

**Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
Babylon University
College of Science**

**Study of PH-Function Effect
and Forming Conditions on Some Electrical
Properties of a Porcelain Body Forming from
Iraqi Native Materials**

A Thesis Submitted to
the Council of College of Science of Babylon University in a
Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Physics

By

Fadwa Hamadee Abaas

B. Sc. Baghdad University, ۱۹۹۴

March ۲۰۰۵

Abstract

The thesis takes two trends, the first one involve a study of PH-function effect and forming conditions on some ceramic dielectric properties, the second involves studying the capability of using ninivite porcelain instead of Arduma quartz the sand in ceramic dielectric manufacture. For this study, three groups were prepared in different mixing proportions from each of Kaolin clay, ninivite porcelain and feldspar, each of these three groups prepared in three different PH-functions (H_2 , H_0 , H_1) and forming under pressing pressure of (10^8 MPa) and sintered at three temperature degrees (1100°C , 1200°C , 1300°C) at raising rate ($5^\circ\text{C}/\text{min}$) and socket time of two hours.

The study of PH- function was done during the forming process by studying the variations of volume shrinkage and electrical properties represented by DC-electrical resistivity, dielectric constant and dielectric loss index, with the variations of samples sinter temperature degrees. It has been observed that an increase in the hydrogen basis to (H_2) leads to an acceleration of the porcelain body ripeness process and improves dielectric electrical properties for each of second and third groups which they were prepared according to the mixing weight percentage (46.43% kaolin, 30.31% porcelain, 20.2% feldspar) for the second group and (50.72% kaolin, 24.72% porcelain, 20.51% feldspar) for the third group. And so we conclude by comparing with dielectric manufacture specification that the mixing percentage of the second group which was forming at hydrogen basis (H_2) and sintered at temperature degree of (1200°C) verify the manufacture specification of the ceramic dielectric concerning the dielectric properties and shrinkage percentage.

جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل/كلية العلوم

**دراسة تأثير الدالة الحامضية
وظروف التشكيل في بعض الخواص الكهربائية
للجسم البورسليني المشكل من مواد محلية عراقية**

رسالة مقدمة إلى
مجلس كلية العلوم – جامعة بابل
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

من
فدوى حمادي عباس

بإشراف
الدكتور غالب عبد الوهاب أستاذ مساعد
الدكتور فاضل عبد رسن باحث علمي أقدم

آذار ٢٠٠٥ م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ قُلْ لَوْ كَانَ الْبَحْرُ مِدَاداً لِكَلِمَاتِ رَبِّي لَنَفَذَ
الْبَحْرُ

قَوْلِي أَنْ تَنْفَدَ كَلِمَاتُ رَبِّي وَلَوْ جِئْنَا بِمِثْلِهِ مَدَداً

﴿

صدق الله العلي العظيم
الكهف: ١٠٩

شكر و تقدير

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ، الحمد لله الذي علم بالقلم علم الإنسان ما لم يعلم والصلاة والسلام على حبيبه وعبدته ورسوله محمد وعلى آله وأصحابه المتأدبين بأدابه وسلم.

أما بعد فأني أتوجه بالشكر الجزيل والامتنان إلى الدكتور فاضل عبد رسن والدكتور غالب عبد الوهاب لإشرافهما على البحث ومتابعتهما العلمية وتوجيهاتهما السديدة لي و المستمرة طوال مدة البحث.

واخص بالشكر رئاسة جامعة بابل وعمادة كلية العلوم وقسم الفيزياء في الجامعة لمنحي فرصة القبول في الجامعة لإكمال دراسة الماجستير ولما قدموه من دعم وتسهيلات لطلبة الدراسات العليا، واشكر إدارة قسم الفيزياء في جامعة النهرين لاستضافتهم ومساعدتهم لي أثناء البحث واشكر موظفات المكتبة المركزية في جامعة بابل وجميع زملائي طلبة الماجستير الذين كانوا خير عون لي.

والله الموفق

فدوى

الخلاصة

يأخذ البحث اتجاهاً، الأول يتضمن دراسة تأثير الدالة الحامضية وظروف التحضير في بعض خواص العازل الكهربائي السيراميكي، والاتجاه الثاني يتضمن دراسة إمكانية استعمال صخور بورسلينات السلامة كبديل عن رمل زجاج أرضية في صناعة العوازل الكهربائية السيراميكية، وقد أستعملت لهذه الدراسة ثلاثة مجاميع حضرت بنسب خلط مختلفة لكل من طين الكاؤولين وبورسلينات السلامة والفلدسبار، حضرت كل من هذه المجموعات الثلاث بثلاث دوال حامضية مختلفة (٣, ٥, ٧) وشكلت بكبس ضغط (٨) ميكاباسكال ولبدت كل مجموعة بثلاث درجات حرارة (1100°C , 1200°C , 1300°C) وبمعدل ($2^{\circ}\text{C}/\text{min}$) ويزمن إنضاج قدره ساعتين.

وُوسَ تأثير الدالة الحامضية أثناء عملية التشكيل من خلال دراسة تغير التقلص الحجمي والخواص العزلية الكهربائية المتمثلة بالمقاومية الكهربائية المستمرة وثابت العازل ومعامل فقدان العازل مع تغير درجة حرارة تلييد النماذج، وقد لوحظ أن زيادة الأس الهيدروجيني إلى (٣~PH) أدت إلى تسريع عملية نضج الجسم البورسليني وتحسين خواص العازل الكهربائي لكل من المجموعتين الثانية والثالثة المحضرة وفق نسب الخلط (%٤٦.٤٣ كاؤولين، %٣٠.٣١ بورسلينات، %٥٢.٢٢ فلديسبار) للمجموعة الثانية و (%٥٠.٧٢ كاؤولين، %٢٤.٧٢ بورسلينات، %٢٥.٥١ فلديسبار) للمجموعة الثالثة، واستنتج من المقارنة مع مواصفة العازل الصناعية ان نسب الخلط للمجموعة الثانية المشكلة بالأس الهيدروجيني (٣~PH) والمليدة بدرجة حرارة (1200°C) حققت المواصفة الصناعية للعازل السيراميكي فيما يخص الخواص العزلية الكهربائية ونسبة التقلص الحجمي.

المحتويات

الصفحة	الموضوع	الفقرة
I	قائمة بالأشكال	
II	قائمة بالجداول	
III	قائمة بالرموز	
١	الفصل الأول: مقدمة في السيراميك والدراسات السابقة	١
	
١	المقدمة	١-١
٣	المواد الأولية	٢-١
٣	المعادن الطينية	١-٢-١
	
٥	السيليكا	٢-٢-١
٧	الفلدسبار	٣-٢-١
٩	عمليات التصنيع	٣-١
	
١٠	تحضير الجسم السيراميكي	١-٣-١
	
١١	التجفيف	٢-٣-١
١٣	عملية التشكيل	٣-٣-١
	
١٣	المواد الرابطة	١-٣-٣-١
	
١٥	عملية الحرق	٤-٣-١
١٧	خصائص العازل الكهربائية	٤-١
	
١٧	ثابت العازل	١-٤-١
١٨	الاستقطاب	٢-٤-١
٢٣	معامل فقدان العازل	٣-٤-١
	
٢٦	متانة العازل	٤-٤-١
٢٧	الدراسات السابقة	٥-١
	
٢٩	هدف البحث	٦-١
	
٣٠	الفصل الثاني: الجزء النظري (نظام طين- بوليمر)	٢
	
٣٠	التبادل الايوني والإمتزاز	١-٢
	
٣١	شحنات الكاؤولين السطحية المعتمدة وغير المعتمدة على الدالة الحامضية	٢-٢

٣٣	تأثير المواد العشوائية على سعة التبادل الايوني	٣-٢
٣٤	تأثير الأس الهيدروجيني PH والحجم الحبيبي على سلوك التميع للمواد السيراميكية	٤-٢
٣٧	سلوك PVA على سطح الطين	٥-٢
٣٩	العوامل المؤثرة على تفاعل الطين- بوليمر	٦-٢
٤٣	الفصل الثالث: الجزء العملي والحسابات	٣
٤٣	المواد الأولية	١-٣
٤٤	التحليل المعدني	٢-٣
٤٩	تحضير النماذج	٣-٣
٥٢	قياس الخواص الكهربائية	٤-٣
٥٢	ثابت العازل الكهربائي k ومعامل فقدان العازل k'	١-٤-٣
٥٣	المقاومية الكهربائية للتيار المستمر	٢-٤-٣
٥٤	تقلص الحرق الخطي الكلي	٥-٣
٥٤	النتائج	٦-٣
٧١	الفصل الرابع: مناقشة النتائج	٤
٧١	تأثير التردد على الخواص العزلية الكهربائية	١-٤
٧١	تأثير الدالة الحامضية PH ودرجة التلييد على التقلص الحجمي	٢-٤
٧٤	تأثير الدالة الحامضية على الخواص العزلية الكهربائية	٣-٤
٧٥	تأثير معدل التحميل على الحامضية على الخواص العزلية الكهربائية	٤-٤
٧٩	الاستنتاجات	٥-٤
٨١	الدراسات المستقبلية	٦-٤
٨٢	المصادر	

قائمة الأشكال

الصفحة	الموضوع	الشكل
٤	تراص طبقات الكاؤولين	١-١
٨	منحني يوضح انصهار خليط الكاؤولين والفلدسبار	٢-١
١٢	منحني التجفيف لجسم طيني	٣-١
١٤	الصيغة التركيبية لبولي فاينيل الكحول (PVA)	٤-١
١٩	مخطط يمثل الاستقطاب بواسطة سلاسل ثنائي القطبية والشحنات المقيدة	٥-١
٢٢	مخطط يمثل آليات مختلفة للاستقطاب	٦-١
٢٣	اعتماد آليات الاستقطاب على التردد	٧-١
٣٢	منحني يبين صافي الشحنة المتكونة للكاؤولين كدالة إلى PH لثلاث تراكيز أيونية ...	١-٢
٣٢	نسبة التبادل بين الكاتيون C^+ و الهيدروجين H^+ كدالة إلى PH	٢-٢
٣٣	سعة التبادل الأيوني كدالة للأس الهيدروجيني PH بوجود الشوائب وعدمها	٣-٢
٣٥	مخطط يبين الطاقة الكلية للتجاذب V_L مقابل المسافة الفاصلة بين الجسيمات H_0 ...	٤-٢
٣٦	ارتفاع الترسيب RSH لمعلقات الالومينا كدالة إلى PH	٥-٢
٣٧	كثافة الحبيبات ρ_0 التي كونت من ترشيح معلقات الالومينا وكثافة نفس الجسيمات بعد تليدها بدرجة ١٧٧٣ كلفن رسمت كدالة إلى PH ...	٦-٢
٣٨	يوضح انحلال عدد هائل من جزيئات الماء من سطح الطين أثناء عملية امتزاز جزيئة بوليمر مفردة غير مشحونة ويبين كذلك تعير شكل البوليمر أثناء الامتزاز	٧-٢
٣٩	مخطط امتزاز PVA من محلول مائي من قبل Na^+ -montmorillonite	٨-٢

٤٠	تأثير درجة تحلل بولي فاينيل الكحول في الماء على لزوجة المحلول وعلى الكمية الممتازة من قبل الكاؤولينايت	٩-٢
٤١	تغاير سعة تبادل الكاتايون مع الحرارة	١٠-٢
٤٢	مخطط يوضح تأثير اضافة الايكتروليت على استقرارية محلول طين مائي	١١-٢
٤١	حيود الأشعة السينية لمادة الكاؤولين محمصة عند 400°C	١-٣
٤٢	حيود الأشعة السينية لبورسلينات السلامة	٢-٣
٤٣	حيود الأشعة السينية لمادة الفلدسيار	٣-٣
٥٢	صورة لنموذجين محضرين مرسب عليهما اقطاب الألمنيوم	٤-٣
٥٤	بياني لقيم التيار المقاسة مقابل الفولتية لأحد النماذج المستخدمة في البحث	٥-٣
٥٦	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الأولى (A)	٦-٣
٥٦	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الأولى (A)	٧-٣
٥٨	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الأولى (B)	٨-٣
٥٨	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الأولى (B)	٩-٣
٦٠	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثانية (A)	١٠-٣
٦٠	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثانية (A)	١١-٣
٦٢	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثانية (B)	١٢-٣
٦٢	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثانية (B)	١٣-٣
٦٤	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثانية (C)	١٤-٣
٦٤	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثانية (C)	١٥-٣
٦٦	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (A)	١٦-٣
٦٦	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (A)	١٧-٣
٦٨	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (B)	١٨-٣
٦٨	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (B)	١٩-٣
٧٠	تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (C)	٢٠-٣
٧٠	تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (C)	٢١-٣
٧٣	تغير التقلص الحجمي مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الأولى	١-٤
٧٣	تغير التقلص الحجمي مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الرابعة	٢-٤
٧٣	تغير التقلص الحجمي مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الثالثة	٣-٤
٧٦	تغير المقاومة المستمرة مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الأولى	٤-٤

٧٦	تغير ثابت العازل مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الأولى	٥-٤
٧٦	تغير معامل فقدان العازل مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الأولى	٦-٤
٧٧	تغير المقاومة المستمرة مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الثانية	٧-٤
٧٧	تغير ثابت العازل مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الثانية	٨-٤
٧٧	تغير معامل فقدان العازل مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الثانية	٩-٤
٧٨	تغير المقاومة المستمرة مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الثالثة	١٠-٤
٧٨	تغير ثابت العازل مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الثالثة	١١-٤
٧٨	تغير معامل فقدان العازل مع درجة التلييد بدلالة الأس الهيدروجيني للمجموعة الثالثة	١٢-٤

