

## دراسة الخواص العزلية لنماذج الومينوسيليكاتية (aluminosilicate) محضرة من مواد اولية محلية

جامعة بابل/ كلية العلوم/ قسم الفيزياء

حكمت عدنان المسلماوي

عبد العزيز عبيد موسى

**Abstract:**

The aluminosilicate specimens has been prepared as dielectric materials, the Kaolin was mixed with the Alumina in different ratio by using magnetic stirrer heater, the dielectric properties were studied for all specimens by increasing of frequency, grain size and mixing ratio, and it found be that the dielectric properties  $K_o$ ,  $K_o'$ ,  $\tan\delta$  decreased with increasing of frequency and grain size but they increased with highest alumina content.

**الخلاصة**

تم تحضير نماذج الومينوسيليكاتية عازلة كهربائياً من خلط الكاؤولين مع الالومينا بنسب مختلفة بطريقة المزج الحراري المغناطيسي ، ودرس تأثير كل من زيادة التردد للمجال الكهربائي المسلط والحجم الحبيبي للمواد الاولية وكذلك تغير نسبة الالومينا في الخلطات في خواص العزل الكهربائي للعينات، ووجد ان زيادة التردد تقود الى نقصان في ثابت العزل ومعامل الفقدان العزلي وظل زاوية الفقد، اما تأثير الحجم الحبيبي فوجد ان الخواص المدروسة في البحث تزداد كلما كان الحجم الحبيبي اكثر نعومة، واخيراً فان زيادة نسبة الالومينا في العينات ادت الى زيادة قيم الخواص ايضاً.

**المقدمة Introduction**

يعد المولايت مكون فعال في كافة انواع منتجات السيراميك المصنوعة من الالومينا-سيليكات الذي اصبح مؤخراً من اجود المواد السيراميكية المستعملة في تطبيقات الدرجات الحرارية العالية، بسبب خواصه الجيدة من حيث انخفاض ثابت العزل والتمدد الحراري القليل، درجة انصهاره العالية، مقاومة الزحف، واستقراره العالية ضد درجات الحرارة والتآكل الكيميائي (Zhang et al., 2007).

درس Ramakrishnan وجماعته (Ramakrishnan et al., 1992) تأثير زمن الحرق والانضاج على خواص العزل الكهربائي فوجدوا بان زيادة زمن الانضاج يؤدي الى زيادة قيمة ثابت العزل لنماذج الالومينا-سيليكات والالومينا-مولايت. كما قام كل من Van De Leur و Zevanhoven (Van De Leur and Zevanhoven, 1991) بتحضير نماذج عازلة كهربائياً من الالومينا-سيليكات واستخدموا مدى من الترددات محصور بين (0.1Hz-10KHz) لدراسة حالة الرنين الكهربائي بين التردد المسلط وتردد ثنائيات القطب الموجودة في النموذج.

**الخواص العزلية Insulation properties**

تقسم المواد الصلبة اعتماداً على التوصيلية الكهربائية الى (عازلة، شبه موصلة، وموصلة) وتكون التوصيلية للمواد العازلة ضمن المدى  $(10^{-10}-10^{-18} \text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ ، ولا تحتوي العوازل الكهربائية على الكترولونات حرة الحركة، لذلك فان التوصيلية الكهربائية الناتجة من نزوح الايونات تكون مهمة للعديد من المواد السيراميكية (Callister, 1994).

تتميز معظم المواد السيراميكية بالمقاومة الكهربائية النوعية العالية، وذلك بسبب الترابط بين ذرات المواد التي تكون تلك الاجسام، حيث نلاحظ من تركيب الكاؤولين أنه يحتوي على أكاسيد معادن مختلفة، وهذه المعادن ترتبط مع الاوكسجين بأواصر ايونية وتساهمية تتميز بالمتانة الشديدة بسبب الطاقة الكهروستاتيكية للاواصر الايونية، والترابط القوي بين الكترولونات التكافؤ في الاواصر التساهمية (Kingery, et al., 1967).

