

دراسة تأثير الحجم الحبيبي لمسحوق الكاولين العراقي ودرجة حرارة التلبيد في الخواص الفيزيائية

والكهربائية للعازل الكهربائي السيراميكي

م.هاني محمود حسين د.محمد هادي شنين م.ميثم حسين رشيد

كلية التربية الأساسية/ جامعة بابل

المقدمة Introduction

تستخدم في العمليات الصناعية السيراميكية أنواع مختلفة من الأطيان والمعادن الطينية للحصول على الخواص الفيزيائية والميكانيكية المرغوب فيها، مثل الكثافة العالية والمتانة الجيدة وأحياناً المسامية العالية، من خلال التحكم بترتيب الحبيبات في المنتج الطيني غير المحروق والتفاعلات التي تحدث بينها [1]. وقد أشارت بحوث عديدة إلى دور الكاولينايت كمادة أساسية في تطوير بدائل سيراميكية، كبديل عن الالومينا، تستخدم كأرضية أساس في ألواح الدوائر المتكاملة، كما في سيراميك الكورديرايت (Cordierite) الذي حضره Kobayashi وجماعته [2]، من الكاولينايت وهيدروكسيد المغنيسيوم، وسيراميك الانورثايت (Anorthite) الذي حضره كل من Kato وKobayashi من الكاولينايت وكاربونات الكالسيوم (Calcite) [3]. وتدخل الاطيان ومعادنها كإحدى المواد الرابطة البديلة المستخدمة في صناعة الاسمنت لتقليل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون (CO₂) [4].

أجريت دراسات عديدة على خواص الكاولينايت [5]، [6]، [7] [8]، [9]، [10]. كذلك أجريت دراسات عديدة على الكثير من المواد السيراميكية التي يدخل الكاولينايت كجزء أساسي في تصنيعها [11] [12] [13] [14]. عند حرق مكبوسة من الكاولينايت والكوارتز والفلدسبار ستحدث سلسلة تغيرات، فعند درجة حرارة ١٢٠ م° تقريباً تزال كل ما موجود من رطوبة أو ماء مضاف ويجب أن تتم هذه العملية ببطيء شديد حيث إذا حدثت هذه المرحلة بشكل مفاجئ سيزداد ضغط بخار الماء داخل المسامات محدثاً تشققات (cracks) في داخل المكبوسة [15]. وفي حالة وجود نسب قليلة من المواد العضوية فإنها تتأكسد في درجات الحرارة (٢٠٠-٣٠٠) م° وكذلك الحال للكبريتات إذا وجدت فإنها تتأكسد في درجات الحرارة (٤٠٠-٥٠٠) م° وعند درجات حرارة (٥٠٠-٩٥٠) م° تتحلل الكربونات (CaCO₃) مع تحرر غاز O₂ وعند درجات حرارة (٨٠٠-١٢٠٠) م° يتحلل Fe₂O₃ إلى Fe₃O₄ مع تحرر غاز O₂ [16].

يتحلل الكاولينايت إلى ميتا - كاولينايت (Al₂Si₂O₇) بعد فقدان مجاميع الهيدروكسيد على شكل ماء [5]. وتحدث مرحلة التحلل في درجات حرارة (٥٠٠-٦٠٠) م° [17].

عند درجة حرارة ٩٨٠ م° يتحول ميتا - كاولينايت إلى طور بلوري يطلق عليه مصطلح السباينل (Si-Al spinel) أو مولاييت مكعب البنية البلورية (cubic mullite)، طور ثانوي معيني البنية البلورية، مولاييت ابتدائي ضعيف التبلور كما يوجد طور سليكات الالمنيوم العشوائية (طور سائل) بسبب وجود الفلدسبار وتوجد أيضاً سليكا عشوائية، وعند درجات حرارة بين (١١٥٠-١٢٥٠) م° يتحول السباينل بشكل سريع إلى مولاييت ابتدائي ((primary mullite) في حين يبدأ تنوي ونمو بطيء للمولايث الثانوي (secondary mullite) من طور سليكات الالمنيوم العشوائية (amorphous alumina silicate) phase) و الناتجة من تفاعل الفلدسبار مع الكاولينايت [18]. وفي درجات حرارة (١٠٠٠-١١٠٠) م° يبدأ تفاعل الفلدسبار مع الكوارتز [19] ومن الممكن أيضاً أن يبدأ ذوبان الكوارتز عند ١٢٠٠ م° تقريباً [18].

الجزء العمل Experimental work

الموا التي استخدمت في البحث :

١ - كاؤولين دويخلة :يوجد خام الكاؤولين بكميات وفيرة في منطقة دويخلة في الصحراء الغربية في العراق حيث طحن مختبريا واخذ معدل القطر الحبيبي المطلوب لإغراض البحث. ويوضح الجدول (١) التحليل الكيميائي لطين كاؤولين دويخلة.

١- رمل زجاج ارضمة :يوجد بكميات وفيرة في العراق حيث تم إجراء التحليل لمعرفة نسب مكوناته كما مبين في الجدول (٢).

٢- الفلدسبار البوتاسيومي وهو عبارة عن مسحوق مستورد ذي نسب مكونات مبينة في الجدول (٣).

أجريت التحاليل الكيميائية للكاؤولين ورمل زجاج ارضمة باستخدام جهاز (Atomic Absorption/Flame Emission Spectrophotometer) نوع (Shimadzu AA-670) مع مراعاة عدم استخدام الجهاز أعلاه في تحديد نسبة الكوارتز في الكاؤولين تجنباً لتلف الأجزاء الزجاجية الداخلية للجهاز ولذلك استخدمت الطريقة الوزنية.

استخدمت منظومة (Coulter Counter Multisizer) لقياس معدل القطر الحبيبي وتوزيعه لمساحيق المواد الأولية. تم الحصول على مسحوق كاؤولين دويخلة ذي معدل قطر حبيبي ٥٠ مايكرون، ٢٣ مايكرون و ٦.٧ مايكرون باستخدام عملية النخل بواسطة منخل ذي فتحات قطرها ١٠٠ مايكرون، ٥٠ مايكرون و ٢٠ مايكرون على التوالي، ثم تم قياس معدل القطر الحبيبي وتوزيعه للمسحوق النافذ من المنخل بواسطة المنظومة أعلاه واتبعت الطريقة ذاتها مع مسحوقي رمل زجاج ارضمة والفلدسبار حيث تم النخل بمنخل ذو فتحات قطرها ٥٠ مايكرون، ٣٠ مايكرون على التوالي.