II

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
٢	صفات العازل السيراميكي الكهربائي	١-١
٤٤	التحليل الكيميائي للمواد الأولية	٢-٣
٥٠	نسب خلط المواد الأولية والحجم الحبيبي	٣-٣
٥١	رمز كل خلطة اعتماداً على الدالة الحامضية	٣-٣
٥٥	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الأولى (A)	٤-٣
٥٥	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الأولى (A)	٥-٣
٥٧	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الأولى (B)	٦-٣
٥٧	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الأولى (B)	٧-٣
٥٩	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الثانية (A)	٨-٣
٥٩	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الثانية (A)	٩-٣

٦١	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الثانية (B)	١٠-٣
٦١	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الثانية (B)	١١-٣
٦٣	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الثانية (C)	١٢-٣
٦٣	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الثانية (C)	١٣-٣
٦٥	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الثالثة (A)	١٤-٣
٦٥	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الثالثة (A)	١٥-٣
٦٧	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الثالثة (B)	١٦-٣
٦٧	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الثالثة (B)	١٧-٣
٦٩	الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات عينات المجموعة الثالثة (C)	١٨-٣
٦٩	الخواص الكهربائية وظروف تحضير (الكبس والتلييد) نماذج المجموعة الثالثة (C)	١٩-٣
٧٩	مقارنة النتائج العملية المقاسة مع القيم القياسية للمواصفة العالمية	١-٤

III

قائمة الرموز

الرمز	التفاصيل
\hat{k}	ثابت العازل (السماحية النسبية)
\hat{k}^*	معامل فقدان العزل (ثابت العازل الخيالي)
K^*	ثابت العازل المركب (المعقد)
k_s	ثابت العازل المستقر
$\tan\delta$	عامل الفقدان
PVA	بولي فاينيل الكحول
C	سعة المتسعة في الفراغ
C_0	سعة المتسعة بوجود العازل

مساحة قطب العازل	A
المسافة الفاصلة بين صفيحتي المتسعة	d
نفاذية الفراغ	ϵ_0
نفاذية العازل الحقيقية	ϵ'
نفاذية العازل الخيالي	ϵ''
النفاذية المعقدة	ϵ^*
المجال الكهربائي	E
كثافة الفيض للمجال الكهربائي	D
الاستقطاب	P
المقاومة الكهربائية المقاسة	R_p
متانة العازل الكهربائي	D_s
فولتية الانهيار	V_B
الفولتية المسلطة	V_s
سمك النموذج تحت الفحص	H_s
كاؤولين مكلسن	CKM
سعة التبادل الكاتيوني	CEC

سعة التبادل الانايوني	AEC
كاتيون	C^+
نسبة التبادل بين الكاتيون C^+ والهايروجين H^+	θ_c
الطاقة الكلية للتفاعل	V_T
التنافر الكهربائي بين الطبقات المزدوجة	V_{DL}
قوى فاندر والز	V_A
المسافة الفاصلة بين الجسيمات	H_0
ارتفاع الترسيب النسبي	RSH
قطر النموذج قبل التجفيف	R_0
قطر النموذج بعد الحرق	R
تردد الفولتية المسلطة	F
التردد الزاوي	ω
زاوية الفقد	δ
التوصيلية الكهربائية	σ
المقاومة النوعية	ρ
الاستقطاب الكلي	α
الاستقطاب الأليكتروني	α_e
الاستقطاب الأيوني	α_i

استقطاب التوجه	α_o
استقطاب الشحنة الفراغية	α_s
زاوية حيود الأشعة السينية	θ
طول موجة الأشعة السينية	λ
مرتبة الحيود	n

إقرار المشرف على الرسالة

نشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ ﴿ دراسة تأثير الدالة الحامضية وظروف التشكيل في بعض الخواص الكهربائية للجسم البورسليني المشكل من مواد محلية عراقية ﴾ قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة بابل، وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء.

الإمضاء:	الإمضاء:
اسم المشرف: د.فاضل عبد رسن	اسم المشرف: د.غالب عبد الوهاب
المرتبة العلمية: باحث علمي أقدم	المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: وزارة العلوم والتكنولوجيا	العنوان: جامعة بابل/كلية علوم البنات/قسم الليزر

توصية رئيس قسم الفيزياء

إشارة إلى التوصية أعلاه المقدمة من الأستاذ المشرف الدكتور غالب عبد الوهاب أُحيل

هذه الرسالة إلى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها.

الإمضاء:
الاسم : د.طالب هادي قدوري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: جامعة بابل/ كلية العلوم/ قسم الفيزياء

التاريخ: ٢٠٠٥/٢ /

قرار لجنة المناقشة

نشهد أننا أعضاء لجنة التقويم والمناقشة قد اطلعنا على الرسالة الموسومة بـ ﴿دراسة تأثير الدالة الحامضية وظروف التشكيل في بعض الخواص الكهربائية للجسم البورسليني المشكل من مواد محلية عراقية﴾ وقد ناقشنا الطالبة ﴿فدوى حمادي عباس﴾ في محتوياتها وفيما له علاقة بها بتاريخ ٢٠٠٥/٢/١٧ ووجدنا أنها جديرة بالقبول لنيل درجة ماجستير في علوم الفيزياء.

الإمضاء:

رئيس اللجنة: د. كاظم جواد كاظم

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: الجامعة المستنصرية/كلية العلوم

التاريخ: ٢٠٠٥/٣ /

الإمضاء:

عضو اللجنة: د. أحمد محمود عبد اللطيف

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بابل/كلية العلوم

التاريخ: ٢٠٠٥/٣ /

الإمضاء:

عضو اللجنة: د. فؤاد شاكر هاشم

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بابل/كلية التربية

التاريخ: ٢٠٠٥/٣ /

مصادقة عميد كلية العلوم

أُصادق على ما جاء في قرار اللجنة أعلاه.

الإمضاء:

الاسم: د. عودة ياسر مزعل

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٠٥/٣ /

الفصل الأول

مقدمة في السيراميك والدراسات السابقة

١-١ مقدمة (INTRODUCTION)

يعرف السيراميك بأنه جسم صلب يصنع عن طريق المعالجة الحرارية لمادة أو خليط من مواد غير عضوية ولا معدنية، معظم المنتجات السيراميكية أساسها طيني فهي تصنع من طين واحد أو أكثر يخلط مع محسنات معدنية (Modifiers) مثل الكوارتز و الفلدسبار^[١]، للسيراميك خواص ميكانيكية وكهربائية وحرارية وتركيبية جيدة لذلك يدخل في العديد من التطبيقات الصناعية والعازل السيراميكي احد هذه الصناعات المهمة^[٢].

خضعت المنتجات السيراميكية إلى جملة من التصنيفات فقد صنف (Paul Rado)^[٣] المنتجات السيراميكية على أساس المواد الخام الداخلة في صناعتها وألوانها ودرجات حرارة الحرق، وصنفها (Chondhury)^[٤] حسب مجال استعمالها وكذلك صنفاها مرة أخرى معتمداً على أساس تركيبها، وصنفها (Ryan)^[٥] حسب درجات الحرارة التي تستخدم فيها، أما في الوقت الحاضر فهي تصنف إلى منتجات تقليدية ومنتجات متقدمة، تصنع المنتجات التقليدية من طين غير نقي ومزيج من طين نقي ومسحوق لمعادن غير لدنة فالمصطلح يعود إلى المنتجات التي يزيد فيها المحتوى الطيني عن (٢٠٪) وتصنف هذه المنتجات إلى أجسام الخزف الأبيض وبلاطات الأرض والخزف الصخري والخزف الصيني والبورسلين ومواد سيراميكية تقنية، تصنف هذه المنتجات وفقاً لتطبيقاتها إلى منتجات إلكترونية و مغناطيسية و ضوئية و كيمائية و حرارية و ميكانيكية و حيائية و نووية^[٦،٧].

يعرف العازل الكهربائي بأنه مادة عازلة تستعمل لمنع تسرب الشحنات الكهربائية في الأجهزة الكهربائية. أما مادة العازل الكهربائي تعرف بأنها مركب يمتلك خاصية كهربائية هي القابلية على الاستقطاب عند وضعها في مجال الكتروسـتاتيكي^[٨]. بصورة عامة تستعمل المواد العازلة كهربائياً بطريقتين مختلفتين، فهي تستعمل لإسناد وعزل مركبات الشبكة الكهربائية عن بعضها البعض ومن الأرض، وفي هذه الحالة من الضروري أن تكون سعة العازل أقل ما يمكن (أي ثابت عازل واطيء) ويكون ذا متانة و خواص مقاومة كيمائية وميكانيكية وحرارية مقبولة، والطريقة الثانية تستعمل فيها المادة العازلة كعازل لمتسعة ومن الضروري هنا أن يكون ثابت العازل ذا قيمة عالية لتكون سعة المتسعة اكبر^[٨].

نظراً لهذه التطبيقات فإن الخواص المهمة للعازل السيراميكي الكهربائي هي ثابت العازل ومعامل فقدان العازل ومتانة العازل^[٢]. والمواد السيراميكية التي تحقق المواصفات المثبتة في الجدول (١-١) تصنف كعوازل كهربائية جيدة^[٩].

جدول (١-١) صفات العازل السيراميكي الكهربائي		
ت	الخاصية	القيمة
١	ثابت العازل k عند ١ MHz	≥ 30
٢	معامل فقدان العازل (ثابت العزل الخيلي) k'' عند ١ MHz	≥ 0.03
٣	عامل الفقدان $\tan\delta$ عند ١ MHz	≥ 0.001
٤	متانة العازل	≤ 0.5 kV/mm
٥	المقاومية الكهربائية	$\leq 10^11$ $\Omega\text{-cm}$

إن تصنيع العازل الكهربائي عملية معقدة وتتأثر بالعديد من العوامل, تقسم هذه العوامل إلى صنفين الأول هو ظروف التصنيع وتشمل درجة الحرارة والضغط والجو والوقت أما الصنف الثاني هو خواص المادة الخام وتشمل مميزات المساحيق الخام الجوهرية كنقاوة المسحوق وتوزيع المسحوق الحجمي وشكل التوزيع والمساحة السطحية وغيرها^[١٠].

٢-١ المواد الأولية (RAW MATERIALS)

١-٢-١ المعادن الطينية (CLAY MINERALS)

يطلق مصطلح طين بصورة عامة على مواد ترابية طبيعية ناعمة تصبح لدنة عند مزجها بكمية محددة من الماء^[١٢,١١]، ونقصد باللدونة هي خاصية المادة التي لها قابلية التشكيل تحت تأثير قوة مسلطة واحتفاظها بالشكل الجديد بعد إزالة القوة المؤثرة^[١٣]. تتكون المعادن الطينية من تحلل الصخور النارية كالغرانيت (Granite) الذي يتكون من معادن الفلدسبار والسليكا والمايكا تحت تأثير حامض الكربونيك والماء على مدى فترة طويلة من الزمن فيتحلل الفلدسبار ليكون أطيان الكاؤولين حسب المعادلة أدناه^[١٤,١٣]:



المعادن الطينية هي أكثر المواد الأولية استعمالاً في صناعة السيراميك، فهي تؤدي وظيفتين في الجسم السيراميكي، فخاصية اللدونة التي تمتلكها هي الأساس لعمليات التشكيل المشهور استعمالها والثانية هي انصهارها على مدى معين من درجات الحرارة اعتماداً على تراكيبيها بطريقة ما بحيث تصبح كثيفة وقوية بدون أن تفقد شكلها، و تطبيقاتها في المجالات الصناعية المختلفة محدد بتركيبها ونقاوتها وتجانسها^[١٥،٢].

اشهر المعادن الطينية استعمالاً والتي حظيت باهتمام السيراميكين هي معادن الكاؤولين $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ لأنها تشكل المكون الرئيسي للأطيان^[٢].

تتكون معادن الكاؤولين من طبقتين بنيويتين، احدهما تعرف بطبقة السليكا مكون من ذرات السليكون والأكسجين، كل ذرة سليكون محاطة بأربعة ذرات أكسجين تترتب على هيئة رباعي سطوح (Tetrahedral) منتظم والطبقة الثانية تعرف بطبقة الجبسايت تتكون من ذرات الألمنيوم و مجموعات هيدروكسيل، كل ذرة ألمنيوم تحاط بستة مجاميع هيدروكسيل على هيئة ثماني أسطح (Octahedral).

تتكون بلورة معدن الكاؤولين من تراكب عدد كبير من الطبقات ترتبط فيما بينها بقوتي فاندر فالز وأواصر هيدروجينية ضعيفة تعمل بين مجاميع الهيدروكسيل في طبقة الجبسايت مع ذرات الأكسجين غير المشبعة في طبقة السليكا كما موضح في الشكل (١-١)، ترص كل وحدة بنيوية فوق بعضها الآخر بطرق عديدة فينشأ عنها أربعة معادن مختلفة من نوع الكاؤولين هي الناكريت (Nacrite) و الديكايت (Dickite) و الكاؤولينايت (Kaolinit) والهالوسايت (Halloysite)^[١٣،١٦].

شكل (١-١) تراص طبقات الكاؤولين

تمتاز المعادن الطينية بقابليتها على امتزاز الأنيونات (Anions) والكاتيونات (Cations) وتحتفظ بها في حالة تبادلية أي تسمح بتبادلها مع ايونات أخرى.

تكون جسيمات الطين بشكل صفائح رقيقة سداسية الشكل وصغيرة الحجم أي أن مساحتها السطحية كبيرة جداً، فهناك عدد كثير من الذرات تقع على السطح لا ترتبط مع الذرات الأخرى إلا من جانب واحد فهي ليست كالذرات الداخلية المرتبطة مع الذرات الأخرى من كل الجهات، تقوم الذرات السطحية نتيجة لعدم توازنها بجذب جزيئات الماء (الماء سائل قطبي مكون من انايونات OH^- و كاتيونات H^+) إلى سطح الطين مكوناً طبقة من الماء الممتز على سطح جسيماته، يعمل الماء الممتز كمادة مزيطة تعمل على تحريك صفائح الطين أحداها فوق الأخرى وتساعد على تشويبه شكل كتلة الطين مانحاً إياه اللدونة^[١٣،١١].