**ثابت العزل Dielectrical constant**

يمكن توضيح خاصية العزل بأخذ لوحين معدنيين متوازيين مساحة كل منهما (A) و المسافة بينهما (d) فأنهما يكونان متسعة سعتها ( $C_o$ )، فأذا كان الحيز بينهما فراغاً فأن (Omar, 1975):

$$C_s = \frac{\epsilon_s A}{d} \quad (1)$$

وتدعى ( $\epsilon_0$  ( $\epsilon_0$ )) بسماحية الفراغ وهي كمية ثابتة وتساوي ( $8.85 \times 10^{-12}$  F/m) ، اما اذا استبدل الحيز الفراغ بين اللوحين بمادة عازلة فأن السعة تزداد إذ تصبح:

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2)$$

ومنه نحصل على:

$$\epsilon = \frac{Cd}{A} \quad (3)$$

وتدعى ( $\epsilon$ ) بسماحية المادة العازلة التي تفصل اللوحين او السماحية المطلقة.

ومن المعادلتين (1,2) يمكن ملاحظة أن نسبة قيمة السعة عند وجود العازل هي:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (4)$$

وتدعى هذه النسبة بالسماحية النسبية (Relative Permittivity) أو ثابت العزل ويرمز له بالرمز ( $K_0$ ) ويعرف على انه النسبة بين سماحية المادة الى سماحية الفراغ، أي أن:

$$K_0 = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (5)$$

وبتعويض المعادلة (3) في (5) ينتج:

$$K_0 = \frac{1 Cd}{\epsilon_0 A} \quad (6)$$

حيث:

( $d$ ) سمك العينة ( $A$ ) المساحة السطحية للعينة ( $C$ ) ( $mm^2$ ) قيمة السعة  $pF$ .  
تتأثر قيمة ثابت العزل بعوامل عدة منها طريقة التصنيع، الكثافة، المسامية، درجة الحرارة وتردد الفولتية المطبقة (Harrop, 1972; ASTM, D68-150, 1984).

يعطي ثابت العزل مدى استجابة المادة للمجال الكهرومغناطيسي الساقط، ويتكون ثابت العزل من جزء حقيقي ( $K_0$ ) وهو مقياس للسعة وجزء خيالي ( $K_0'$ ) وهو مقياس للفقد في العوازل (Grimshaw, 1971). ويرتبط كل من ( $K_0$ ) و ( $K_0'$ ) بالعلاقة:

$$K_0^* = K_0 K_0' \quad (7)$$

حيث  $K_0^*$  ثابت العزل المركب.

### معامل الفقدان العزلي Dielectrical Loss Index

يعرف معامل الفقدان العزلي على أنه مقدار الجزء الخيالي للسماحية النسبية المعقدة أو لثابت العزل المركب، وهو يمثل مقياساً لفقدان الطاقة في العوازل ويرتبط معامل الفقدان العزلي ( $K_0'$ ) مع ثابت العزل الحقيقي ( $K_0$ ) بالعلاقة: (Taie and Rhamadani, 1981).

$$K_0' = K_0 \tan \delta \quad (8)$$

حيث:  $\tan \delta$  تمثل ميل زاوية الفقد.

ومن اهم العوامل المؤثرة في ثابت العزل ومعامل الفقدان العزلي وظل زاوية الفقدان هو التردد حيث يعتمد ثابت العزل على حركة الشحنات والثنائيات القطبية في المادة العازلة وعند تعرض هذه الثنائيات الى مجال كهربائي متساوي تميل بسرعة مع المجال مما يعني تغيراً في اتجاه الثنائيات القطبية، لذلك فأن شدة تناوب المجال المتمثلة بتردد الفولتية المسلط ينعكس تأثيره على مدى تأثير الثنائيات القطبية للمادة لهذا المدى من التردد وهذا يعني ان الاستقطاب سيتغير بتغير المجال (Michel, 1997).