حضرت النماذج من خلال وزن النسب المطلوبة بميزان نوع (Mettler A 50) ذي قدرة تحسس ومدى تحميل gm 10^{-4} ، ٢٠.٠ gm على التوالي، وتوضع النسب الوزنية المحددة في دورق زجاجي مع ماء مقطر بحجم ml (٢٠٠-٣٠٠)، وتخلط النسب مع الماء المقطر بواسطة خلاط مغناطيسي (Magnetic Stirrer) وبدرجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (٧٠-٨٠) ولمدة ٥ hr، لحين تكون عجينة والتي تم تقليل محتواها من الرطوبة إلى نسبة تتراوح (١٠-١٥) % بواسطة وضع العجينة في مجفف هوائي مع التحريك المستمر.

كبست مساحيق النماذج بضغط (٥٠ MPa) بمكبس (X-press Hydraulic) بقالب صنع محليا قطره ٥ cm وارتفاعه 10 cm ، جففت النماذج في جو المختبر لمدة ٤٨ hr ثم وضعت في مجفف كهربائي عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ ٥٠ ثم رفعت درجة الحرارة تدريجيا إلى $^{\circ}\text{C}$ ١٠٠. تم تلييد النماذج بفرن نوع (Nabertherm) بمعدل تلييد $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ٢ من درجة حرارة الغرفة إلى $^{\circ}\text{C}$ ٤٠٠ ثم بمعدل $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ٥ إلى درجة $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ١٤٠٠ وتستقر لمدة ساعتين عند هذه الدرجة (زمن إنضاج). ويبين الجدول (٤) النسب المئوية الوزنية لمكونات الخلطات الخاصة بالبحث.

جدول (١) التحليل الكيميائي للكاولين العراقي

النسبة المئوية الوزنية (%W))	نوع الأوكسيد
٤٩.٦	Si ₂ O
٣٣.٥	AL ₂ O ₃
٠.١٩	Fe ₂ O ₃
١.٢	CaO
٠.٠٣١	MgO
٠.١٧	Na ₂ O
٠.٠٣	K ₂ O
١.٩٧	Fe ₂ O ₃
٠.١٢	TiO ₂
١٤.٦	L.O.I

الجدول (٢) التحليل الكيميائي للسليكا

النسبة المئوية الوزنية ((%W))	نوع الأوكسيد
٠.٣٨	AL ₂ O ₃
١.٩٧	Fe ₂ O ₃
٠.٢٤٦	CaO
٠.٠١٥	MgO
٠.١٧	Na ₂ O
٠.٠٣	K ₂ O
١.٩٧	Fe ₂ O ₃
٠.٢٥	L.O.I

الجدول (٣) التحليل الكيميائي للفلدسبار البوتاسيومي

النسبة المئوية الوزنية (%W))	نوع الأوكسيد
٦٩.٩١	Si ₂ O
١٥.٧	AL ₂ O ₃
٠.١٩	Fe ₂ O ₃
٠.٩٨	CaO
٠.١٣	MgO
٣.٢٥	Na ₂ O
٨.٣٥	K ₂ O
٠.٥	L.O.I

الجدول (٥) معدل القطر الحبيبي لمساحيق المواد الأولية

معدل القطر الحبيبي (مايكرون)	المادة الأولية
٥٠	كاولين (١)
٢٣	كاولين (٢)
٦.٧	كاولين (٣)
١٥	رمل زجاج ارضمة
٦.١٤	الفلدسبار البوتاسيومي

الجدول (٤) النسب المئوية الوزنية لمكونات الخلطات الخاصة بالبحث

اسم النموذج	كاؤولين (١)%	كاؤولين (٢)%	كاؤولين (٣)%	رمل زجاج أرضمة %	الفلدسبار البوتاسيوممي %	درجة حرارة التلييد (م°)
A	42,78			٣١.٩٦	٢٥.٢٦	1300
						1350
						1400
D	٤٢.٧٨			٣١.٩٦	٢٥.٢٦	١٣٠٠
						١٣٥٠
						١٤٠٠
E			٤٢,٧٨	٣١.٩٦	٢٥.٢٦	1300
						1350
						1400

النتائج والمناقشة

يبين الجدول (٦) النتائج المتحققة لكل من نسبة المسامات، الكثافة الحجمية، نسبة المسامات المفتوحة، نسبة امتصاصية الماء والكثافة الحقيقية للنماذج الملبدة في درجات حرارة ١٣٠٠ م، ١٣٥٠ م، ١٤٠٠ م. إذ يلاحظ تناقص نسبة المسامات الكلية وزيادة كل من نسبة التقلص الخطي للحرق والكثافة الحجمية للنماذج A و D مع زيادة درجة التلييد من 1300 م إلى 1350 م. يعزى ذلك الى زيادة نسبة الطور السائل المتكون في أثناء عملية التلييد والذي يكون الطور الزجاجي بعد عملية التلييد. في حين ازدادت نسبة المسامات الكلية عند درجة حرارة التلييد 1400 م على الرغم من ان زيادة درجة حرارة التلييد تؤدي الى زيادة نسبة الطور السائل. ويعزى ذلك الى زيادة نسبة غاز الأوكسجين المتحرر في أثناء عملية التلييد. حيث يتحلل Fe_2O_3 الى Fe_3O_4 مع تحرر غاز الأوكسجين [20], [21] والذي يؤدي أيضا الى تمدد حجم المسامات المغلقة أي حدوث تمدد في أبعاد النماذج لذلك تناقصت نسبة التقلص الخطي والكثافة الحجمية.

ويلاحظ ان النموذج E ذو سلوك مختلف نسبة للنموذجين A و D حيث ازدادت نسبة المسامات المفتوحة وامتصاصية الماء مع زيادة درجة حرارة تلييد من 1300 م إلى 1400 م. أكدت هذه النتيجة إضافة لنتائج المسامية الكلية والكثافة الحجمية والتقلص الخطي، ان درجات حرارة تلييد 1300 م و 1350 م و 1400 م تمثل مرحلة ما بعد درجة حرارة التزجيج. لذلك يتطلب استخدام درجات حرارة تلييد اقل من 1300 م لمعرفة درجة الحرارة الملائمة للحصول على اقل نسبة مسامات (كلية او مفتوحة) وامتصاصية ماء مع اكبر كثافة حجمية وتقلص خطي بالنسبة للنموذج E.

كما ويتضح تأثير نقصان معدل قطر حبيبات الكاؤولين المستخدم من ٥٠ مايكرون (النموذج A) إلى 23 مايكرون (النموذج D) حيث يلاحظ ان النموذج D ذو نسبة مسامية كلية اقل من النموذج A عند درجات حرارة تلييد 1300 م و 1350 م و 1400 م. حيث ان استخدام مسحوق الكاؤولين ذو معدل قطر حبيبي صغير يزيد من عملية التلييد نتيجة زيادة مساحة التلامس بين حبيبات المواد الأولية والذي يؤدي الى زيادة عملية الانتشار والتفاعلات الكيماوية التي تحدث في أثناء عملية التلييد [22] لذلك فأن الطور السائل المتكون في أثناء عملية التلييد تكون اكبر في النموذج D مما أدى الى

تناقص نسبة المسامية الكلية.السبب ذاته يفسر امتلاك النموذج D نسبة تقلص خطي وكثافة حجمية اكبر من النموذج A عند درجات حرارة تلييد 1300م° و 1350م° و 1400م°.