٢-٢-١ السليكا (SILICA)

يطلق أسم السليكا على مجموعة المعادن المكونة من الأوكسجين والسليكون اللذان يمثلان أكثر العناصر وفرة في قشرة الأرض، فهو مكون من إتحاد ذرتي أوكسجين وذرة سليكون وصيغته الكيماوية (SiO_٢) [١٦].

توجد السليكا دائماً بشكل متبلور ونادراً ما تكون غير متبلورة اعتماداً على درجة الحرارة والضغط التي تتعرض لها وفي بعض الأحيان على سرعة التبريد التي تبرد عندها، ومصطلح متبلورة يعود إلى حقيقة كون ذرات السليكون والأوكسجين تترتب بشكل ثلاثي الأبعاد يتكرر إلى ما نهاية في ثلاثة اتجاهات مكونة البنية البلورية، السليكا مركب متعدد الأشكال البلورية (Polymorphic Transitions) ولكن هناك ثلاثة أنواع رئيسة مشهورة وهي الكوارتز (Quartz) و التردميت (Tridymite) و الكريستوبالايت (Cristobalite) تمتلك جميعها التركيب الكيماوي نفسه ولكنها تختلف في طريقة ترتيب ذرات الأوكسجين والسليكون في بنيتها، فتكون الذرات أكثر ترصفاً في الكريستوبالايت والتردميت من الكوارتز، التغير من صيغة إلى أخرى عند الحرق أو التبريد بطيء جداً بل قد لا يحدث بدون وجود شوائب ويزداد معدل التغير هذا بزيادة نعومة المواد ويمكن توضيح تغيرات البنية للسليكا بالمخطط التالي [١٧،١٨]:

هناك نوعان من التغيرات الحاصلة في البنية تتضمن الأولى الكوارتز و الكريستوبالايت و التردمايت فهي تغيرات كبيرة في الطاقة و البنية الذرية تحصل هذه التغيرات نتيجة لتكسر أو اصر التكافؤ فتسمى تحولات (Conversions) والأخرى تغيرات طفيفة تحدث داخل بنية كل شكل منها تتضمن دوران أو اصر التكافؤ بين ذرات الأوكسجين والسليكون وتحصل فيها تغيرات قليلة بالطاقة فتسمى انقلابات (Inversions)، تختلف كل هذه الأشكال عن بعضها

البعض في صفاتها الفيزيائية، وأهم هذه الصفات الفيزيائية في علم صناعة السيراميك هي التمدد الحراري (Thermal Expansion) فعند الانتقال من شكل إلى آخر أثناء المعاملة الحرارية يحدث تغير حجمي مفاجيء إذا كان معدل ارتفاع أو انخفاض الحرارة سريعاً جداً مما يؤدي إلى حدوث تشقق في الجسم السيراميكي.

السليكا غير المتبلورة هي سليكا منصهرة تتكون من تسخين أي شكل متبلور من السليكا إلى درجة الانصهار ومن ثم تبريده، تمتلك السليكا المنصهرة معامل تمدد حراري خطي واطيء جداً مما يجعلها مفيدة عند الحاجة إلى مقاومة في التغيرات الحرارية السريعة (مقاومة الصدمات الحرارية)^[١٣،١٤].

تستعمل السليكا بشكل واسع في صناعة السيراميك لكونها مادة رخيصة الثمن وصلدة ومستقرة كيميائياً وغير قابلة للانصهار نسبياً ولها قابلية تكوين الزجاج فهي تعمل كمادة مقاومة للصهر الحراري^[١٦].

١-٢-٣ الفلدسبار (FELDSPAR)

مجموعة من المعادن السليكاتية غير المائية لها بنية السليكا نفسها و لكن تستبدل فيها بعض ذرات السليكون بالألمنيوم مما يولد صافي شحنة سالبة تعادل بالبوتاسيوم أو الصوديوم أو الكالسيوم أو الباريوم. صيغته الكيميائية العامة هي $X Al(Al,Si)_2O_8$, حيث X ممكن أن تكون عنصر واحد أو أكثر, ويعد معدن الفلدسبار أكثر المعادن وفرة في القشرة الأرضية، إذ يوجد في الصخور النارية والرسوبية والمتحولة و يشكل حوالي نسبة (٦٠%) من قشرة الأرض^[١٨].

يحتوي الفلدسبار حوالي (٠.١٨%) ألومينا Al_2O_3 وبما لا يقل عن (١٤%) أكاسيد معادن قلوية و (٢%) كحد أعلى من ثالث أكسيد الحديدوز Fe_2O_3 ^[١٧].

(٣٠%) من الفلدسبار المنتج يدخل في صناعة السيراميك فهو يستخدم كمادة مُصهرة (Fluxes Material) تضاف إلى مواد أخرى لتمكنها من الانصهار بسهولة, فهي تعمل على خفض درجة الحرارة التي يتكون عندها الطور السائل أثناء الحرق فيعمل هذا السائل عند تبريده على تكوين الزجاج الذي يربط حبيبات الجسم السيراميكي مع بعضها، فعند استعمال المصهرات يمكن إنتاج معدات قوية من الخزف أو البورسلين بالحرق عند درجات حرارة تتراوح بين $(1100-1200)^\circ C$ وهي درجات أوطأ بكثير مما لو كان الحرق

بدونها، ويوضح الشكل (٢-١) تأثير أحد مركبات الفلدسبار على درجة حرارة التلييد عند إضافته إلى معدن الكاؤولين^[١٦،١٩].

إن من أشهر أنواع الفلدسبار المستخدمة في صناعة السيراميك هي^[١٣]:

١. الفلدسبار البوتاسيومي $KAlSi_3O_8$ (Orthoclase)

٢. الفلدسبار الصوديومي $NaAlSi_3O_8$ (Albite)

٣. الفلدسبار الكالسيومي $CaAl_2Si_2O_8$ (Anorthite)

تنصهر بعض أنواع الفلدسبار بدرجة حرارة اقل من $(1400^\circ C)$ وبعضها بأعلى من $(1280^\circ C)$ لكن معدل نقطة الانصهار هي بين $(1250-1230)^\circ C$ ، للفلدسبار مدى واسع لدرجات الحرارة بين نقطة الانصهار (Melting Point) ونقطة الليونة (Softening Point) فهو منصهر لزوج جداً ولكي يصبح مائع سهل الحركة يجب أن ترفع درجة حرارته حوالي $(1000^\circ C)$ أعلى من درجة حرارة انصهاره.

لا يحتاج تصنيع السيراميك إلى عملية التزجج دائماً، ولكن قد يتطلب الأمر لحام نقطة إلى نقطة (Point to Point welding) أي عملية التلييد (Sintering) لغرض إعطاء المقاومة الميكانيكية المطلوبة. لمثل هكذا مواد تحدد نسبة الفلدسبار المطلوبة بـ $(20-50\%)$ اعتماداً على تركيب الجسم ودرجة الحرق^[١٤].

هناك أطياف تحتوي فلدسبار بنسبة أعلى من (20%) ولكن في أغلب الأحيان يضاف الفلدسبار إلى الجسم البورسليني، تحدث عملية الإضافة بطريقتين، أما بإضافة الفلدسبار النقي أو بإضافة مواد معادن غنية بالفلدسبار مثل البغماتيت (Pegmatite) أو حجر الكورنيش (Cornish Stone)، فكل منهما صخور فلدسبارية تتكون من $(20-30\%)$ طين و $(30-60\%)$ سليكا و $(30-60\%)$ فلدسبار.

٣-١ عمليات التصنيع (PRODUCTION PROCESSES)

تتميز المواد السيراميكية بأنها مواد هشة وتتكسر بدون أي تشويه أو بتشويه قليل على عكس سلوك المعادن التي تنحني وتتشوه، فالسيراميك لا يصنع بطرائق التصنيع الاعتيادية المستخدمة في المعادن^[٢]، ويمكن تلخيص المراحل الرئيسية المتضمنة في صناعة المعدات السيراميكية بالمخطط التالي^[٢٠،١٣]:



١-٣-١ تحضير الجسم السيراميكي

(CERAMIC BODY PREPARATION)

تتضمن هذه العملية خلط مختلف المواد الأولية بنسب و بدرجة نعومة معينين, وإنتاج خليط يحتوي على نسبة من الماء وقوام مطلوبين للمرحلة القادمة من التشكيل و التصنيع, يعتبر الخلط مرحلة مهمة من مراحل التصنيع إذ تتوزع المادة في الجسم السيراميكي توزيعاً متجانساً فيكون سلوكها متناغم (Consistence) [١٣].

توجد طريقتان للخلط وهما الخلط الجاف والخلط الرطب. وتستخدم في عملية الخلط خلطات مختلفة, منها الخلطات القلابية (Paddle Mixer) و الخلطات ذات الأرياش (Blade Type Mixer) و الخلطات الأنبوبية (Tube Mixer), وتتأثر عملية الخلط بالعديد من العوامل مثل شكل وحجم وعاء الخلط و الخواص الفيزيائية للجسيمات الصلبة وظروف التشغيل [٢٢,٢١].

١-٣-٢ التجفيف (DRYING)

تعرف عملية التجفيف بأنها معاملة حرارية لأجسام حبيبية رطبة ولمدة زمنية في درجات حرارة تتراوح بين درجة حرارة الغرفة و (١٥٠°C) يتم عن طريقها إزالة الماء من المادة بالتبخير [٢٣]. تتضمن هذه العملية انتقال حرارة الوسط المحيط إلى نظام ماء- صلد والانتقال المستمر للماء المتبخر في الاتجاه المعاكس [٢٤].

عند إجراء التجفيف يتبخر الماء من السطح الخارجي وتبدأ جسيمات الطين بالانسحاب نحو البعض الآخر بتأثير قوى الشد السطحي وتستمر العملية إلى أن نحصل على مجموعة من الجسيمات رخوة التراص لا يمكن أن يحدث بعدها تجاذب أكثر ولا أي انكماش، بعد هذه العملية يتبقى الماء الموجود في الفجوات بين الجسيمات وهو ما يعرف بمحتوى الرطوبة الحرجة (Critical Moisture Content)، وأن استمرار عملية التجفيف بعد هذه المرحلة يؤدي إلى فقدان ماء المسامات واستبدله بالهواء والحصول على جسم صلد مسامي جاف، العلاقة بين نسبة محتوى الرطوبة وحجم الطين موضحة بالشكل (٣-١)^[١٦]. يظهر في الرسم خطان مستقيمان، الجزء العلوي منهما يمثل المرحلة التي يُفقد فيها الماء و يكون فيها مقدار الانكماش أَلحجمي مساوٍ لحجم الماء المفقود وتسمى هذه المرحلة بمعدل الفترة الثابتة (Constant Rate Period) وعند نقطة تقاطع المستقيمين يتوقف الانكماش ولكن تستمر عملية فقدان الماء، وهذه هي المرحلة الثانية إذ يفقد الماء عن طريق الانتشار خلال المسامات وتسمى بمعدل مرحلة السقوط (Falling Rate Period).

شكل (٣-١) منحنى التجفيف لجسم طيني^[١٦].

تتأثر عملية التجفيف بعوامل كثيرة كالمواد الأولية ومكوناتها الكيميائية والمعدنية وتوزيع الحجم الحبيبي للمواد وكذلك بعملية تحضير المواد الأولية من طحن وغربلية ومزج وطريقة تشكيل الأجسام السيراميكية وكمية الماء المضافة عند التشكيل ودرجة حرارة التجفيف وسرعته ومدته الزمنية، فإذا لم تخضع هذه العوامل جميعاً إلى السيطرة الدقيقة

فسوف تتعرض الأجسام الطينية أثناء عملية التجفيف إلى مشاكل تؤثر على خواصها بعد عملية التجفيف و تتضح هذه المشاكل أكثر بعد عملية الحرق^[٢٤].

١-٣-٣-١ عملية التشكيل (FORMING PROCESS)

يقصد بالتشكيل عملية تصنيع الجسم السيراميكي بشكل وأبعاد معينين, تتأثر هذه العملية بعاملين هما المواد الخام (Raw Materials) المراد تشكيلها وطريقة تحضيرها, وتعد عملية التشكيل مرحلة مهمة إذ يحدد خلالها مقدار رص الحبيبات المسؤولة عن تحديد الخواص الفيزيائية^[٢٥].

هناك عدة طرائق تستعمل لتشكيل الجسم السيراميكي تصنف تبعاً لنسبة الرطوبة في الجسم أثناء التشكيل، من هذه الطرائق طريقة الصب الأنزلاقي (Slip Casting) وطريقة الكبس الجاف (Dry Pressing) والكبس شبه الجاف (Semi-Dry Pressing) والكبس الأيزوستاتيكي (Isostatic Pressing) وغيرها^[٢٦،٢٦]. وتعد عملية الكبس شبه الجاف أسهل وأشهر هذه الطرائق استعمالاً في تصنيع مكونات السيراميك الالكترونية وصناعة الحراريات، تتضمن هذه العملية تشكيل مسحوق جاف أو قليل الرطوبة نتيجة الخلط مع كمية قليلة من الماء أو مع رابط عضوي في قالب معدني تحت ضغط عالي بما فيه الكفاية فنتج قطعة كثيفة وقوية^[٢٧].

١-٣-٣-١ المواد الرابطة (BINDERS)

يستعمل الكبس الجاف في صناعة المعدات السيراميكية الواطئة أو المعدمة المحتوى الطيني كالعوازل والمتسعات في التطبيقات الالكترونية، لتسهيل عملية التشكيل و الاحتفاظ بالشكل الجديد بدون تشقق أو تكسر وإعطاء الجسم بعض القوة قبل عملية الحرق تضاف مواد رابطة إلى الخليط الجاف تساعد على انزلاق الجسيمات أثناء الكبس، فيستخدم لهذا الغرض كمية قليلة من المواد العضوية مثل بولي فاينيل الكحول (Polyvinyl Alcohol (PVA)) إذ تحترق هذه المواد بعيداً أثناء عملية الحرق بعد أن تكون قد أدت دورها وبالشكل الذي لا يترك له أية اثر في المنتج النهائي^[٢٣].