كذلك فأن درجة الحرارة لها تأثير على ثابت عزل الجزء الحقيقي ( $K_0$ ) للمواد العازلة الصلبة حيث يزداد ( $K_0$ ) مع زيادة درجة الحرارة، ولكن في بعض الحالات تتناقص قيمة ( $K_0$ ) مع زيادة درجات الحرارة

خاصة عندما تكون الازاحة الايونية قليلة جداً مما يؤدي الى صعوبة فصل الايونات وحدوث الاستقطاب، اما تأثير درجة الحرارة على معامل الفقدان وظل زاوية الفقد فهو تأثير طردي حيث كلما ارتفعت درجة الحرارة تتناقص المقاومة النوعية بسبب تزايد الالكترونات الطليقة مما يؤدي الى زيادة معامل الفقدان العزلي وظل زاوية الفقد.

هناك عامل اخر لا يقل اهمية عن التردد ودرجة الحرارة وهو عامل الرطوبة، لانه عند امتصاص العوازل للرطوبة من الجو سوف تتاثر خواص العازل بسبب تماس العوازل مع المحيط اثناء الاستعمال. أن العوازل التي لا تتاثر بالرطوبة تكون اكثر استعمالاً وذلك لاحتفاظها بخواصها العزلية عند قساوة الظروف المناخية، حيث تستخدم في طلاء السطوح الخارجية للمواد الاكثر ابتلاياً، ويجب ان يحقق هذا الطلاء مقاومة كهربائية وحرارية عالية ومعامل تمدد واطى لكي لاتحدث التشققات أثناء تغير درجات الحرارة (Coelho,1979; Mitchell,2004).

### تحضير النماذج Preparation of samples

تم تحضير نماذج الالومينا-سيليكيا مختبرياً في قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة بابل وذلك بخلط الكاؤولين (Kaolin) مع الالومينا (Alumina) بنسب مختلفة موضحة بالجدول (1) حيث تم الخلط باستخدام طريقة المزج الحراري المغناطيسي باستعمال جهاز (Magnetic Stirrer) حيث يفتت المسحوق المتكتل الناتج بامراره عبر مناخل (Seives) ذات اقطار (100,150,200,250)  $\mu\text{m}$  وبعد الأنتهاء من كل نموذج يتم غسل المنخل وتجفيفه.

جدول (1) يوضح نسب الخلط للنماذج قيد الدراسة

Sample name	%Kaolin	%Alumina
A	90	10
B	80	20
C	70	30

تم تشكيل العينات باستخدام طريقة الكبس شبه الجاف حيث يتم ترطيب المسحوق بحامض الفوسفوريك المخفف الى نسبة حجمية 2% وذلك لتسهيل تلاحم الحبيبات اثناء عملية الكبس. استعمل لذلك مكبس هايدروليكي بقدرة تحمل 15 طن حيث تم كبس العينات بضغط تشكيل مقداره 3 طن ولمدة دقيقتين لكل نموذج، قطر قالب المستخدم 30mm.

جففت العينات الناتجة بدرجة حرارة 80 c° ولمدة 48hr لأزالة الرطوبة بشكل تام لتلافي التشققات التي يمكن ان تحدث في النماذج اثناء الحرق بسبب التغيرات السريعة في درجات الحرارة. أحرقت بعد ذلك العينات بدرجة حرارة تلييد (1400 c°) في دائرة المسح الجيولوجي التابعة لوزارة العلوم والتكنولوجيا وبمعدل:

400 c° (4 deg. at min) (0 c°)

1000 c° (6 deg. at min) (400 c°)

1400 c° (10 deg. at min) (1000 c°)

واعتماداً على نسب الخلط يصبح لدينا 12 نموذج تم تصنيفها كما في الجدول رقم (2)

جدول (2) يبين تصنيف النماذج المحضرة والمعدة للفحص

Sample name	Grain size $\mu\text{m}$	Pressure Mp	Fairing Temp. °c
A	A <sub>1</sub>	41.6	1400
	A <sub>2</sub>		
	A <sub>3</sub>		
	A <sub>4</sub>		
B	B <sub>1</sub>	41.6	1400
	B <sub>2</sub>		
	B <sub>3</sub>		
	B <sub>4</sub>		