كما يتضح ان النموذج E ذو سلوك مختلف عن النماذج A وD حيث ازدادت نسبة المسامات الكلية وتناقصت نسبة التقلص الخطي والكثافة الحجمية ضمن المدى الحراري (1300م° الى 1400 م°) . دل ذلك على ان درجات حرارة التلييد المستخدمة في البحث تمثل مرحلة ما بعد درجة حرارة التزجيج بالنسبة للنموذج E نتيجة استخدام مسحوق الكاولين ذي معدل قطر حبيبي ٦.٧ مايكرون.

كما يلاحظ تناقص نسبة المسامية المفتوحة للنموذجين A وD عند زيادة درجة حرارة تلييد من 1300م° الى ١٣٥٠ م° بسبب زيادة الطور السائل المتكون في أثناء عملية التلييد والذي يؤدي أيضا إلى تناقص نسبة امتصاصية الماء. وتزداد كل من نسبة المسامات المفتوحة ونسبة امتصاصية الماء للنماذج أعلاه عند درجة حرارة تلييد 1400م° بسبب زيادة نسبة غاز الأوكسجين المتحرر في أثناء عملية التلييد مما يزيد من التبرثر السطحي (surface blistering) .

ويتبين إن تأثير نقصان معدل القطر الحبيبي لمسحوق الكاولين المستخدم من 50 مايكرون إلى 23 مايكرون كان واضحا حيث إن النموذج D ذو نسبة مسامية مفتوحة وامتصاصية ماء اقل من النموذج A بسبب زيادة نسبة الطور السائل المتكون أثناء عملية التلييد.

ويلاحظ ان النموذج E ذو سلوك مختلف نسبة للنماذج A وD حيث ازدادت نسبة المسامات المفتوحة وامتصاصية الماء مع زيادة درجة حرارة تلييد من 1300 م° الى 1400م° . أكدت هذه النتيجة إضافة لنتائج المسامية الكلية والكثافة الحجمية والتقلص الخطي، ان درجات حرارة تلييد 1300م° و 1350 م° و 1400م° تمثل مرحلة ما بعد درجة حرارة التزجيج. لذلك يتطلب استخدام درجات حرارة تلييد اقل من 1300 م° لمعرفة درجة الحرارة الملائمة للحصول على اقل نسبة مسامات (كلية او مفتوحة) وامتصاصية ماء مع اكبر كثافة حجمية وتقلص خطي بالنسبة للنموذج E.

تبين نتائج الكثافة الحقيقية لنماذج البحث أن قيم الكثافة الحقيقية، عند درجة حرارة تلييد معينة تكون متقاربة للنماذج A وD وE. يعد ذلك مؤشرا على إن نسب الأطوار الموجودة في النماذج تكون متقاربة عند درجة حرارة تلييد معينة. كما يلاحظ ان قيم الكثافة الحقيقية للنماذج أعلاه تتناقص مع زيادة درجة حرارة التلييد. ويعزى ذلك الى تناقص كمية المولايث في النماذج أعلاه.

الجدول (٦) النتائج المتحققة للخواص الفيزيائية

الخاصية						درجة حرارة التلييد (م°)	اسم النموذج
الكثافة الحقيقية غم/سم ^٣	امتصاصية الماء (%)	المسامية المفتوحة (%)	التقلص الخطي (%)	الكثافة الحجمية غم/سم ^٣	المسامية الكلية (%)		
٢.٤٥	٠.١٢٨	٠.٢٠٤	٥.٥٥	٢.٢٣	٩	١٣٠٠	A
٢.٤٢	٠.٠٣٩	٠.٠٨٤	٧, ٤	٢.٢٩٥	٥.١٦	١٣٥٠	
٢.٢٧٥	٠.١٨	٠.٣٩	٥.٢	١.٩٧٦	١٣.١	١٤٠٠	
٢.٤٧١	٠.١١٨	٠.١٧٩	٦	٢.٢٨٩	٧.٣٧	١٣٠٠	D
٢.٤٤	٠.٠١٣٥	٠.٠٣	٧.٢	٢.٣٦٧	٣	١٣٥٠	
٢.٢٩٤	٠.٠٧٦	٠.٢٨	٥.١	٢.٠٣	١١.٥	١٤٠٠	
٢.٤٨٣	٠.٠٨٥	٠.٣٣	٥.٢	٢.٢١	١١	١٣٠٠	E
٢.٤٤٨	٠.٠٩٧	٠.٥٢	٤.٤٥	٢.٠٨	١٥	١٣٥٠	
٢.٣٠١	٠.١٨	١.٣	٤.٢	١.٩٤	١٥.٦٨	١٤٠٠	

الخواص الكهربائية :

تبين الأشكال من (١) الى (٦) النتائج المتحققة لتغير قيم ثابت العزل الكهربائي وعامل القدرة والتوصيلية الكهربائية مع تردد المجال الكهربائي لجميع نماذج البحث، ويتضح من الأشكال أعلاه تناقص قيم ثابت العزل وعامل القدرة مع زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط وتتفق هذه النتيجة ونتائج عدد من الباحثين [23][24][25] يعزى ذلك الى ان 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. كذلك ان زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط على النموذج يقلل من قابلية ثنائيات الأقطاب الكهربائية المحتثة على مواكبة تغير المجال الكهربائي مما يقلل من الطاقة التي تمتصها من المجال الكهربائي المسلط مما يؤدي الى تناقص عامل القدرة مع زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط. ومن خلال ملاحظة تغير عامل القدرة مع تردد المجال الكهربائي للنماذج A و D والملمدة في درجة حرارة ١٣٥٠ م° وجد ظهور منطقة امتصاص ماكسويل - ويكتر عند تردد ١٠° هيرتز حيث تقوم ثنائيات الأقطاب الكهربائية المحتث بامتصاص اعظم طاقة من المجال الكهربائي المسلط. وقد لوحظت منطقة امتصاص ماكسويل - ويكتر أيضا من Bisha وجماعته [25] عند تردد ١٠° هيرتز. كما ان ظهور قمة امتصاص ضمن الترددات من ١٠ هيرتز إلى 10 هيرتز مؤشراً جيداً على ان نزوح الأيونات تحت تأثير المجال الكهربائي يكون سبباً في حدوث فقدان عزلي [26].