يعد بولي فاينيل الكحول من البوليمرات الخطية غير المشحونة التي تستطيع الذوبان في الماء وتكون معقدات مع المعادن الطينية، يبين الشكل (١-٤) تركيبه الكيميائي، تمتلك هذه البوليمرات عدد هائل من المجاميع القطبية على امتداد سلسلتها تستطيع الذوبان في الماء،

تدخل هذه المجاميع الفعالة في التفاعل مع سطوح المعدن الطيني، تميل هذه البوليمرات بأن تكون على هيئة ملفات عشوائية في المحاليل مما يجعلها ملبدات (Flocculants) ضعيفة نسبياً للمتشتتات الدقائقية المخففة بالماء ما لم يكن بُعد الملف مقارب لمتوسط المسافة الفاصلة بين الجسيمات، تبعاً لذلك تزداد كفاءة تلييد البوليمر مع زيادة الوزن الجزيئي، وعند تماس البوليمر مع المادة الممتازة تميل الجزيئات إلى الانهيار والانتشار على امتداد السطح، لهذا فإن البوليمرات غير المشحونة تُعد ملائمة جداً لاستقرار بنية موجودة^[٢٨].

شكل (٤-١) الصيغة التركيبية لبولي فاينيل الكحول (PVA)^[٢٦].

يرتبط البوليمر بالسطوح الأساسية للمعادن الطينية من خلال سلسلة من الأواصر الهايدروجينية بين مجاميع الهيدروكسيل لبولي فاينيل الكحول و ذرات الأوكسجين الأساسية لسطوح المعادن الطينية.

١-٣-٤ عملية الحرق (FIRING PROCESS)

بعد التجفيف تحرق المعدات السيراميكية بدرجات حرارة تتراوح بين $(700-1800)^{\circ}\text{C}$ اعتماداً على تركيبها الكيميائي و صفات المنتج المطلوبة.

ينشأ أثناء عملية الحرق سائل لزج أو حركية ذرية (Atomic Mobility) مما يتيح الفرصة للتفاعل الكيميائي والنمو الحبيبي (Grain Growth) و التلييد (Sintering)، والأخير يسمح لقوى الشد السطحي بتقسية الجسم وتقليل المسامية فيحدث تقلص في الحجم مساوٍ إلى نقصان المسامية يتراوح بين $(30-40)\%$ من حجم الجسم اعتماداً على عملية التشكيل والكثافة النهائية للجسم المحروق^[٢٧].

يمكن تلخيص التفاعلات الرئيسية التي تحدث أثناء عملية حرق الجسم السيراميكي النموذجي الذي يحتوي على الطين السليكا و مواد صهورة كالآتي:

١. تبدأ المعادن الطينية بالتحلل عند درجات حرارة تتراوح بين $(450-500)^{\circ}\text{C}$ فتنفصل

مجاميع الهيدروكسيل عن الطين على هيئة ماء كما في المعادلة التالية:



لا تعتمد هذه العملية على درجة الحرارة فقط وإنما تعتمد أيضا على زمن الحرق، فالجسم الذي يحترق سريعاً إلى درجة حرارة عالية ربما يتلقى معالجة حرارية اقل من الجسم الذي يحرق ببطء أكثر وإلى درجة حرارة اقل [٢٩،١٣].

١-٤ خصائص العازل الكهربائي

(DIELECTRIC ELECTRICAL PROPERTIES)

أهم تطبيقات العازل السيراميكي الأساسية هو استعماله كعنصر سعوي في الدوائر الاليكترونية وكذلك استعماله كعازل كهربائي، نظراً لهذه التطبيقات فإن أكثر الصفات ذات العلاقة أهمية هي ثابت العازل ومعامل فقدان العازل ومتانة العازل [٣٠،٢]. لذلك سنقوم بشرح هذه الخصائص وبعض الظواهر الكهربائية المتعلقة بها.

١-٤-١ ثابت العازل (DIELECTRIC CONSTANT)

من المعروف أن سعة متسعة صفائحية [٢] ذات مساحة (A) وسمك (d) في الفراغ تحسب من العلاقة:

$$C_0 = [A/d] \epsilon_0 \quad \dots\dots\dots 1-1$$

حيث (ϵ_0) هي نفاذية الفراغ (Vacuum permittivity)، إذا وضعت مادة سيراميكية ذات نفاذية (ϵ') بين صفيحتي المتسعة فإن السعة تحسب من العلاقة:

$$C = C_0 (\epsilon' / \epsilon_0) = C_0 k \quad \dots\dots\dots 1-2$$

حيث (k) هي السماحية النسبية (Relative Permittivity) أو ما يسمى بثابت العازل النسبي (Relative Dielectric Constant)، خاصية المادة هذه هي التي تحدد السعة في الدائرة. قابلية المادة على الاستقطاب وخرن الشحنة الكهربائية توصف من خلال السماحية النسبية، ويمكن تعريفها بأنها النسبة بين سماحية المادة إلى سماحية الفراغ:

$$k = (\epsilon' / \epsilon_0) \quad \dots\dots\dots 1-3$$

ومن تعويض المعادلة (١-١) في (١-٢) ينتج:

$$\hat{k} = (1/\epsilon_0) [d/A] C \quad \dots\dots\dots 1-4$$

يتأثر ثابت العازل للجسم السيراميكي بعوامل عديدة منها التركيب و تقنية التصنيع والكثافة وكذلك بعوامل الفحص بما فيها الحرارة وتردد الفولتية^[٣٣،٣٢،٣١].

١-٤-٢ الاستقطاب (POLARIZATION)

تتفاعل المادة العازلة مع المجال الكهربائي بشكل مختلف عن الفراغ الحر، وذلك لامتلاكها حاملات شحنة (موجبة وسالبة) تزاح عن أماكنها عند تسليط مجال كهربائي نتيجة تولد عزوم محتثة ثنائية القطبية الكهربائية فتحدث بذلك عملية الاستقطاب الكهربائي، تستطيع هذه الشحنات المزاحة داخل العازل معادلة جزء من المجال المسلط، فالشحنات الحرة (Free Charges) التي تمثل جزء من الشحنة الكلية هي التي تكون مجال وفولتية باتجاه الخارج أما المتبقي فهي شحنات مقيدة (Bound Charges) تتعادل بواسطة استقطاب العازل، يوضح الشكل (٥-١) مخطط يمثل كثافة الفيض الكهربائي الكلية (D) كمجموع للمجال الكهربائي (E وشحنة ثنائي القطبية (P) الذي يمكن تمثيله بالمعادلة أدناه^[٧]:

$$D = \epsilon_0 E + P = \hat{\epsilon} E \quad \dots\dots\dots 1-5$$

من المعادلة (١-٥) نستطيع حساب الاستقطاب (P)

$$P = \epsilon_0 (\hat{k} - 1) E \quad \dots\dots\dots 1-6$$

إذ الاستقطاب يمثل كثافة الشحنة السطحية للشحنة المقيدة ويساوي عزم ثنائي القطب لوحدة حجم المادة ووحدة قياسه هي (Col/m^٢)^[٣٤،٢].

شكل (٥-١) مخطط يمثل الاستقطاب بواسطة سلاسل ثنائي القطبية والشحنات المقيدة^[٣١].

هناك آليات متعددة للاستقطاب في المواد العازلة^[٣٥] (شكل ١-٦) أهمها:

١- الاستقطاب الإلكتروني (Electronic Polarization)

يظهر هذا الاستقطاب في جميع المواد وهي الطريقة الوحيدة السريعة التي تتبع المجالات الكهربائية المتناوب، ينشأ الاستقطاب الإلكتروني عن إزاحة مركز غيمة جذب الإلكترون السالب (Cloud Negative Electron) نسبة إلى نويات الذرة الموجبة في المجال الكهربائي^[٣٥]. مساهمة الاستقطاب الإلكتروني إلى الاستقطاب الكلي ضئيلة على الرغم من كثرة عدد الذرات في المادة وذلك لأن ذراع العزم الكهربائي فيها صغير جداً^[٣٤].

٢- الاستقطاب الأيوني (Ionic Polarization)

إزاحة الأيونات الموجبة والسالبة نسبة إلى بعضها البعض عن مواقعها الأصلية في الشبكة تحت تأثير المجال الكهربائي، ويسمى أيضاً بالاستقطاب الذري^[٣٦،٣٥]. هذا النوع من الاستقطاب أكثر مساهمة في الاستقطاب الكلي من الاستقطاب الإلكتروني، وذلك لأن إزاحة الأيونات أو ذراع العزم الكهربائي يكون أكبر^[٣٤].

٣- استقطاب التوجه (Orientation Polarization)

يحدث هذا النوع من الاستقطاب نتيجة لوجود ثنائيات القطب الكهربائية الدائمة في غياب المجال الكهربائي إلا إنها تكون عشوائية التوجه، تنشأ هذه الثنائيات نتيجة نزوح الشحنة غير المتساوية بين المتشاركات في الجزيئة أو أيون المركب، عند تسليط مجال كهربائي تميل ثنائيات الأقطاب هذه للاصطفاف مع ثنائيات الأقطاب الأخرى باتجاه المجال الكهربائي^[٣٧،٢].

٤- استقطاب الشحنة الفراغية (Space Charge Polarization)

النوع الأخير من الاستقطاب يحدث نتيجة وجود الشحنات المتحركة (Mobile Charges)، تكون هذه الشحنات محجوزة في المادة مطمورة بين السطوح، يحدث هذا

النوع من الاستقطاب في المواد المتعددة الأطوار (Multiphase) أو غير المتجانسة الخواص (Heterogeneous)، إذ أن وجود مواد مختلفة التوصيل الكهربائي في المادة الواقعة تحت تأثير المجال الكهربائي يؤدي إلى نزوح الشحنات عبر الأطوار الأكثر توصيل وتراكمها عند السطوح التي تفصلها عن الأطوار الأقل توصيل، مما يسبب زيادة ظاهرية في ثابت العازل الكهربائي. [٣٤،٩،٢].

يمكن تمثيل الاستقطاب الكلي للعازل من جمع الحدود:

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_o + \alpha_s \quad \dots\dots\dots ١-٧$$

إذ α_e تمثل الاستقطاب الالكتروني و α_i الاستقطاب الايوني و α_o استقطاب التوجه و α_s استقطاب الشحنة الفراغية [٢].

إذا كان تردد المجال الكهربائي المسلط واطيء بما فيه الكفاية فإن الاستقطاب يستطيع أن يتبع تردد التيار ويصبح متناوب، مع زيادة التردد فإن الاستقطاب سيجد صعوبة في تتبع المجال ولا يستطيع أن يجد الوقت الكافي لكي يصل إلى أعلى قيمة قبل أن ينعكس المجال، مع زيادة التردد ضمن هذا المدى فإن السماحية النسبية k تتضاءل وتوجد هناك خسارة أو امتصاص في الطاقة الكهربائية تتولد عنها حرارة في العازل، حيث يتناسب معدل تولد الحرارة مع مضروب التيار في الفولتية وتكون قيمتها صفر في العازل المثالي [٩،٢].

شكل (٦-١) مخطط يمثل آليات مختلفة للاستقطاب [٢].

يعتمد ثابت العازل على التردد (شكل ١-٧)، فالاستقطاب الالكتروني هو العملية الوحيدة سريعة بما فيه الكفاية لتتبع المجالات الكهربائية ضمن مدبترددات المنطقة المرئية من الطيف، أما عمليات الاستقطاب الأيوني فأنها قادرة على أن تتبع المجال المسلط عالي التردد وتسهم في ثابت العازل إلى حد ترددات المنطقة تحت الحمراء من الطيف، واستقطاب التوجه والشحنة الفراغية لها زمن استرخاء تعتمد على طبيعة النظام ولكنهما بصورة عامة يسهمان فقط عند الترددات الواطئة [٢].

شكل (٧-١) يوضح اعتماد آليات الاستقطاب على التردد^[١٢].

١-٤-٣ معامل فقدان العازل (DIELECTRIC LOSS INDEX)

عند تسليط فولتية جيبية على طرفي متسعة في دائرة تيار متناوب يتكون تيار شحن يتقدم على الفولتية بزواوية طور مقدارها (90°) ، أما في حالة وجود عازل بين طرفي المتسعة وتسليط المجال المتناوب فأن الوقت اللازم للاستقطاب يظهر تأخير في تيار الشحن، ويكون تقدم التيار بزواوية قدرها $(90^\circ - \delta)$ ^[١٣]، وتسمى δ بزواوية الفقد وقيمة هذه الزاوية في المواد السيراميكية لا تتجاوز (٥) درجات^[١٤].