C	C <sub>1</sub>	250+200-	41.6	1400
	C <sub>2</sub>	200+150-		
	C <sub>3</sub>	150+100-		
	C <sub>4</sub>	100-		

### القياسات Measurements

تم اجراء قياسات ثابت العزل وظل زاوية الفقدان ومعامل الفقدان العزلي بوساطة جهاز "ADAPTER4TP1M" امريكي الصنع موصل الى شاشة (LCR) ذو تردد يتراوح بين (40-110) MHz ، استخدم مدى تردد يتراوح بين (150KHz-1MHz) لدراسة الخواص العزلية للنماذج المحضرة باستخدام اقطاب تربط بجهاز لقياس Cp و tanδ ويتم ربط LCR بالحاسبة باستخدام برنامج مجهز من قبل الشركة للحصول على المعلومات وكما يأتي:

- 1- Trace A Frequency and Cp
- 2- Trace B Frequency and tanδ

وحسبت K<sub>o</sub> من المعادلة:

$$K_s = \frac{Cp * d(meter)}{\epsilon_s * A}$$

$$A = (5/2mm * 10^{-3})^2 * 3.14$$

مساحة قطب العازل

أما معامل الفقدان K<sub>o</sub>' يمكن حسابه كالآتي:  
ترتبط كل من K<sub>o</sub>, K<sub>o</sub>' بالعلاقة التالية على وفق المعادلة (8):

$$\tan\delta = \frac{K_o'}{K_o}$$

حيث تعطى tanδ مباشرة من Data Trace B-2 .  
تم الفحص في وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة علوم المواد/ قسم السيراميك

### النتائج والمناقشة Results and Discussion

يتضح من خلال قياسات ثابت العزل الكهربائي مع التردد أن ثابت العزل يتناقص بشكل سريع مع زيادة التردد نتيجة التشتت الحاصل في الاستقطابية المتكونة في المادة، ان هذا التشتت الحاصل في مقدار الاستقطابية مع التردد يمكن ان يوضح من خلال حركة شحنة الفراغ (Space charge) خلال المادة خصوصا عند الترددات الواطئة، فعند تسليط المجال الكهربائي فان حاملات الشحنة تحاول ان تدور باتجاه المجال الكهربائي مما يؤدي الى اضطراب لترصاف عزوم الاقطاب المتكونة نتيجة تسليط المجال الكهربائي المتناوب والمؤدي الى استقطاب الجزيئات المكونة، اما عند الترددات العالية فان مقدار التشتت في مقدار ثابت العزل يكون محدد وغير معتمد على حركة حاملات الشحنة خلال المادة لان حركة هذه الشحنات ستحجب بوساطة المتسعرات المتكونة داخل المادة وخاصة في المواد الحجمية.

من ملاحظة الاشكال الواردة لاحقاً نرى ان ثابت العزل وظل زاوية الفقدان ومعامل الفقدان العزلي تقل لجميع النماذج بزيادة التردد وذلك لان شدة تناوب المجال الكهربائي المتمثل بتردد الفولتية المسلطة يؤثر على حركة الشحنات وثنائيات الاقطاب في العازل وهذا بدوره يؤدي الى تغير اتجاه ثنائيات الاقطاب وبالتالي فأن الاستقطاب الكهربائي سوف يتغير مع تغير تردد الفولتية المسلطة (Kinser, 1971)، حيث أن زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط تؤدي الى نقصان مساهمة الاستقطابية البينية الى الاستقطاب الكلي مما يؤدي الى نقصان قيم ثابت العزل للنماذج مع زيادة تردد المجال الكهربائي، وهذا يتفق مع ما توصل اليه كل من Dayanad وجماعته (Dayanad et. al., 1980) و Bishai وجماعته (Bishai et. al., 1985) وحسين (حسين، 2002).