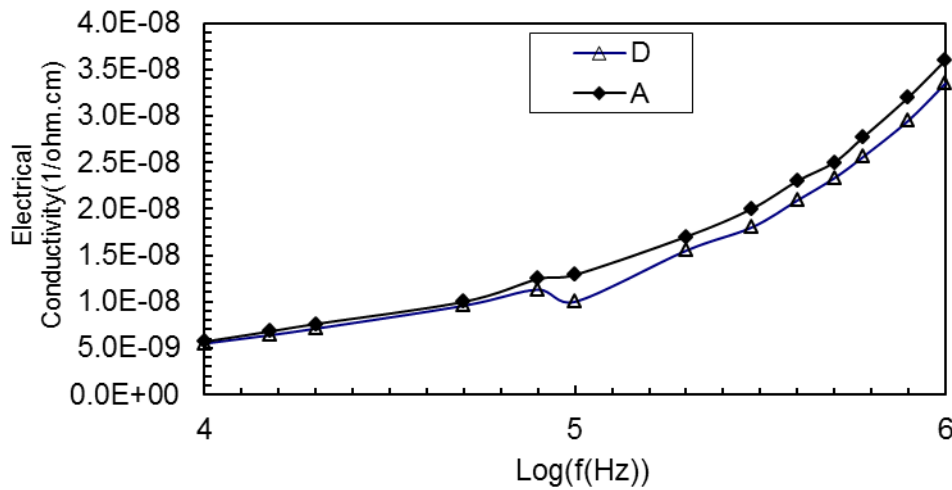
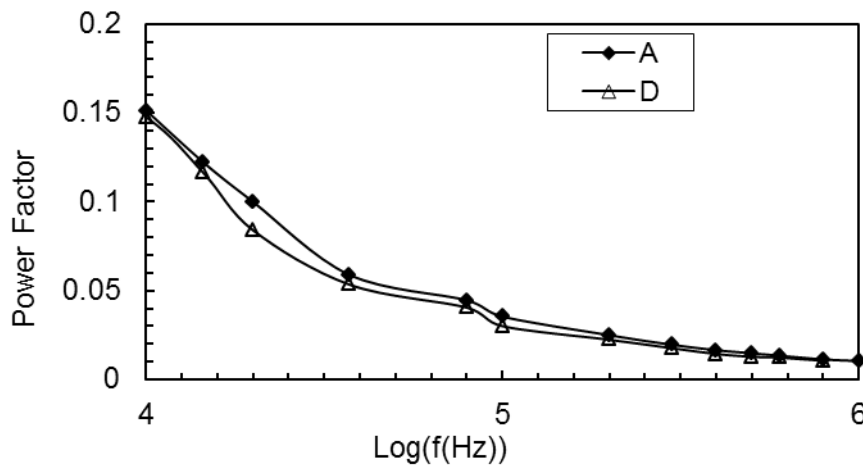
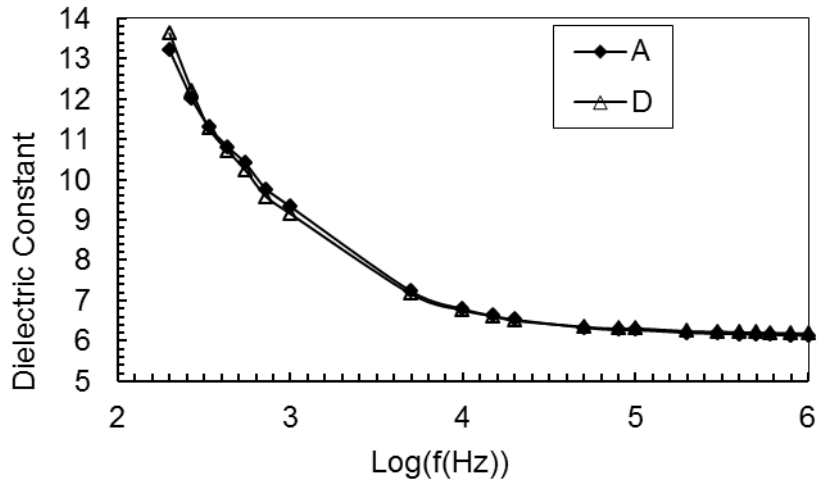
وتبين الأشكال ذاتها زيادة التوصيلية الكهربائية مع زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط. إذ تعتمد التوصيلية الكهربائية للبورسلين على طبيعة الأطوار ونسبها حيث تفسر التوصيلية الكهربائية في العازل الكهربائي للبورسليني، الذي يحتوي على نسبة عالية من الطور الزجاجي (٧٠-٨٠) %، بواسطة نزوح الأيونات القاعدية نتيجة قفزها من فجوة إلى أخرى ضمن شبكة الطور الزجاجي فضلا عن نزوحها عبر الحدود الحبيبية التي تفصل الطور الزجاجي عن الأطوار

البلورية عندما تكون نسبة الطور الزجاجي قليلة [27]. لذلك فان زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط على النماذج يزيد من ميكانيكية نزوح الأيونات القاعدية مما يؤدي إلى زيادة التوصيلية الكهربائية.