يمثل المجال الكهربائي المتناوب وكثافة الفيض رياضياً بصيغة عقدية كما في المعادلتين:

$$E = E_0 \exp(i\omega t) \quad \dots\dots\dots ١-٨$$

$$D = D_0 \exp i(\omega t - \delta) \quad \dots\dots\dots ١-٩$$

ومن تطبيق ثابت العازل المعقد K^* في المعادلة (١-٦) يصبح:

$$D = K^* E \quad \dots\dots\dots ١-١٠$$

$$K^* = k_s \exp(-i\delta) = k_s (\cos \delta - i \sin \delta) \quad \dots\dots\dots ١-١١$$

حيث $(k_s = D_o/E_o)$ ثابت العازل المستقر، وبدلالة ثابت العازل المعقد:

$$K^* = \hat{k} - i\check{k} = \epsilon^*/\epsilon_o = 1/\epsilon_o (\epsilon' - i\epsilon'') \quad \dots\dots\dots 1-12$$

من مقارنة المعادلتين (1-11) و (1-12) نحصل:

$$\hat{k} = k_s \cos \delta \quad \dots\dots\dots 1-13$$

$$\check{k} = k_s \sin \delta \quad \dots\dots\dots 1-14$$

ومن قسمة المعادلتين (1-13) و (1-14) ينتج:

$$\tan \delta = \check{k} / \hat{k} = \epsilon''/\epsilon'$$

إزاحة الطور هذه الناتجة عن تخلف الوقت بين الفولتية المسلطة والتيار المحتت تسبب ضياع في التيار والطاقة في دوائر التيار المتناوب^[٢].
معامل الفقد ممكن أن يكتب بدلالة التوصيلية الكهربائية ممكن أن يكتب بالشكل الآتي:

$$\sigma = \omega \epsilon'' = \omega \epsilon' \tan \delta \quad \dots\dots\dots 1-15$$

$$\check{k} = \epsilon''/\epsilon_o ; \epsilon_o = \epsilon' / k \quad \text{ولما كان}$$

فإن:

$$\check{k} = \epsilon''/\epsilon_o = \sigma/\omega \epsilon_o \quad \dots\dots\dots 1-16$$

ومن تعريف التوصيلية الكهربائية $(\sigma = 1/\rho ; R_p = \rho \cdot d_s/A)$ وبالتعويض عن التوصيلية في المعادلة (1-16) ينتج:

$$\bar{k} \text{ (dielectric loss index)} = [(1/R_p \omega \epsilon_o) \cdot d_s/A] \dots\dots 1-17$$

حيث R_p تمثل قيمة المقاومة المقاسة (Ω)، و d_s يمثل سمك النموذج (المسافة بين قطبي العازل) (mm)، و ($\omega = 2\pi f$) حيث f تمثل تردد المجال الكهربائي المسلط على النموذج (Hz). و ϵ_o : سماحية الفراغ ($8.854 \times 10^{-12} \text{ Farad.m}^{-1}$).

٤-٤-١ متانة العازل (DIELECTRIC STRENGTH)

جميع العوازل عند وضعها في مجال كهربائي ستفقد خصائصها العزلية إذا تجاوز المجال قيمة حرجة معينة، تدعى هذه الظاهرة بإنهيار العازل (Dielectric Breakdown) والمجال الكهربائي الذي يحصل عنده الانهيار يدعى متانة انهيار العازل (Dielectric Strength) [٣٦].

عند قوى المجال الواطئة هناك توصيلية DC محددة ناتجة عن حركية عدد غير محدود من حاملات الشحنة العائدة إلى العيوب الأيونية أو الأليكترونية، عند زيادة قوة المجال تزداد هذه التوصيلية و لكن عندما يصل الجهد إلى قيمة كبيرة بما فيه الكفاية بحيث أن المجال المنبعث من الأقطاب يعمل على توفير كمية الكترونات مناسبة تتدفق كتيار مما ينتج عنه فتح قنوات انهيار وتفرعات معدنية تربط العازل وتجعله غير صالح للاستعمال [٣٧]. تتأثر متانة العازل بخصائص المادة الجوهرية كثابت العازل ومعامل فقدان العازل وطاقة التأين اللازمة لإزاحة الإليكترون من الجزيئة [٣٨]، وكذلك سمك العازل وحركية حاملات الشحنة [٣٩]، وعدد حاملات الشحنة المتاحة ومتوسط المسار الحر بين الجزيئات [٤٠]، تعين متانة العازل بدلالة المجال الكهربائي من العلاقة:

$$D_s = (dV_s/dX)_{\max} = V_B / d_s \dots\dots\dots 1-18$$

حيث (D_s) متانة العازل بوحدة (KV/mm)، و (V_B) فولتية الانهيار، و (V_s) الفولتية المسلطة [٩].

٥-١ الدراسات السابقة (PREVIOUS STUDIES)

قام (Bolland وجماعته، ١٩٨٠) [٤١] بايجاد منحنيات لتبادل الكاتيون رياضياً للشحنات السطحية لمعدن الكاؤولين المثالي لكل من الشحنات السطحية المعتمدة وغير المعتمدة على الدالة الحامضية (PH) ومن ثم قاموا بمقارنة نتائج المنحنيات الرياضية مع بيانات عملية

حقيقية فوجد ان شكل المنحنيات الحقيقية يكون مشابه للمنحنيات المتوقعة للمواقع الناشئة عن استعاضة الكاتيون في بنية الكاؤولين.

قام (Yilmaz وجماعته، ١٩٩٩) [٤٢] بدراسة الخواص العزلية لمعلق الكاؤولينايت والزوجة بوجود الكحول، فوجد أن ثابت العازل ينخفض تدريجياً بزيادة تركيز الكحول في المحلول المائي للكاؤولينايت، والزوجة الظاهرية النسبية تزداد إلى قيمة عليا ومن ثم تتناقص بزيادة تركيز الكحول، وان زيادة الزوجة تحدث بسبب تجاذب حافة إلى سطح (Face to Edge Interaction) بين الجسيمات عند التراكيز الواطئة للكحول ومن ثم تتناقص الزوجة مرة أخرى وذلك لتغير التجاذب بين الجسيمات عند التراكيز العالية من الكحول، فالتناقص يحدث نتيجة تجاذب سطح إلى سطح (Face to Face Interaction).

قام (Jozefaciuk و Bowanko، ٢٠٠٢) [٤٣] بدراسة تأثير الحامض والقاعدة على المسامات السطحية وطاقات الامتزاز لمجموعة من المعادن منتقاة بما فيها الكاؤولينايت والاليت والبنتونايت (Bentonite) والزيوليت (Zeolite) فوجدا أن المسامات السطحية تزداد لكل المعادن تحت تأثير كل من المعالجة بالحامض والقاعدة، وإن إذابة الألمنيوم Al في الحامض تفوق السليكون Si ولوحظ العكس عند المعاملة بالقاعدة وإن معدن الكاؤولينايت والاليت أكثر المعادن مقاومة لتأثير الحامض.

قام (Jozefaciuk وجماعته، ٢٠٠٢) [٤٤] بدراسة تأثير المعالجة الشديدة بالحامض والقاعدة لنماذج من التربة على خصائص المسامات باستخدام تراكيز عالية من حامض الهيدروكلوريك (HCl) وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) من 10^{-3} mol.dcm⁻³ (٠.٠٠١-١)، فوجدوا أن خصائص المسامات و سطوحها حساسة جداً لمعالجة كل من الحامض والقاعدة، فمع زيادة تراكيز محاليل المعالجة يزداد حجم المسامات الكبيرة و أنصاف أقطارها، أما سطوح هذه المسامات فتبدأ بالتكسر ولكن أبعاد هذا التكسر يختلف تبعاً لنوع التربة فسلوك المسامات الكبيرة واحد تحت تأثير الحامض والقاعدة. وبصورة عامة يزداد معدل أنصاف أقطار المسامات المتوسطة الحجم تحت تراكيز المعالجة المنخفضة وتتناقص تحت التراكيز العالية.

قام كل من (Keren و Heller، ٢٠٠٢) [٤٥] بدراسة تأثير بوليمر البولي اكريلاميد (polyacrylamide (PAM)) الغير أيوني على سلوك اللزوجة لمعلق المونتمورلايت- صوديوم (Na-Montmorillonite)، حيث استخدمنا ثلاثة بوليمرات (PAM) بثلاثة أوزان ذرية مختلفة 1 gm mol^{-1} (8×10^6 ، 2×10^6 ، 3.5×10^3) درجة تحللها المائي واحدة

(٨٥%)، وثلاث نماذج بوليمر (PAM) بدرجات تحلل مائي مختلفة % (٩٢, ٣٣, ١٥) ذات وزن جزيئي واحد، فوجدا أن في معلقات الطين الخالية من الاليكتروليت وعند درجة تحلل (٨٥%) فقط البوليمرات ذات الوزن الجزيئي الكبير $gm\ mol^{-1}$ (٨×10^6 , ٢×10^٥) تستطيع أن تكون بنية ثلاثية الأبعاد من صفائح الطين، أما اصغر البوليمرات حجماً كانت قصيرة جداً لربط صفيحتين، ويزداد تأثير البوليمر مع زيادة درجة تحلله بالماء لنفس الوزن الجزيئي، أما بوجود الاليكتروليت (NaCl) بتركيز $m\ mol.L^{-1}$ (١٠ & ١٠٠) فالبوليمر له تأثير واضح في سلوك التدفق عند التركيز المنخفض ويزداد هذا التأثير مع زيادة الوزن الجزيئي ودرجة التحلل، وعند التركيز العالي فالبوليمر يعمل على استقرار التلبد الموجود مسبقاً وتزداد الاستقرارية مع زيادة شحنة البوليمر الكهربائية السالبة.

٦-١ هدف البحث (RESEARCH AIM)

يهدف البحث إلى:

أولاً: دراسة تأثير زيادة تركيز الأس الهيدروجيني على فعالية تشكيل الجسم البورسليني من خلال دراسة تغير ثابت العازل الكهربائي ومعامل فقدان العازل والمقاومة النوعية والتقلص الحجمي لظروف تليبد وكبس مختلفة.

ثانياً: إيجاد نسبة خلط المواد الأولية (كاؤولين، بورسلينات السلامة، فلدسبار) الأكثر صلاحية في صناعة العازل الكهربائي البورسليني وفقاً لمعيار تركيز الأس الهيدروجيني.

ثالثاً: تعزيز دراسات سابقة أجريت في مجال استعمال مقالع السلامة في مدينة الموصل في تشكيل الجسم البورسليني كمادة بديلة عن رمل زجاج أرضية.

الفصل الثاني

الجزء (النظري) ((نظام طين-بوليس))

١-٢ التبادل الأيوني والإمتزاز

(ION EXCHANGE AND SORPTION)

تمتلك المعادن الطينية خاصية امتزاز الانايونات (Anions) والكاتايونات (Cations) وتحتجزهما في حالة أبدالية، أي إن هذه الايونات قابلة للتبادل مع كاتايونات وانايونات أخرى عند معاملتها مع مثل هذه الايونات في محلول مائي وقد يحدث هذا التفاعل في محيط غير مائي أيضاً. أشهر الكاتايونات الابدالية في الأطيان هي $\{Ca^{++}, NH_4^+, K^+, H^+, Mg^{++}\}$ والانايونات المشهورة هي $\{Na^+, SO_4^{--}, Cl^-, PO_4^{--}, NO_3^-\}$ وتقاس سعة التبادل الأيوني (Exchange Capacity) بدلالة (Miliequivalents/100 gm)^[١].

إن أسباب سعة التبادل الأيوني للمعادن الطينية تحكمها عوامل أساسية وهي:

١. وجود الأواصر المكسرة حول حافات حبيبات الطين حيث تنتهي شبكة الطين فتنشأ شحنات غير متعادلة، تشبع هذه الأواصر بالاتحاد مع كاتايونات و انايونات تكون أبدالية مع ايونات أخرى. تزداد سعة التبادل الأيوني مع نقصان الحجم الحبيبي، وتعد الأواصر المكسرة السبب الرئيسي لسعة التبادل الأيوني في معدن الكاؤولينايت والهالوسايت و عملية تبادل الانايونات تحدث بشكل محدود جداً إذ تكون سعة تبادل الانايونات اقل من واحد إلى تسعة من سعة تبادل الكاتايونات.

٢. الاستعاضة (Substitution) داخل شبيكة بنية المعدن الطيني للالومينا (Al^{3+}) ثلاثية التكافؤ مكان للسليكون (Si^{4+}) رباعي التكافؤ في الألواح رباعية السطوح وبايونات ذات تكافؤ اقل كالماغنيسيوم مكان الالومينا في الألواح ثمانية السطوح، فتنشأ شحنة غير متوازنة في الوحدات البنوية تعادل هذه الشحنة بامتزاز كاتايونات أو بتغيرات شبكية أخرى.

٣. هيدروجين الهيدروكسيل المعرض ربما يستبدل بكاتايون أبدالي، هذه العملية لا تحصل على الأغلب لأن الهيدروجين يكون أكثر ارتباطاً من هيدروجين الأواصر

المكسرة، هذا السبب لسعة التبادل مهم في الكاؤولينايت والهالوسايت لوجود ألواح الهيدروكسيل على جانب واحد من المستوي الشق الأساسي^[١٣،١١].

٢-٢ شحنات الكاؤولين السطحية المعتمدة وغير المعتمدة على الدالة الحامضية (PH-INDEPENDENT AND PH-DEPENDENT KAOLIN SURFACE CHARGES)

الشحنة التي توجد على سطح الكاؤولين المثالي تكون على نوعين، الأول شحنة تعتمد على الدالة الحامضية (PH) إذ تنشأ نتيجة تفاعلات المنح والتقبل للأوكسجين والهيدروكسيل المعرض لطبقات السليكا والجيبسايت والمواقع المشابهة فتعتمد هذه الشحنة بشكل كبير على قوة الحامض والقاعدة ويبين (الشكل ٢-١) منحنى لصافي الشحنة المتكونة كدالة إلى (PH) لسطوح الكاؤولين المشحونة المعتمدة على (PH) ولثلاث تراكيز محاليل مختلفة (a, b, c) حيث تمثل الخطوط المنقطه قيماً عملية والخطوط الصلدة قيم رياضية، والنوع الثاني شحنة لا تعتمد على الدالة الحامضية (PH)، تنشأ هذه الشحنة نتيجة استعاضة الكاتيون فتنتج شحنة على متراسات الكاؤولين تعادل هذه الشحنة عن طريق امتزاز ايون معاكس على السطح الخارجي للطين وبصورة عامة عند الحافات والسطوح الأساسية، يرتبط هذا الايون المعاكس بكاتيون الاستعاضة بواسطة قوى اليكتروستاتيكية ضعيفة وذلك لكبر المسافة بينهما فيمكن أن يستبدل بايون معاكس آخر بسهولة، يسلك الايون المعاكس الذي يعادل الشحنة الناشئة عن استعاضة الكاتيون سلوكاً مشابهاً لأليكتروليت قوي أي انه يتأين بشكل كامل في الماء ولكنه يبقى مقيد في موقعه على السطح بسبب الجهد الكهربائي، عليه فالمواقع على الطين المتكونة نتيجة استعاضة الكاتيون تسمى مواقع حامضية قوية، يبين الشكل (٢-٢) منحنى رياضي يبين نسبة التبادل (θc) بين الكاتيون (C^+) والهيدروجين (H^+) كدالة إلى (PH)^[٤٦،٤١].

