم نیز تأثیر بگذارد، افزایش در فاکتور کیفیت با دمای سینتر را نمی توان به ارتقاء نظم در شبکه یا حضور سوپر ساختار در شبکه نسبت داد زیرا که پیک سوپر ساختار در الگوی پراش اشعه X مشاهده نشد. احتمال وجود سوپر ساختار توسط بررسی اعوجاج در شبکه و بررسی تغییرات نسبت c/a (c و a پارامترهای شبکه هگزاگونال سوپرساختار هستند) نیز مورد مطالعه قرار گرفت، که عدم حضور نظم را تأیید کرد، با اینحال بررسی دقیق حضور نظم احتیاج به مطالعات پراش الکترونی توسط TEM دارد.

## مراجع

1. Jinga, S.I., Stoleriu, S., and Busuioc, C., Microwave dielectric properties of Ba $(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ ceramics doped with $Nb_2O_5$, $MnO_2$ or $V_2O_3$, *Materials Research Bulletin.* 47[11] (2012) 3713-3718.
2. Wersing, W., Microwave Ceramics for Resonators and Filters, *Current Opinion in Solid State & Materials Science.* 1[5] (1996) 715-731.
3. S. Kawashima, S., Nishida, M, Ueda, I, Ouchi, H, $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ Ceramics with Low Dielectric Loss at Microwave Frequencies, *Journal of the American Ceramic Society.* 66 (1983) 421-423.
4. Davies, P.K., Tong, J., Negas, T, Effect of Ordering-Induced Domain Boundaries on Low-Loss $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ - $BaZrO_3$ Perovskite Microwave Dielectrics, *Journal of the American Ceramic Society.* 80[7] (1997) 1727-1740.
5. Scott, R.I., Thomas, M, and Hampson, C, Development of Low Cost, High Performance $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ Based Materials for Microwave Resonator Applications, *Journal of the European Ceramic Society.* 23 (2003) 2467-2471.
6. Brixner, L.H., Preparation and Structure Determination of Some New Cubic and Tetragonally-Distorted Perovskites, *Journal of Physical Chemistry.* 64 (1960) 165-166.
7. Chen, J., Chan, H., Harmer, M.P., Ordering Structure and Dielectric Properties of Undoped and La/Na-doped $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$, *Journal of the American Ceramic Society.* 72[4] (1989) 593-598.
8. Yue, Z., Zhao, F., Zhang, Y., Gui, Z., Li, L., Microwave dielectric properties of $Ba[(Zn_{1-x}Co_x)_{1/3}Nb_{2/3}]O_3$ ceramics, *Materials Letters.* 58[12-13] (2004) 1830-1834.
9. Reaney, R.I, Iqbal, Y., Zheng, H., Feteira, A., Hughes, H., Iddles, D., Muir, D., Price, T., Order-Disorder Behavior in 0.9 Ba $([Zn_{0.6}Co_{0.4}]_{1/3}Nb_{2/3})O_3$-0.1Ba $(Ga_{0.5}Ta_{0.5})O_3$ Microwave Dielectric Resonators, *Journal of the European Ceramic Society.* 25 (2005) 1183-1189.
10. Tamura, H., Konoike, T., Sakabe, Y., Wakino, K., Improved High-Q Dielectric Resonator with Complex Perovskite Structure, *Journal of the American Ceramic Society.* 67 (1984) C-59-C-61.
11. Cullity, B.D., Elements of X-Ray Diffraction, Addison-Wesley Publishing Company. (1978) 350-368.

12. Hakki, B.W., and Coleman, P.D., A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacitance in the Millimeter Range, *IRE Transactions on Microwave Theory and Technology*. 8 (1960) 402-410.
13. JCPDS File Card No. 039-1474.
14. Galasso, F., and Pyle, J., Ordering in Compounds of the $A(B'_{0.33}Ta_{0.67})O_3$ Type, *Inorgnic Chemistry*. 2 (1963) 482-484.
15. O'Bryan, H.M., Microwave Loss Quality of $BaZn_{1/3}Ta_{2/3}O_3$ Ceramics, *Journal of the American Ceramic Society*. 68[10] (1985) 546-551.
16. Noh, S.Y., Yoo, M.J., Nahm, S., Choi, C.H., Park, H.M., Lee, H.J., Effect of Structural Changes on the Microwave Dielectric Properties of $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ Ceramics, *Japanese Journal of Applied Physics*, 2002, Part 1, Regular Papers and Short Notes and Review Papers. 41(5 A), 2978-2981.