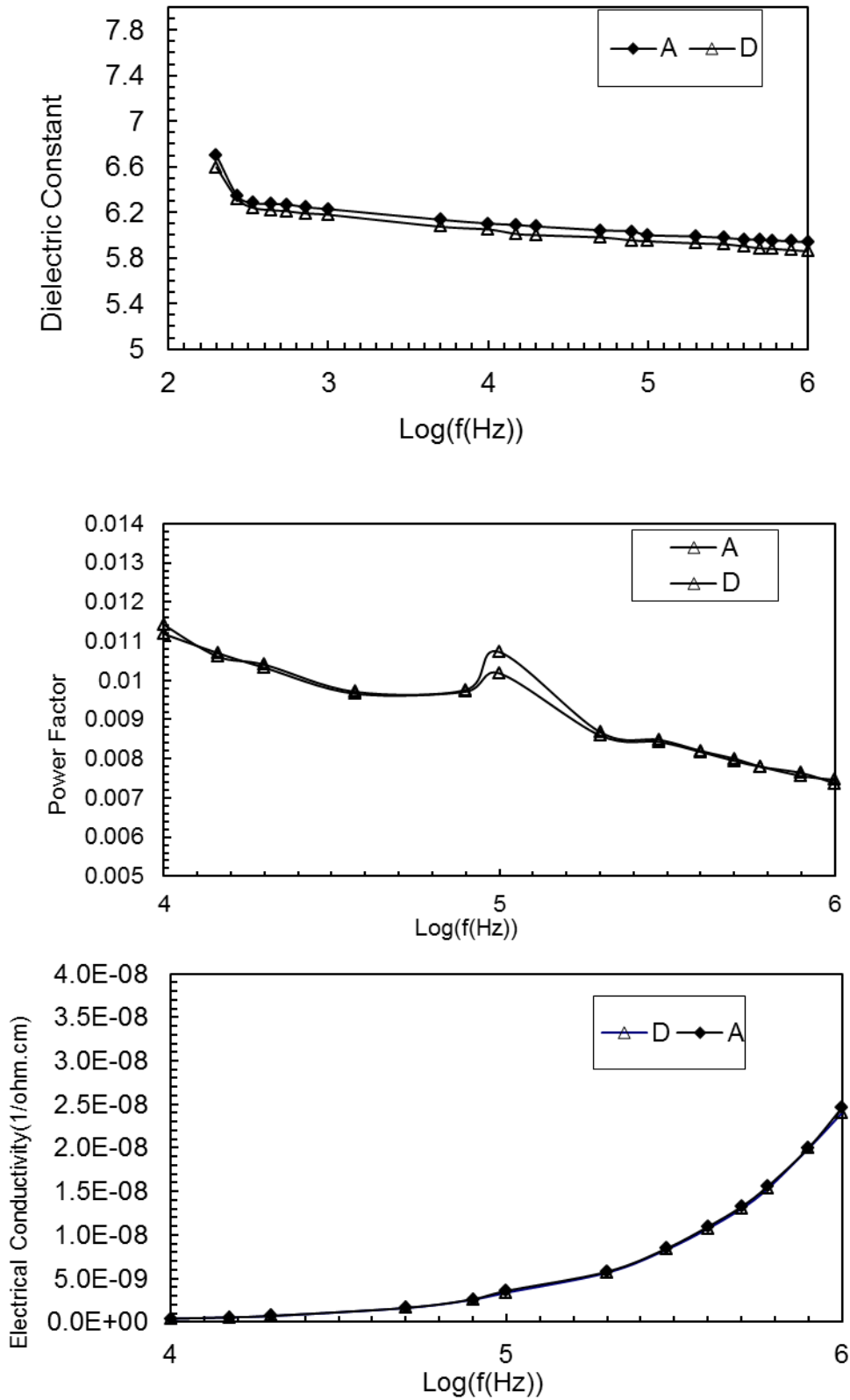
كما لوحظ حدوث تغير في علاقة عامل القدرة مع تردد المجال الكهربائي المسلط للنماذج A و D الملبدة في درجة حرارة 1400م° إذ كان اعظم امتصاص لطاقة المجال المسلط عند تردد 10°*2 هيرتز، أي ان زيادة درجة حرارة التلييد من 1350م° الى 1400م° أدى الى زيادة تردد قمة الامتصاص من 10° هيرتز الى 10°*2 هيرتز، يعد هذا مؤشراً الى حدوث تغير كبير في البنية المجهرية للنماذج أعلاه والملبدة في درجة حرارة 1400م°.

يلاحظ من الشكل (١) إن تأثير نقصان معدل القطر الحبيبي لمسحوق الكاولين من ٥٠ مايكرون الى ٢٣ مايكرون لم يكن ملحوظا ضمن الترددات من ٢٠٠ هيرتز الى 10^٦ هيرتز إذ كانت قيم ثابت العزل للنموذجين A و D متقاربة. وكانت قيم عامل القدرة للنموذجين متقاربة، كذلك كانت قيم التوصيلية الكهربائية متقاربة عند التردد 10^٤ هيرتز. كما يلاحظ من الشكل (٢) ان قيم ثابت العزل للنموذجين A و D كانت متقاربة عند الترددات 10^٣ هيرتز و 10^٦ هيرتز. أما قيم عامل القدرة والتوصيلية الكهربائية فكانت متقاربة أيضا عند الترددات 10^٤ هيرتز و 10^٦ هيرتز. ويلاحظ من الشكل (٣) ان قيم ثابت العزل وعامل القدرة كانت متقاربة أيضا في حين كانت قيم التوصيلية الكهربائية للنموذج A اكبر من النموذج D بنسبة ٦.٨١% و ١٠.٤% عند الترددات 10^٤ هيرتز، 10^٦ هيرتز على التوالي بسبب ان نسبة المسامات الكلية للنموذج A اكبر من النموذج D.