شكل (٢-٢) نسبة التبادل (θc) بين الكاتيون (C^+) والهيدروجين (H^+) كدالة إلى (PH)^[٤١].

شكل (١-٢) منحنى يبين صافي الشحنة المتكونة للكاؤولين كدالة إلى (PH) لثلاث تراكيز أيونية^[٤١].

٣-٢ تأثير المواد العشوائية على سعة التبادل الأيوني

(AMORPHOUS EFFECTS ON ION EXCHANGE CAPACITY)

غالباً ما تحتوي الأتربة على مواد طينية عشوائية بحجم حبيبات الطين (أصغر من $2\mu\text{m}$)، طبيعة وقيمة الشحنة الكهربائية لهذه المواد العشوائية دائماً تكون معتمدة على (PH) كلياً، وقد تبدي المواد العشوائية سعة تبادل كاتيوني (CEC) بما يزيد عن ($100\text{meq}/100\text{g}$) وكذلك الحال لسعة تبادل الأنيوني (AEC) تصبح معتمدة بشكل أكبر على (PH) عند وجود المواد العشوائية. يبين الشكل (٢-٣) تغير سعة التبادل الأيوني كدالة إلى الأس الهيدروجيني (PH) في حالة وجود الشوائب وعدم وجودها لرمال مازما البركانية (Mazama Pumice)^[٤٦]. يلاحظ من الشكل أن سعة تبادل الكاتايوني تصبح أقل مما هي عليه بعد إزالة الشوائب والسبب يعود إلى زيادة تركيز الشحنات دائمة السالبة في العينة، أما قيمة سعة التبادل الأنيوني (AEC) تتناقص مع زيادة الأس الهيدروجيني

شكل (٢-٣) سعة التبادل الأيوني كدالة للأس الهيدروجيني (PH) بوجود الشوائب وعدمها^[٤٦].

(PH) في حين أن النموذج الذي أزيلت المكونات العشوائية منه لا يبدي أي تبادل أنيوني، يعزى ذلك إلى أن المكونات العشوائية المتمثلة بمركبات الألمنيوم والحديد التي تمتلك مجاميع هيدروكسيل، تمتلك هذه المركبات شحنة موجبة ترتبط عكسياً مع (PH) فينتج عنها زيادة في (AEC) مع تناقص الأس الهيدروجيني (PH) ضمن المدى (٩.٥ - ٣.٥).

٤-٢ تأثير الأس الهيدروجيني (PH) والحجم الحبيبي على سلوك التميع للمواد السيراميكية (PH AND PARTICALE SIZE EFFECT ON RHEOLOGICAL BEHAVIOR)

يفهم تأثير (PH) والحجم الحبيبي على سلوك التميع للمواد العالقة المائية السيراميكية من خلال عملية مزج المواد السيراميكية لتحضير الخلطات المتجانسة فقط ونسبياً من خلال أنظمة مخففة بالماء غير مصفاة (Dilute Unary Systems). يصعب تحديد أو وصف تفاعلات الجسيمات التي تحدد سلوك عمليات التصنيع بشكل كامل لعوالق سيراميكية ثنائية وثلاثية (Binary and Ternary Ceramic Suspensions) إضافة إلى حصول تعقد (Clustering) في الطور الثاني من التشكيل تؤثر بشكل كبير على الخواص الميكانيكية للمترابك في مرحلة التكتيف، على سبيل المثال عند انتقال سبيكة الزوركونيا (ZrO_2) من رباعي الزوايا (Tetragonal) إلى أحادي الميل (Monoclinic) يعطي صلادة تتزايد مع زيادة الحجم الحبيبي، فالسيطرة على تعقد الجسيمات ورص المسحوق (Powder Packing) عملية مطلوبة لتحسين الخواص التركيبية المرغوب فيها أثناء عملية التليد وكذلك لفهم عملية ودرجة انتقال الطور خلال عملية التليد^[٤٧].

هناك مسألتان تؤخذان دائماً بالحسبان في عملية تحضير المساحيق للمترابكات الثنائية الأولى هي الحاجة إلى توزيع منتظم للطور الثاني الذي يعيقه الحجم الحبيبي و تباين كيميائية السطح والكثافة، والثانية تكون العناقيد غير مرغوب فيها لأي من الطورين لأنها تؤدي إلى تكون تكتلات (Coagulation) ومسامات كبيرة ممكن أن تبقى بعد عملية التليد. اعتماداً على النظرية الكلاسيكية لاستقرار المواد الغروانية حيث مجموع التنافر الكهربائي بين الطبقات المزدوجة (V_{DL}) (Electrical Double-Layer Repulsion) وقوى فاندرفالز تمثل الطاقة الكلية للتفاعل (V_T) بين الجسيمات المتجاورة التي تفصل بينهما مسافة (H_0) (شكل-٤) (٢)، لقد اقترح الباحث (Baik) بأن قيمة الطاقة الصغرى الثانية (V_{min}) للتفاعل بين الاكاسيد المختلفة هي دليل كمي جيد للتنبأ بالظروف التي يحصل عندها توزيع منتظم بدون حدوث تكتل شديد لكن هذه التفاعلات ممكن أن تقود إلى إتحاد انعكاسي بين جسيمات الاوكسيدين مما يعزز الوصول إلى التوزيع المرغوب فيه أثناء عملية الترشيح بواسطة الضغط (Pressure Filtration)، وقد وجد أن ظروف الاستقرار في الخليط الثنائي يحتوي على حامض البولي اكريلك (Poly Acrylic Acid) هي بالأساس اليكتروستاتيكية

وتختلف عن الأنظمة الخالية من البوليمرات إذ تتصرف طبقاً لنظريتي امتزاز البوليمر والتكتل غير المتجانس (Hetrocoagulation)^[٤٧].

يبين الجزء العلوي من الشكل (٥-٢) استقرارية الألومينا في (٠.١ mol\dcM) NaCl التي قيست بواسطة ارتفاع الترسيب النسبي (RSH) كدالة إلى (PH) (إذ أن RSH يُعد مقياس لاستقرارية الجسيمات على البقاء معلقة) بعد (١٥, ٤٠) ساعة وأسبوعين، أما الجزء السفلي يبين الحركة الكهربائية الدقيقة (Microelectriophoretic Mobility) كدالة إلى (PH). يتضح من الشكل أن حركة المعلق تقل باتجاه القاعدية مما يؤدي إلى عدم تجانس المعلق أثناء عملية المزج بينما تزداد الحركة كلما تحركنا باتجاه الحامضية وبالتالي يعطي تجانس أكثر للمعلق.

شكل (٥-٢) الجزء العلوي يمثل ارتفاع الترسيب (RSH) لمعلقات الألومينا كدالة إلى (PH) والجزء السفلي يبين الحركة الكهربائية الدقيقة للمعلقات كدالة إلى (PH) للألومينا^[٤٧].

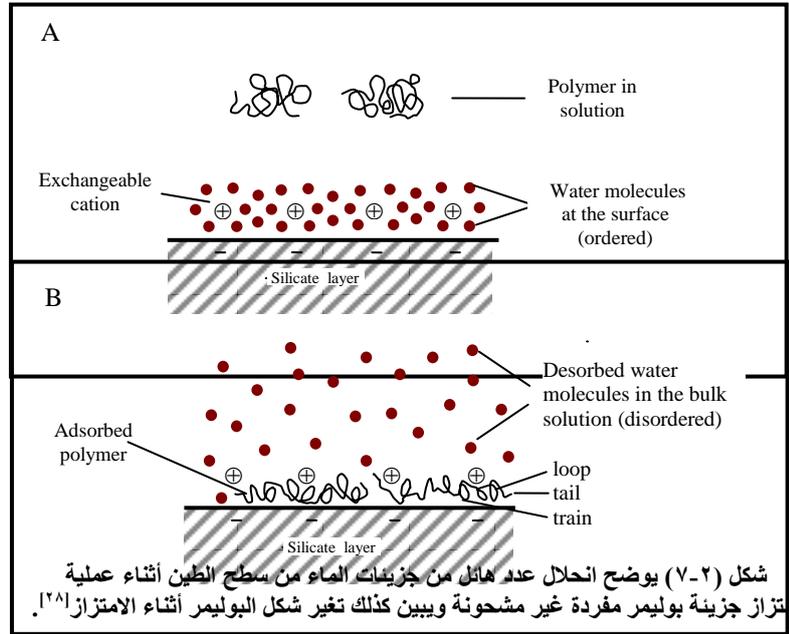
أما سلوك الأنظمة الثنائية بشكل عام يوضحه الشكل (٦-٢) من خلال تغير كثافة مترابكات لحبيبات كونت من ترشيح معلقات مكونة من الألومينا مع أو بدون الزوركونيا في (٠.١ mol\dcM) NaCl مع الدالة الحامضية، إذ يتضح من الشكل أن تغير كثافة الحبيبات الملبدة (ρ_f) مع الدالة الحامضية مشابه وموازي لتغير كثافة الجسم الأخضر (ρ_o) ولكن تأثره بالدالة الحامضية يكون أقل.

شكل (٦-٢) كثافة الحبيبات ρ_0 التي كونت من ترشيح معلقات الالومينا وكثافة نفس الجسيمات بعد تليدها بدرجة ١٧٧٣ كلفن رسمت كدالة إلى (PH)^[٤٧].

٥-٢ سلوك PVA على سطح الطين

(PVA BEHAVIOR AT CLAY SURFACE)

يتضمن تكون معقد طين- بوليمر بإضافة بوليمر مذاب في مذيب معين إلى طين جاف أو معلق طيني امتزاز الطور العضوي إلى سطح الجسيم اللاعضوي، وسواء كان النظام مائياً أو لا مائياً فإن عدداً كبيراً من جزيئات المذيب يجب أن تحل ارتباطها بالطين من أجل استيعاب جزيئة بوليمر مفردة شكل (٧-٢)، والعامل الذي يدفع إلى عملية الامتزاز هو تأثيرات الانتروبي (Entropy Effects) الناشئة عن إزاحة جزيئات الماء من القشرة الثانوية المتميأة والقشر الأكثر ارتفاعاً حول الكاتايونات الابدالية المتمتزة على سطوح السليكات من قبل جزيئة بوليمر مفردة، كذلك تلعب قوى فاندر فالز بين قطع البوليمر غير المشحونة ووسطح الطين دوراً في تعزيز عملية الامتزاز^[٢٨].



فسر تنك (Theng ١٩٧٤)^[٢٨] آلية تفاعل المركبات العضوية البسيطة مع الطين، بأن امتزاز المركبات القطبية غير المشحونة في الطين يحدث نتيجة التفاعل بين المجموعة الفعالة والكاتايون الابدالي، وهي نفس الآلية التي تطبق في حالة امتزاز الجزيئات العضوية الكبيرة

وتكوين معقد طين- بوليمر مع اختلاف ناتج عن طول السلسلة التي ينشأ عنها الانتروبي، والمرونة وتعدد المجاميع الفعالة مما يتيح فرصة للبوليمر بأخذ أشكال مختلفة والالتصاق بسطح الطين بعدد هائل من أوامر مقطع- سطح (Segment-Surface) [٤٨].

٢-٦ العوامل المؤثرة على تفاعل الطين- بوليمر

(FACTORS AFFECTING CLAY- POLYMER INTERACTION)

تتأثر عملية الامتزاز بعوامل عديدة، مثل تركيز المعلق النهائي والوزن الجزيئي للبوليمر وطبيعة الكاتيون والابدالي والى حد ما بدرجة الحرارة [٢٨].
إمتزاز بولي فاينيل الكحول PVA بواسطة المعادن الطينية حساس جداً إلى تركيز معلق نظام الطين- بوليمر النهائي، يوضح الشكل (٢-٨) وجود زيادة واضحة في الامتزاز

شكل (٢-٨) مخطط امتزاز PVA من محلول مائي من قبل Na⁺-montmorillonite. محاليل البوليمر أضيفت إلى طين جاف لتكوين محلول مختلف القوى: (○) ٠.٢٥% w/v، (Δ) ٠.٥% w/v، (□) ١% w/v، (■) ٢% w/v، (●) ٤% w/v [٤٩].
مع تناقص تركيز معلق طين-بوليمر حتى الوصول إلى حد معين، إذ ان اعظم نسبة للامتزاز تحدث عندما يكون التركيز (٠.٥% W/V)، الوزن الجزيئي للبوليمر وتركيز الطين النهائي في المعلق يؤثران أيضاً على عملية الامتزاز فعند زيادة المكونات الصلدة تقل متوسط المسافة الفاصلة بين الجسيمات الطينية فتزداد احتمالية تكون جسور بينها، ولما كانت الجزيئات الكبيرة غير الأيونية توجد على شكل ملفات عشوائية في المحلول فإن قابليتها على تكوين جسور بين جسيمات الطين تكون ضعيفة إلا في حالة كون جسيمات الطين تنتشر بمسافات تقارب متوسط القطر الدائري المكافئ للبوليمر أي أن نفاذية البوليمر تعتمد على