كما يعزى تناقص معامل الفقدان العزلي مع زيادة التردد الى امتصاص ثنائيات الاقطاب لطاقة المجال الكهربائي للتغلب على مقاومة الوسط الذي يحيط بها اثناء دورانها، ان هذه الطاقة الممتصة تقلل من حاملات

الشحنة المنتقلة بين طرفي المتسعة عند زيادة التردد، وتحتاج هذه الثنائيات الى طاقة عالية ومن المتوقع ان تحصل زيادة في معامل الفقدان عند مديات اعلى من هذه الترددات بسبب حصول استرخاء جميع الثنائيات بامتصاص جزء من الطاقة والجزء الاخر يصرف لنقل حاملات الشحنة وقد يحصل رنين كهربائي ايضاً عند توافق تردد المجال المسلط مع التردد الطبيعي للثنائيات وبذلك يزداد معامل الفقدان (Singer and Singer,1993).

كما نلاحظ من الاشكال ايضاً ان زيادة الحجم الحبيبي لجميع النماذج بثبوت التردد ادت الى نقصان قيم ثابت العزل وظل زاوية الفقدان ومعامل الفقدان العزلي ويمكن تفسير ذلك على اساس ان زيادة المسامية في النموذج والمتأنتية من زيادة الحجم الحبيبي تؤدي الى أعاققة استقطاب الشحنة الفراغية اي نقصان ثابت العزل كما وان زيادة نسبة المسامات كبيرة الحجم يؤدي الى زيادة التوصيلية الكهربائية على النقيض من حالة ازدياد المسامات الصغيرة والتي تؤدي الى نقصان التوصيلية وبالتالي زيادة ثابت العزل وظل زاوية الفقدان ومعامل الفقدان العزلي (Kingery et al.,1967).

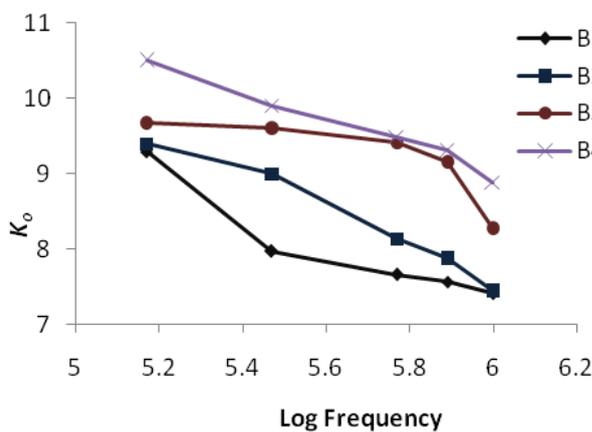
كما نلاحظ من الاشكال ان زيادة نسبة الالومينا في الخلطات ادت الى زيادة كل من ثابت العزل وظل الزاوية ومعامل الفقدان ويتوقع ان هذه الزيادة بسبب ازدياد حصول طور المولايث المتجانس في النموذج.

### الاستنتاج Conclusion

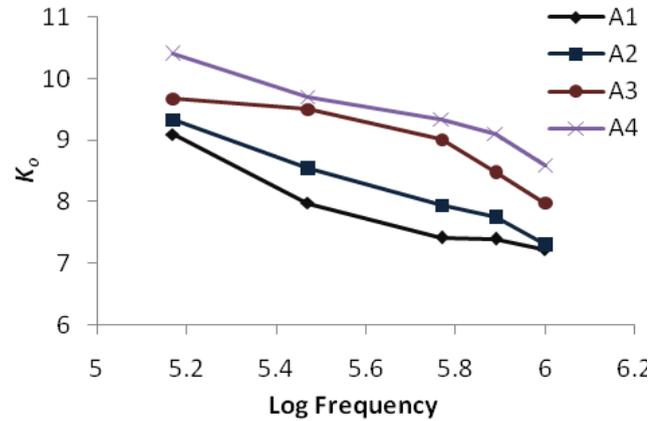
من خلال ما توفر لدينا من بيانات ونتائج تشير الى الاستنتاجات التالية:

يقبل كل من ثابت العزل ومعامل الفقدان العزلي وظل زاوية الفقدان مع زيادة التردد وذلك بسبب استقطاب حاملات الشحنة ومعنى ذلك ان الحاملات تترك مواقعها لانها تصبح ذات طاقة حركية تكفي لانتقالها الى المستويات تاركة خلفها الفجوات، وان الزيادة في مقدار ثابت العزل فانها تكون ناتجة عن التنشيط الحراري لحركة عزم الاقطاب وكذلك تنشط حاملات الشحنة عند الحدود الحبيبية في المواد متعددة التبلور، مما يؤدي الى تكوين شحنات حيزية والتي تتجمع عند الاقطاب وتكون بذلك مولدة متسعة اضافية عند القطبين.

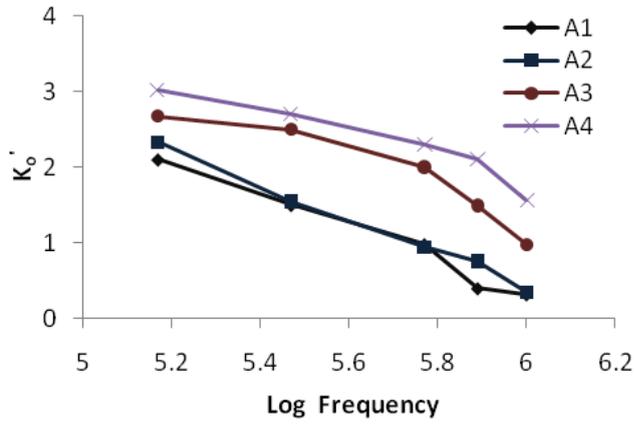
كما يزداد ثابت العزل ومعامل الفقدان العزلي وظل زاوية الفقدان مع نقصان الحجم الحبيبي اما زيادة نسبة الالومينا في الخلطات فانها تؤدي الى زيادة ثابت العزل ومعامل الفقدان العزلي وظل زاوية الفقدان.



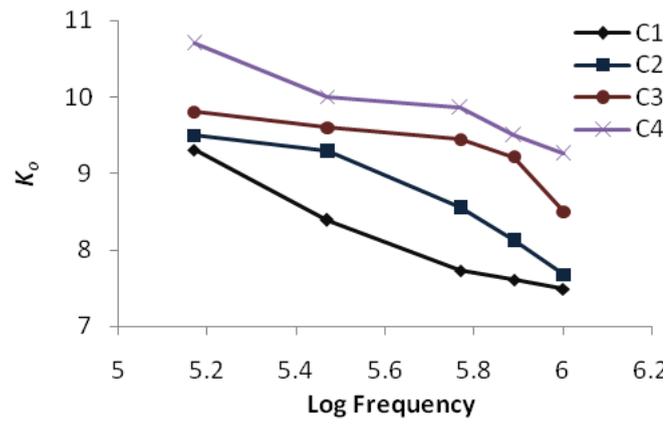
شكل (2) يبين تغير ثابت العزل مع لوغاريتم التردد للنماذج B



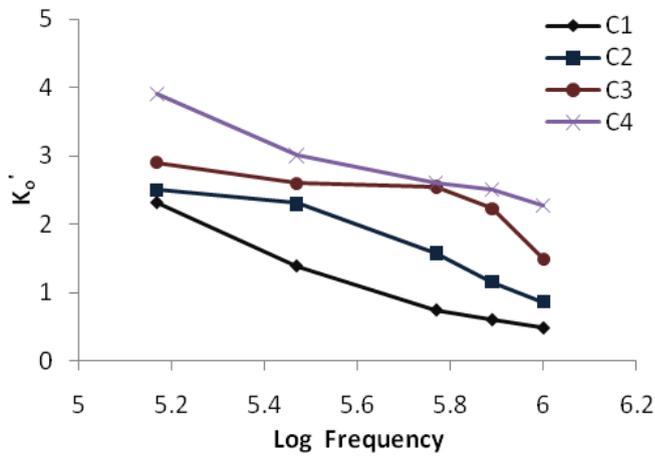
شكل (1) يبين تغير ثابت العزل مع لوغاريتم التردد للنماذج A