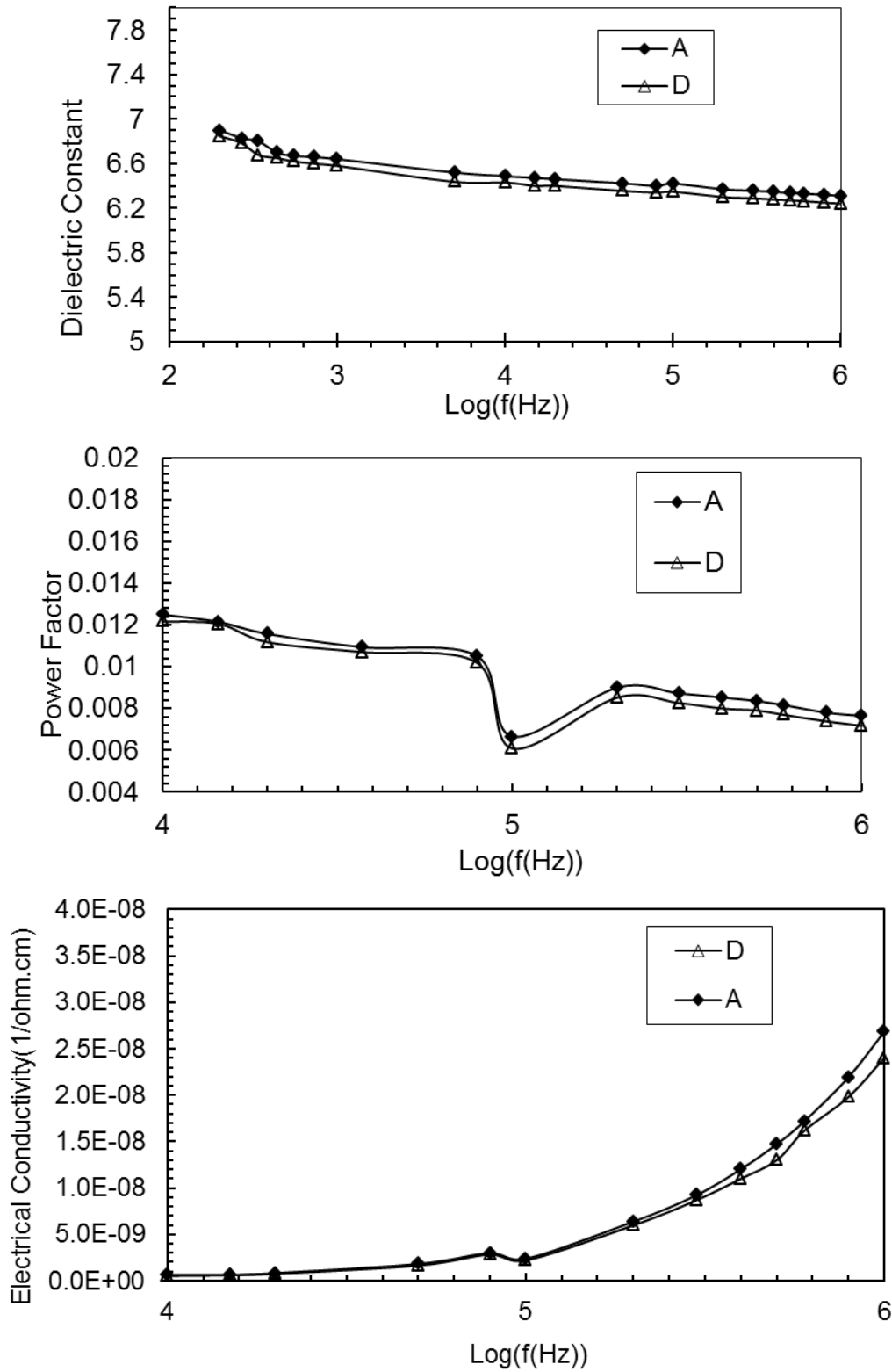
تبين الأشكال (٤) و (٥) و (٦) تأثير استخدام مسحوق الكاولين ذو معدل قطر حبيبي ٦.٧ مايكرون على ثابت العزل وعامل القدرة والتوصيلية الكهربائية لدرجات حرارة تلييد 1300م°، 1350م° و 1400م° على التوالي. إذ يتضح من الشكل (٤) ان قيم ثابت العزل للنموذج E تكون اكبر من النموذج A عند ترددات دون 10^٥ هيرتز وتكون اقل عند ترددات اكبر من 10^٥ هيرتز ويزداد هذا التأثير مع زيادة درجة حرارة التلييد كما مبين في الشكلين (٥) و (٦) إذ يزداد تأثير استقطاب الشحنة الفراغية في النموذج E مع زيادة درجة حرارة التلييد من 1300م° الى 1400م° نتيجة زيادة نسبة المسامات الكلية. كما يلاحظ من الأشكال أعلاه ان قيم عامل القدرة والتوصيلية الكهربائية للنموذج E اكبر من النموذج A عند درجات حرارة تلييد 1300م°، 1350م° و 1400م° على التوالي. يعزى ذلك الى ان نسبة المسامات الكلية للنموذج E اكبر من النموذج A. كما يتضح من خلال مقارنة تغير عامل القدرة مع التردد مع زيادة درجة حرارة التلييد للنموذج E زيادة قيم عامل القدرة مع زيادة درجة حرارة التلييد من 1300م° الى 1400م° وقد وجد السلوك ذاته لقيم التوصيلية الكهربائية بسبب زيادة المسامات الكلية مع زيادة درجة حرارة التلييد.



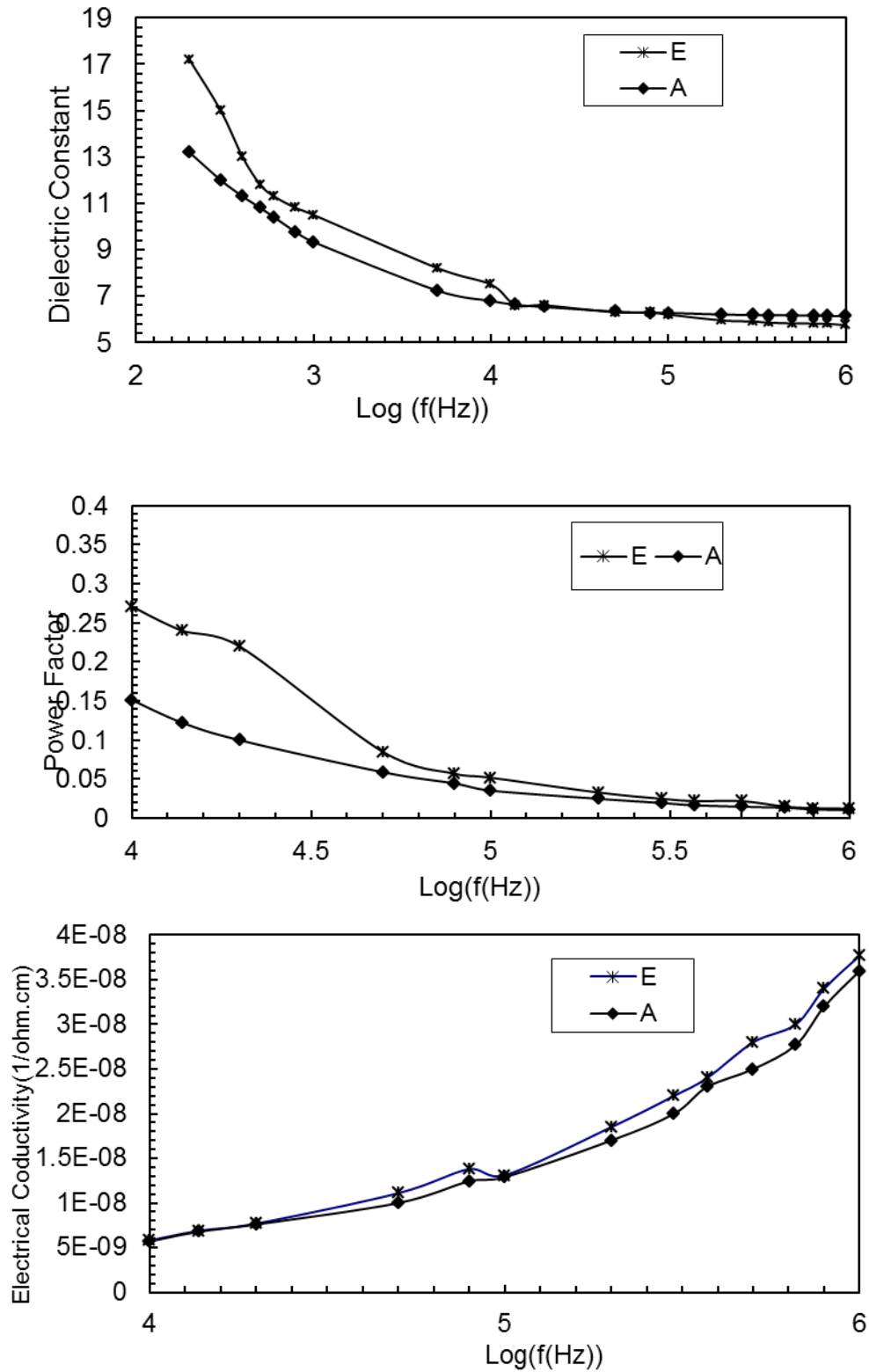
شكل (١): تغير ثابت العزل وعامل القدر والتوصيلية الكهربائية مع التردد للنموذجين D و A الملبدين في درجة حرارة ١٣٠٠ م