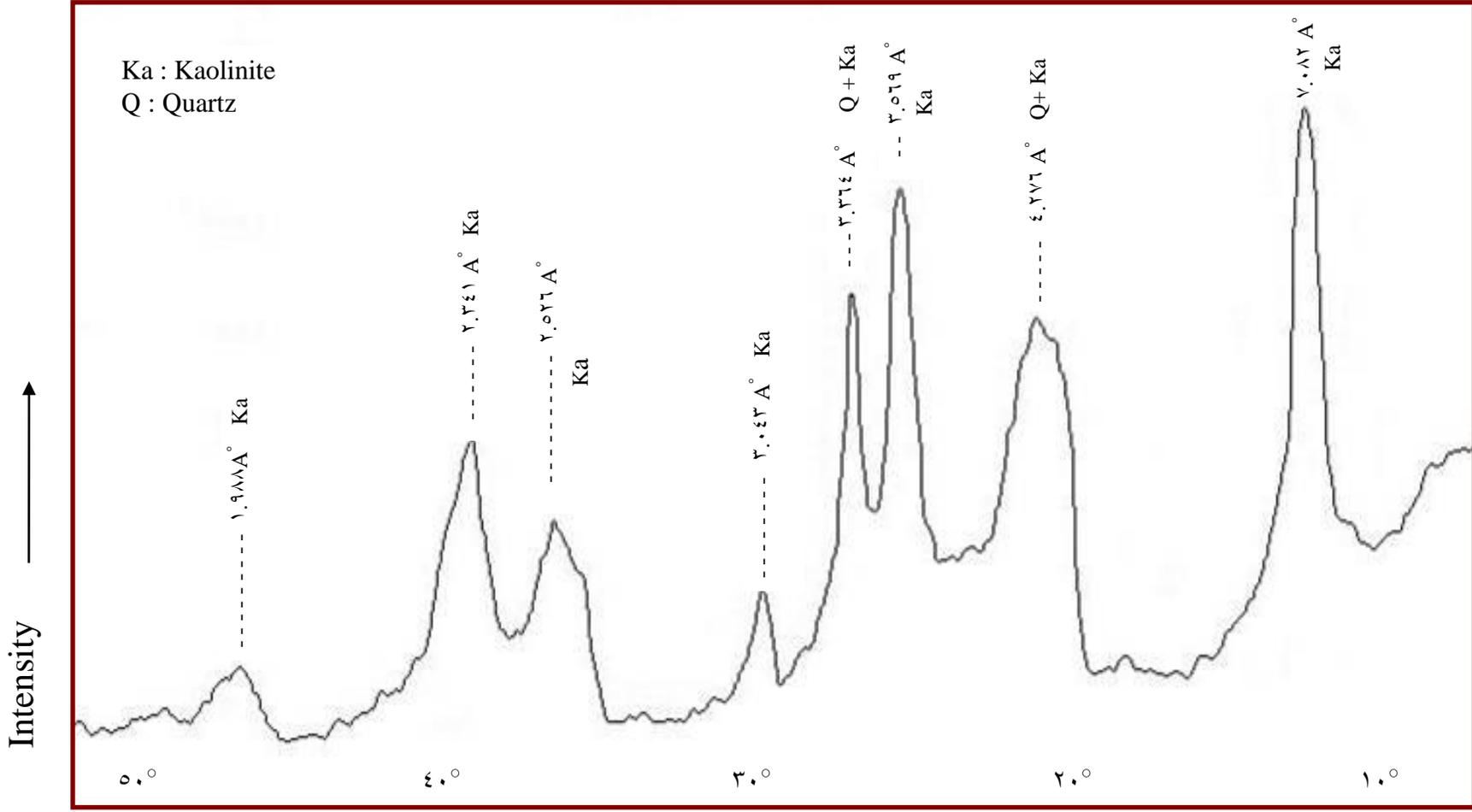
المسافة التي تفصل بين طبقات السليكات لبلورة الطين المفردة نسبة إلى حجم لفات البوليمر في المحلول، يزداد تأثير البوليمرات بزيادة وزنها الجزيئي M وذلك لأن قطر الملف يتناسب مع الجذر التربيعي للوزن الجزيئي \sqrt{M} ، نستنتج مما سبق أن عملية التليد يُسيطر عليها من خلال زيادة الوزن الجزيئي وزيادة تركيز الطين^[٤٩،٢٨].

لقد وجد تويوشوما (Toyoshima ١٩٧٣)^[٥٠] إن امتزاز الكاؤولينايت لبولي فاينيل الكحول (PVA) المتحلل في الماء بدرجات مختلفة يصل إلى أعلى درجة عند النقطة التي يكون فيها درجة التحلل (٩٠٪) والتي تطابق تقريباً أعظم لزوجة للمحلول (شكل ٢-٩).

وجد سين (Sen ١٩٦٣)^[٢٨] عند تسخين الكاؤولينايت فأن سعة تبادل الكاتايون لا تتغير حتى (٤٠٠°C)، وتظهر زيادة حادة عند الارتفاع بالحرارة إلى (٥٠٠°C) ثم تتناقص بشكل تدريجي (شكل ٢-١٠)، تعزى هذه الزيادة إلى تمزق بنية الكاؤولينايت بتحلل الهيدروكسيل (Dehydroxylation)^[١١]. يزداد تأثير البولي فاينيل والبوليمرات غير المشحونة كعوامل ملبدة لمحاليل الطين المائية بإضافة اليكتروليتات إلى نظام طين- بوليمر، فعند إضافة البوليمر بكميات قليلة جداً لا يحصل أي تليد ولكن يصبح أكثر قابلية للتليد

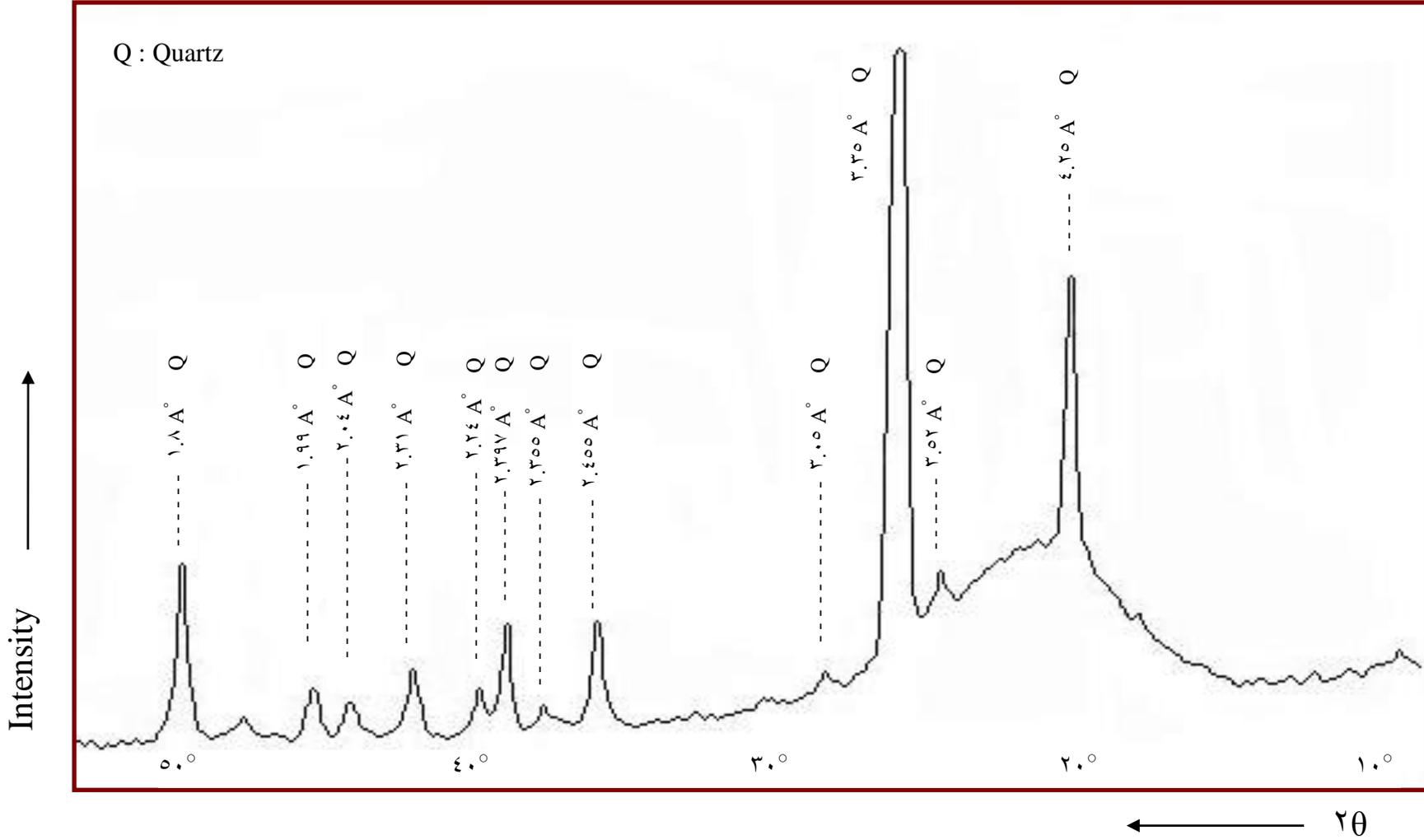
بإضافة اليكتروليت (شكل ٢-١١)، فالتليد الذي يحدث نتيجة إضافة الحامض يطلق عليه مصطلح (Coagulation) والتليد الذي يحدث نتيجة إضافة البوليمر (Flocculation)، وكذلك فأن إضافة كميات كبيرة من البوليمر تعمل على استقرارية الطين نتيجة لتكون طبقة من الجزيئات الكبيرة حول الجسيمات الصلدة مع لفات وذيول إلى الخارج فتمنع الجسيمات من الوصول إلى بعضها الآخر^[٢٨].

شكل (١١-٢) مخطط يوضح تأثير إضافة الالكترووليت وامتزاز البوليمر على استقرارية محلول طين ماني^{٢٨}.



ين محمصة عند 400°م

شكل
 (١-٣)
 حيود
 الأشعة
 السينية
 لمادة
 الكاولين



حيود الأشعة السينية لبورسلينات السلامة (Ninivite)

شكل (٢-٣)

الفصل الثالث

الجزء العملي والحسابات

١-٣ المواد الأولية المستخدمة

استعملت ثلاث مواد أولية في تصنيع العازل البورسليني، أثنان منها محلية هما كاؤولين دويخلة وبورسلينات السلامة والثالثة مادة تجارية مستوردة وهي الفلدسبار البوتاسيومي، وفيما يأتي وصف كل منها:

• كاؤولين دويخلة (Duekhla Kaoline)

يوجد خام الكاؤولين بكميات كبيرة في منطقة دويخلة الواقعة في الصحراء الغربية من العراق^[٥٢،٥١]، التحليل الكيميائي لهذه المادة الطينية موضح في الجدول (١-٣) إذ يبين الجدول النسب الوزنية للأكاسيد الداخلة في تركيب هذه المادة.

• بورسلينات السلامة (Ninivit)

هي صخور سليكية بيضاء اللون مسامية ذات كثافة كلية واطئة (اقل من ٠.٥ gm/cm^٣ في الصخور النقية)، الزجاج هو المعدن الرئيسي المكون لها والجبس هو الملوث الرئيسي، توجد هذه الصخور في مدينة نينوى شمال العراق، لم تسجل هذه الصخور في القواميس الجيولوجية وقد أُقترح تسميتها (Ninivit)^[٥٣]، الجدول (١-٣) يبين التحليل الكيميائي لهذه المادة.

• الفلدسبار البوتاسيومي (Potash Feldspar)

مادة مستوردة تكون بشكل مسحوق ناعم تستخدم كمادة مساعدة على الانصهار،
الجدول (١-٣) يبين التحليل الكيميائي لهذه المادة.

جدول (١-٣) التحاليل الكيميائية للمواد الأولية المستخدمة			
الأكاسيد	كاؤولين	بورسلين	فلدسبار
SiO ₂	٥٢.٣٥	٩٣.٧٦	٦٩.٩١
Fe ₂ O ₃	١.٣١	٠.١٦	٠.١٩
Al ₂ O ₃	٣٤.٠٢	٠.٢٨	١٥.٧
TiO ₂	٠.١٢	---	---
CaO	١.٢	٠.٨٤	٠.٩٨
MgO	١.١١	٠.٠٣	٠.١٣
SO ₂	٠.٤٥	٠.٢٦	---
Na ₂ O	---	٠.٠٩	٣.٢٥
K ₂ O	---	٠.٠٦	٨.٣٥
Cl	---	٠.١٣	---
P ₂ O ₅	---	٠.٠٦	---
L.O.I	١٢.٥١	٢.٥٧	٠.٥١
Total	١٠٣.٠٧	٩٨.٢٤	٩٩.٠٢

٢-٣ التحليل المعدني (MINERALOGICAL ANALYSIS)

أجري تحليل معدني باستعمال تقنية حيود الأشعة السينية (X-Ray Diffraction) لغرض التعرف على أنواع المعادن المكونة للمواد الأولية المستخدمة في تحضير الخلطات التي صُنعت العازل السيراميكي منها، تبين الأشكال (١-٣) و (٢-٣) و (٣-٣) نماذج التحليل المعدني لكل من كاؤولين دويخلة وبورسلينات السلامة والفلدسبار البوتاسيوم حسب الترتيب، وقد استخدم لهذا الغرض جهاز نوع:

Siemens X-Ray Diffraction, Unit Model D-٥٠٠, KV = ٤٠, Cu_{Kα}-Line

والطول الموجي للأشعة المستخدمة ($\lambda = 1.542 \text{ \AA}$).

طحنت النماذج لتكون على شكل مسحوق ثم ينخل المسحوق باستخدام منخل ذي فتحات قطرها ٣٠ مايكرون للحصول على مسحوق ناعم جداً يوزع بشكل متجانس على شريحة زجاجية للحصول على أفضل شدة لخيوط الحيود الناتجة، توضع الشريحة في المكان المخصص لها في الجهاز الذي يُدور الشريحة حول محورها حيث تسقط عليها أشعة X- من موقع ثابت، تثبت الانعكاسات عن الشريحة كدالة للزوايا 2θ بواسطة راسم بياني (Chart Recorder) الذي تظهر بواسطته قمم الحيود مرسومة على ورق بياني، تتكون قمم الحيود نتيجة لتحقيق قانون براك (Bragg's Law) [٥٤]:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad \dots\dots\dots ٣-١$$

حيث أن d المسافة الفاصلة بين المستويات (انكستروم) و θ زاوية الحيود (°) و λ يمثل طول موجة الأشعة السينية المستخدمة (انكستروم) و n تمثل مرتبة الحيود.