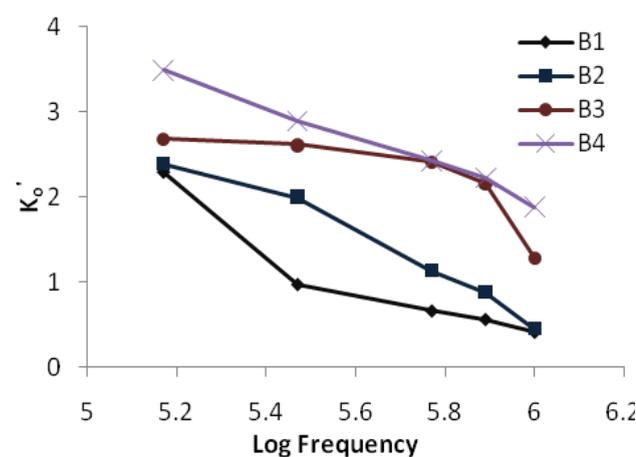
شكل(4)يبين تغير معامل الفقدان العزلي مع لو غاريتم التردد للنماذج A



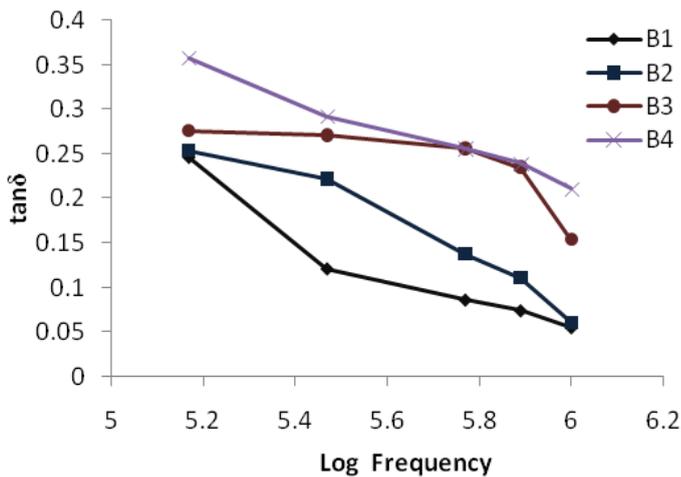
شكل(3)يبين تغير ثابت العزل مع لو غاريتم التردد للنماذج C



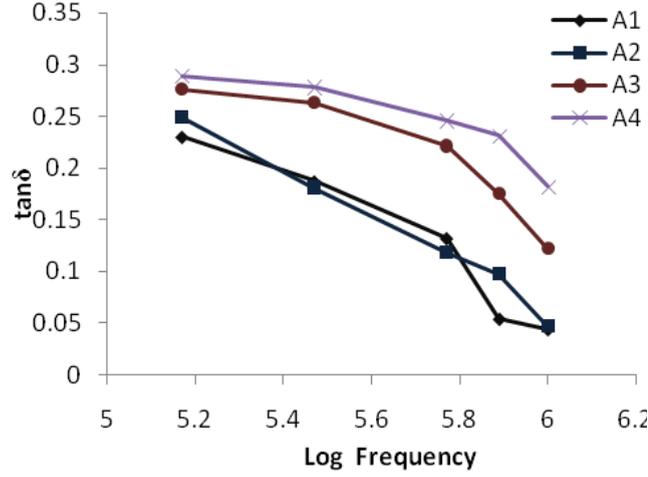
شكل(6)يبين تغير معامل الفقدان العزلي مع لو غاريتم التردد للنماذج C