شكل (٢): تغير ثابت العزل وعامل القدرة والتوصيلية الكهربائية مع التردد للنموذجين D و A الملبدين في درجة حرارة ١٣٥٠ م°

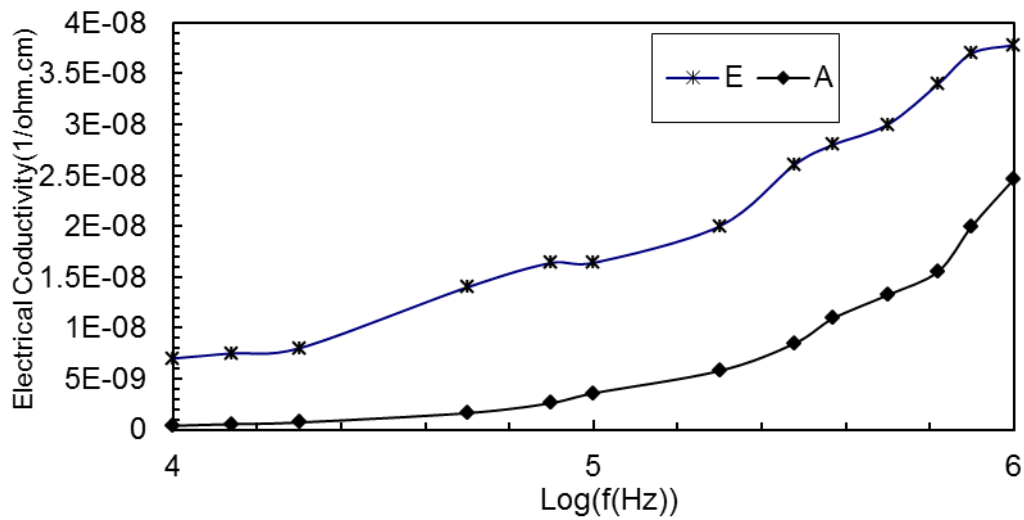
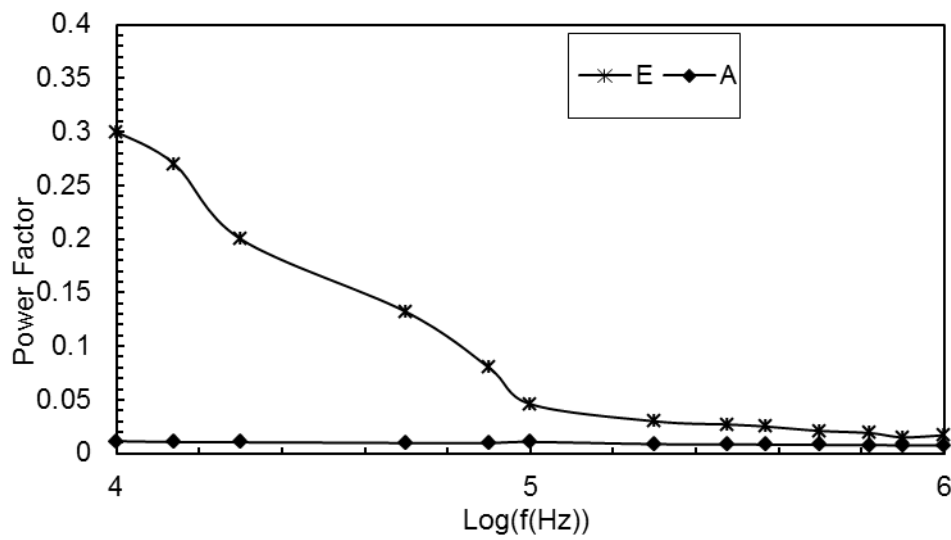
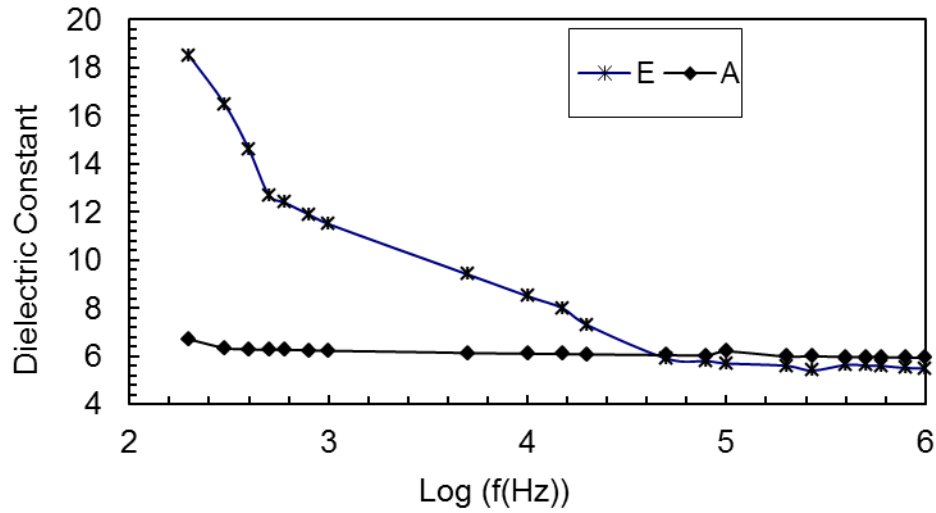


شكل (٣): تغير ثابت العزل وعامل القدرة والتوصيلية الكهربائية مع التردد للنموذجين A و D الملبدين في درجة حرارة ١٤٠٠ م

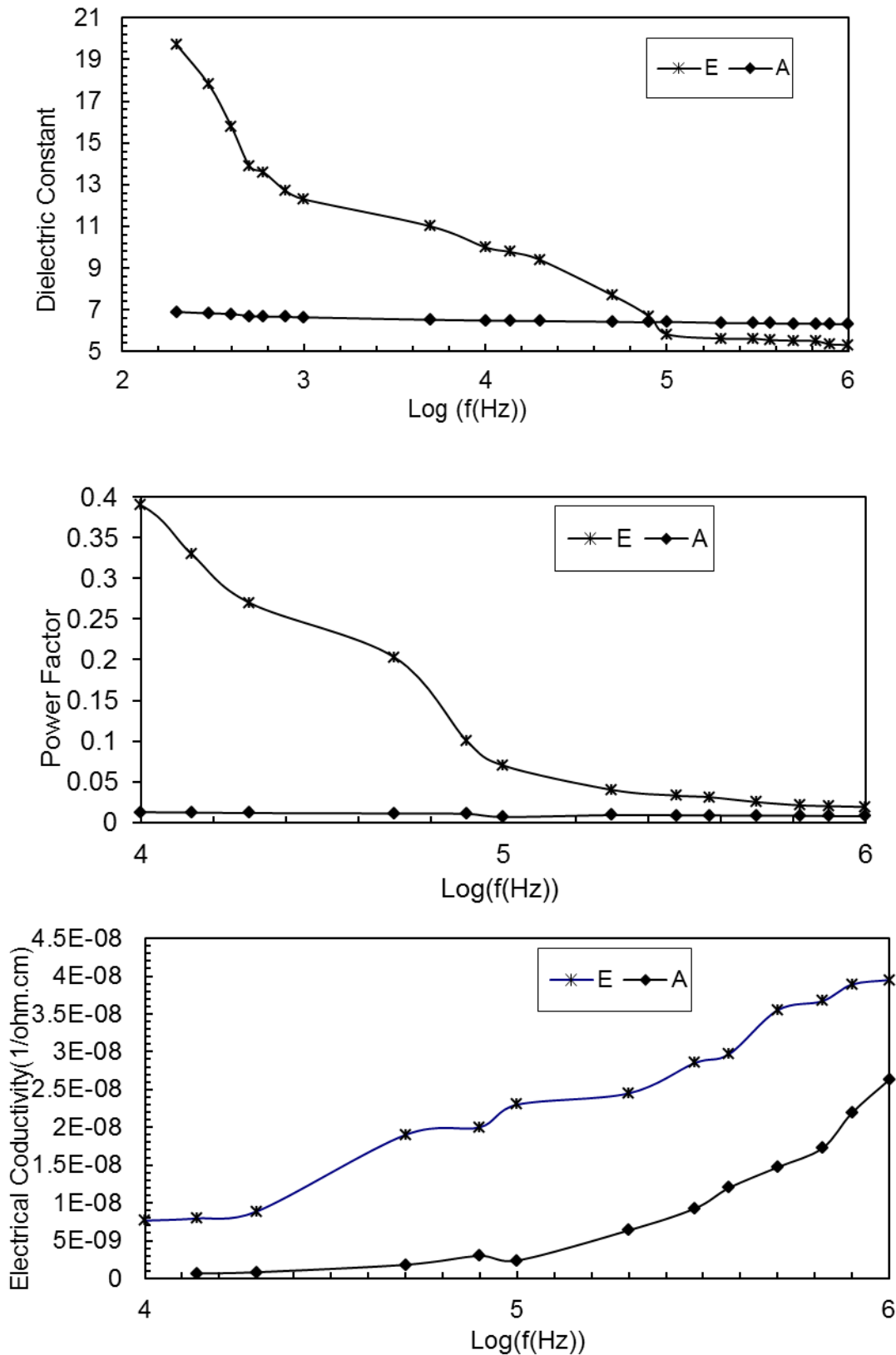


شكل (٤): تغير ثابت العزل وعامل القدرق والتوصيلية الكهربائية مع التردد للنموذجين E و A الملبدين في درجة

حرارة ١٣٠٠ م



شكل (٥): تغير ثابت العزل وعامل القدرة والتوصيلية الكهربائية مع التردد للنموذجين E و A الملبدين في درجة حرارة ١٣٥٠ م



شكل (٦): تغير ثابت العزل وعامل القدرة والتوصيلية الكهربائية مع التردد للنموذجين E و A الملبدين في درجة حرارة ١٤٠٠ م

المصادر References

- 1- L. Pavlava and M. Wilson, (1999), Clays and Clay Minerals, 47, 36,
- 2- Y. Kobayashi, K. Sumi and E. Kato, (2000), Ceramics International, 26, 739.
- 3- Kobayashi. Y and Kato. E, (1994), Am. Ceram. Soc., 77, 833.
- 4- John. E. , (1994), Department of Civil and Environmental Engineering , University of California at Berkeley, April 22th , 2007.
- 5- Claire. F, Sabine P, Alain D, and Daniele B, (2000), Clays and Clay Minerals, 48, 173.
- 6- Tomoyuki. I, Tomoyuki. M , and Changiun. W , (2000), Clays and Clay Minerals, 48, 75.
- 7- Nour. K , Ani. A and Mahdi. F , (1980), Indian. J. Phys., 54A, 444.
- 8 - , Morsy M. Abou Sekkina, Nehal A. Salahuddin, A. Elmaghraby and Mona Y. El-Ashry , (2011) , Research Journal of Chemical Sciences , Res. J. Chem. Sci. , 1, 2, 88 .
- 9 - I.M. Bakr , (2011), Applied Clay Science , 52, 3, 333.
- 10 - Gulgun Yilmaz , (2011) , Scientific Research and Essays , 6, (9), 1928 .
- 11 - Smrok. L, (1995), Zeitschrift fur Kristallographie, 210, 177.
- 12 - Nakahara. Z, Kondo. Y, Nakagawa. Z and Hamano. K, (1999), J. Ceram. Soc. Japan, 107, 1118 .
١٣. هاني محمود حسين، (٢٠٠٣)، دراسة تأثير ظروف التشكيل في الخواص الفيزيائية للعازل الكهربائي السيراميكي، أطروحة ماجستير، جامعة بابل.
- 14 - Kassim S. Kassim , Shihab Ahmed Zaidan Al Juboori and Abdul Mutalb Al Sheikh (2011), Eng & Tech. Journal , 29 , 4 , 665 .
- 15- S. Brahmabhatt, Ceramic Bulletin, 69, 243, (1990).
- 16- O. Hegab, M. Serry and M. Banna, Interceram, 33, 31, (1984).
- 17- A. Blasco, A. Barba, F. Negre and A. Escardino, Br. Ceram. Trans. J., 89, 28, (1990).
- 18- J. Restrepo and Dinger, (1995), Interceram, 44, 391.
- 19 - K. Schuller, (1964) , Trans. Brit. Ceram. Soc., 63, 103.
- 20 - A. Norris, D. Taylor and I. Thorpe, (1979), Trans. J. Brit. Ceram. Soc., 78, 102.
- 21- Y. Kobayashi, O. Ohira, T. Satoh, and E. Kato, (1992), J. Am. Ceram. Soc., 75, 1801.
- 22- M. Nakahara, Y. Kondo and K. Hamano, (1998) , J. Ceram. Soc. Japan, 106, 787 .
- 23- C. Dayanad , M. Shekhar, M. Nagabhooshanam and V. Babu, (1980), Indian. J. Phys., 54A, 118.
- 24 - K. Nour , A. Ani and F. Mahdi , Indian. J. Phys., 54A, 444, (1980).
- 25- A. Bishai, B. Khayat and F. Awni, (1985), Am. Ceram. Soc. Bull., 64, 598.
- 26- J. Floyd, (1964), J. Am. Ceram. Soc., 47, 539, .
- 27- H. Eberle and W. Kronert, (1973), Tran. J. Ceram. Soc. , 72, 6.