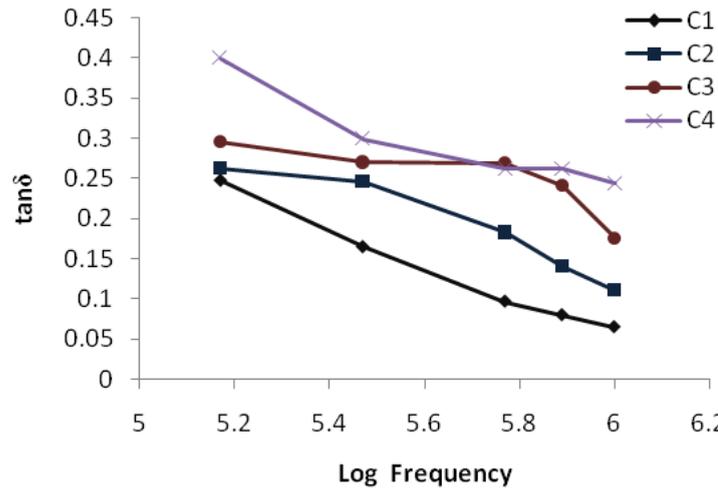
شكل(5)يبين تغير معامل الفقدان العزلي مع لو غاريتم التردد للنماذج B



شكل(8)يبين تغير ظل زاوية الفقدان مع لو غاريتم التردد للنماذج B



شكل(7)يبين تغير ظل زاوية الفقدان مع لو غاريتم التردد للنماذج A



شكل (9) يبين تغير ظل زاوية الفقدان مع لو غاريتم التردد للنماذج C

### المصادر References

- Al-Taie, M.H.; Al-Rhamadani, K.A., (1981) "Improving the quality of fire clay refractory brick" Rp(65/80), S.A.C., Baghdad.
- ASTM Designation (1984) "Standard method of test for AC loss characteristics and dielectric constant" *Permittivity of solids electrical, insulating materials*. D(68-150).
- Bishai, A.; Khayat, B.; Awni, F., (1985) *Am. Ceram. Soc. Bull.* Vo.64, P.598.
- Callister, W.D.J., (1994) "Material science and engineering, an introduction" Dep. of materials science and engineering, University of Utah.
- Coelho, R., (1979) "Physics of dielectrics for the engineering" Elsevier, New York.
- Dayanad, C.; Shekhar, M.; Nagabhooshanam, M.; Babu, V., (1980) *Indian J. Physics*, Vo.54A, P.444.
- Grimshaw, R.W., (1971) "The chemistry and physics of clay and allied ceramic materials" 4<sup>th</sup> edition, London, IETP.
- Harrop, P.J., (1972) "Dielectrics" Butterworth and co. publishers, London.
- Kingery, W.D.; Bowen, H.K.; Uhlman, D.R., (1967) "Introduction to ceramic" 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley, New York.
- Kinsler, D.L., (1971) "Electrical conduction in glass and glass ceramics" Marcel Dekker, Inc., New York.
- Michel, W.B., (1997) "Fundamentals of ceramics" McGraw-Hill companies inc.
- Mitchell, B.S., (2004) "An introduction to materials and engineering science" John Wiley and sons, New Jersey.
- Omar, M.A., (1975) "Elementary solid state physics: principles and applications"

Addition Wesley publishing company inc.,London.

Ramakrishnan, V.; Goo, E.; Roldan, J.M.; Giess, E.A., (1992) *J. of Material Sci.*, Vo.27, No.22, P.6127.

Singer,F.; Singer,S.S.,(1993) "Industrial ceramic" Chapman and hall ltd., London.

Van De Leur, R.H.M.; Zevenhoven, C.A.P., (1991) *J. of Material Sci.*, Vo.26, No.15, P.4086.

Zhang,F.C.; Lue,H.H.; Roberts,S.G., (2007) *J. Mater Sci.*, Vo.42, P.6798.

حسين، هاني محمود. (2003). "دراسة تأثير ظروف التشكيل في الخواص الفيزيائية للعازل الكهربائي السيراميكي". رسالة ماجستير، جامعة بابل.