٣-٣ تحضير النماذج (SAMPLES PREPARATION)

مرت عملية تحضير النماذج بعدة مراحل نوضحها أدناه:

أولاً: طحنت المواد الأولية باستعمال طاحونة الكرات (Ball Mill) ذات كرات الالومينا النقية^[٥٦,٥٥] نوع (Croschopp) ألمانية الصنع، استعملت أحجام كرات مختلفة واستمرت عملية الطحن لمدة (٧) ساعات للحصول على الحجم الحبيبي المناسب لتحضير الخلطات. ثانياً: حمصت مادة كاؤولين دويخله بدرجة (٤٠٠°C) لمدة سبع ساعات وذلك لطرده الغازات و الكربونات من المادة.

ثالثاً: غسل الكاؤولين بحامض الهيدروكلوريك (HCl) وذلك للتخلص من اوكسيد الحديد الحر وكل الاكاسيد والمعادن التي تذوب في هذا الحامض^[٨] وزيادة تركيز المعادن الرئيسية الموجودة ومن ثم يرشح ويغسل بالماء المقطر لعدة مرات للتخلص من الحامض والشوائب التي ذابت في الحامض .

رابعاً: أجريت عملية نخل (Sieving Process) للمواد الأولية التي تم طحنها وذلك لأجراء التصنيف الحجمي لها^[٥٧,٨]، وقد استخدم لهذا الغرض مناخل ألمانية الصنع نوع Micro-Prazisonssieb) بخمسة أحجام قطر فتحة كل منها (٢٢, ٥٣, ٧٥) مايكرون مع هزاز الماني نوع (Retsch).

خامساً: بعد ذلك تمت عملية خلط المواد الأولية (Mixing Process) فقد حضرت ثلاث خلطات وفق نسب الخلط والأحجام الحبيبية الموضحة في الجدول (٢-٣) باستعمال طريقة الخلط الانزلاقي^[١٣]، اعتمدت نسب الخلط هذه وفق معيار النسب المتداولة لتحضير الجسم البورسليني للعازل السيراميكي وبالحجم الحبيبي المشار إليه^[٥٨]، وقد تم قياس وزن النسب المخلوطة باستخدام ميزان حساس نوع (Mettler) ذي قدرة تحسس (١٠^{-٤}) ومعدل تحميل (٢٠٠gm).

جدول (٢-٣) يبين نسب خلط المواد الاولية والحجم الحبيبي

فلدسبار	بورسلين	كاؤولين		
٢٥.٤٩	٣١.٦٠	٤٣.٨٦	النسبة الوزنية (%)	المجموعة الأولى
٤٠ > D > ٢٠	٥٠ > D	٥٣ > D > ٢٢	الحجم الحبيبي (μm)	
٢٥.٢	٣٠.٣١	٤٦.٤٣	النسبة الوزنية (%)	المجموعة

٤٠ > D > ٢٠	٥٠ > D	٥٣ > D > ٢٢	الحجم الحبيبي (μm)	الثانية
٢٥.٥١	٢٤.٧٢	٥٠.٧٢	النسبة الوزنية (%)	المجموعة
٤٠ > D > ٢٠	٥٠ > D	٥٣ > D > ٢٢	الحجم الحبيبي (μm)	الثالثة

سادساً: أضيف البوليمر (PVA) إلى الخلطات بعد أن تم تحضيره على شكل محلول مائي، حضر المحلول بإضافة البوليمر إلى الماء بنسبة (١%) من وزن الخلطات مع التحريك المستمر بدرجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (٦٠-٨٠) تضاف إليه الخلطات المحضرة سابقاً وتستمر عملية الخلط إلى أن يتكون لدينا طين رقيق القوام (Slurry) وخلال الخلط يضاف حامض (HCl) للتحكم بحامضية المزيج، حيث تتم هذه العملية باستخدام هزاز مغناطيسي (Magnetic Stirrer)، وقد أستخدم مقياس الدالة الحامضية (PH-meter) للتحكم بحامضية المزيج. سابغاً: يوضع الطين الرقيق في صحن خزفي (Pettry Dish) ويجفف باستخدام مجفف هوائي مع التحريك المستمر إلى أن يتكون لدينا مسحوق بنسبة رطوبة % (١٥-١٠)، حضرت الخلطات السابقة (المجموعة الأولى، المجموعة الثانية، المجموعة الثالثة) بثلاث درجات آس هيدروجيني (٧، ٥، ٣) مختلفة وقد أعطيت لكل مجموعة رمز معين لكل دالة حامضية وحسب الجدول المرقم (٣-٣).

جدول (٣-٣) يبين رمز كل خلطة اعتماداً على الدالة الحامضية			
الدالة الحامضية			
٣	٥	Normal	المجموعات
	B	A	المجموعة الأولى
C	B	A	المجموعة الثانية
C	B	A	المجموعة الثالثة

ثامناً: أجريت عملية التشكيل (Forming Process) بطريقة الكبس شبه الجاف باستخدام مكبس هيدروليكي نوع (X-Press Hydraulic) وضغط (٨، ١٥ MPa) بقوالب اسطوانية الشكل قطرها (٤٠ mm).

تاسعاً: جففت النماذج البورسلينية المكبوسة لمدة يوم واحد عند $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ ومن ثم جففت يوم آخر بدرجة $(95 \pm 5)^\circ\text{C}$ بعدها تركت في المجفف بدرجة (50°C) أعلى من درجة حرارة الغرفة إلى أن أرسلت النماذج إلى الحرق.

عاشراً: أجريت عملية الحرق (Firing Process) باستخدام فرن كهربائي ، فقد حرقت النماذج بثلاث درجات حرارية مختلفة $(1100, 1200, 1300)^\circ\text{C}$ وبمعدل ارتفاع (100°C/hr) ، بعدها أخرجت النماذج من الفرن بعد أن برد إلى (40°C) و وضعت في مجفف مفرغ لأغراض القياس والفحص.

٤-٣ قياس الخواص الكهربائية

١-٤-٣ ثابت العازل الكهربائي k ومعامل فقدان العازل k''

استخدم جهاز (LCR-Meter HP ٤٢٨٤A Precision) الذي يعمل ضمن مدى ترددات $(20\text{Hz}-1\text{MHz})$ وبدقة $(\pm 0.05\%)$ وبقدرة تحليل (0.0001) لقياس قيمة السعة (C_p) والمقاومة (R_p) لكل نموذج. وقد تمت معايرة الجهاز باستخدام برنامج معايرة في الجهاز (Calibration Software) ومن ثم استخدام متسعات ومقاومات قياسية، تمت عملية القياس طبقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM D1371) ^[٥٩].

لضمان دقة القياس تم ترسيب أقطاب من معدن الألمنيوم على جانبي كل نموذج (شكل ٤-٣) باستخدام منظومة التبخير الفراغية (Lybold Heraeus Coating) وربط قطبي النموذج مع قطبي جهاز (LCR-meter) باستخدام عجينة الفضة (Silver Paste) ثم يوضع النموذج في المجفف بدرجة (300°C) لمدة (15) دقيقة.

شكل (٤-٣) صورة لنموذجين محضرين مرسب عليهما أقطاب الألمنيوم

اعتماداً على قيم المقاومة والسعة والتردد (استخدم الترددات $(1000, 800, 600, 400, 300, 200, 100, 10, 1)$ KHz العازل ومعامل فقدان العازل لكل تردد حسب المعادلات أدناه:

$$k = [d_s C_p / \epsilon_0 A] \quad \dots\dots\dots 1-4$$

$$\vec{k} = [1/2 \pi f \epsilon_0 R_p] \cdot ds/A \quad \dots\dots\dots 1-17$$

٢-٤-٣ المقاومة الكهربائية للتيار المستمر (DC RESISTIVITY)

حسبت المقاومة الكهربائية للتيار المستمر باستخدام دائرة D.C مزودة بمجهاز قدرة (Dv ٣٠/v٣) ومنظم فولتية (Keithley ٦١٤ Electrometer ١ PA - ٢٠٠٠ μA) وقد بنيت هذه الدائرة طبقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM D٢٥٧) [١٠].

تم تسليط فولتيات مختلفة (٥-١٨٠ volt) فولت على النموذج وبفارق (٥ volt) وسجلت قيم التيار المقابلة بواسطة (Electrometer) لكل قيمة فولتية ومن ثم رسم بياني الفولتية والتيار (شكل ٥-٣) وإيجاد الميل الذي يمثل المقاومة ومن ثم حسبت المقاومة الكهربائية النوعية باستخدام العلاقة (٤-٣).

$$\rho d.c = R_p \frac{A}{ds} \quad \dots\dots\dots 3-4$$

حيث (R_p) تمثل المقاومة الكهربائية (Ω).

شكل (٥-٣) بياني لقيم التيار المقاسة مقابل الفولتية لأحد النماذج المستخدمة في البحث

٥-٣ تقلص الحرق الخطي الكلي (LINEAR FIRING SHRINKAGE)

يمثل تقلص الحرق الخطي التغيرات في أبعاد الجسم السيراميكي التي تحدث أثناء عمليتي الحرق والتجفيف، تحسب النسبة المئوية للتقلص الخطي للنماذج باستخدام العلاقة:

$$\text{Linear Firing Shrinkage \%} = \frac{R_0 - R}{R_0} \times 100$$

R_0 : قطر النموذج قبل التجفيف (mm).

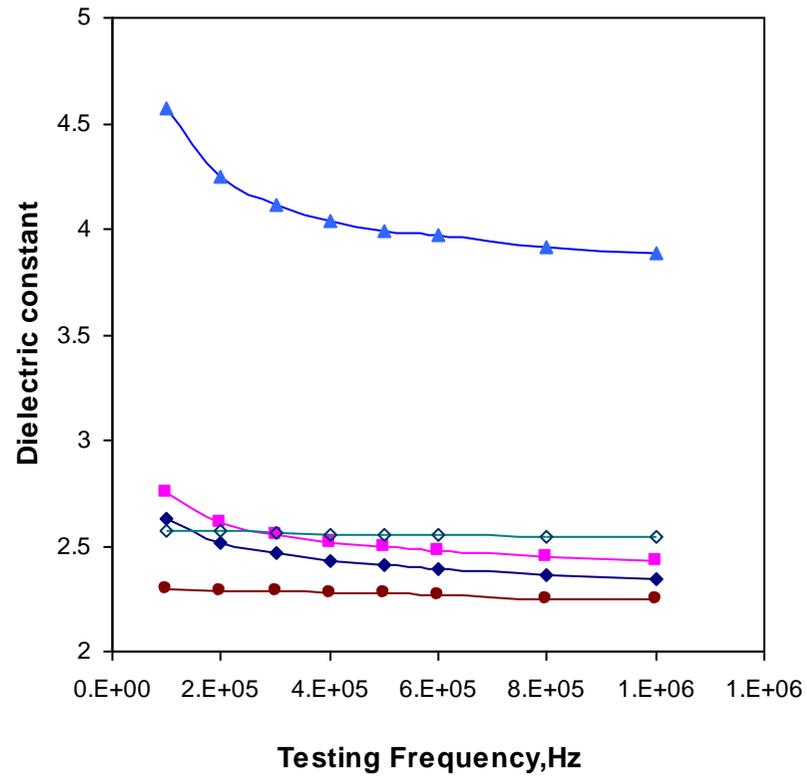
R : قطر النموذج بعد الحرق (mm).

٦-٣ النتائج

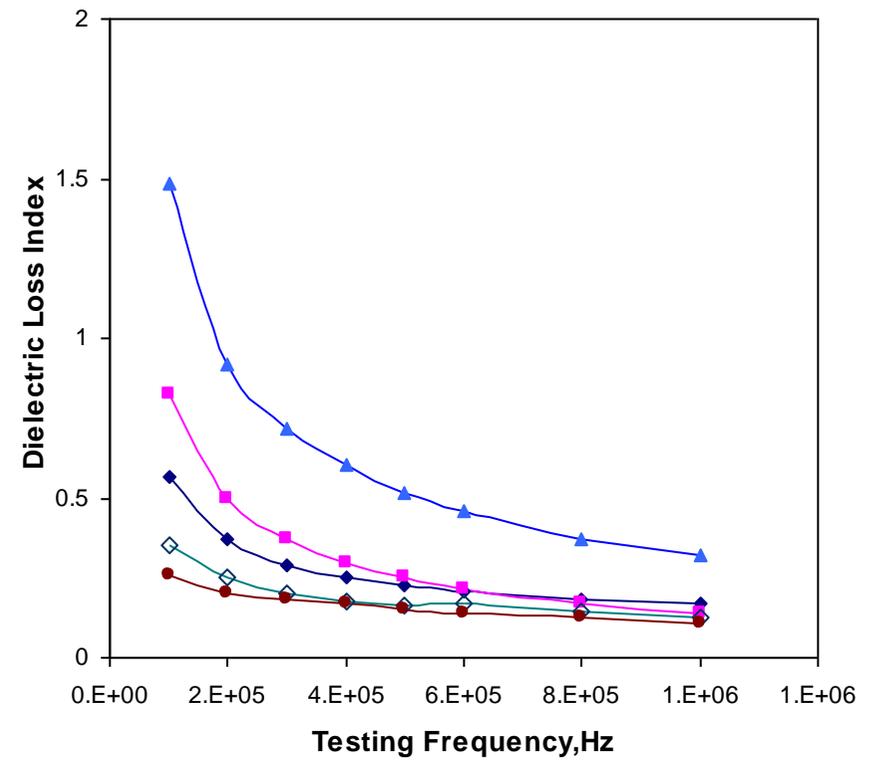
ندرج فيما يلي الأشكال من (٦-٣) إلى (٢١-٣) والجداول من (٤-٣) إلى (١٩-٣) موضعاً فيها التركيب وظروف تحضير النماذج مع كافة البيانات التي تم الحصول عليها في البحث والمتمثلة بثابت العازل الكهربائي k ومعامل فقدان العازل k'' والمقاومية الكهربائية للتيار المستمر وتقلص الحرق الخطي الكلي.

جدول (٤-٣) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات		
PH ~ Normal		الدالة الحامضية
الحجم الحبيبي	النسبة الوزنية %	المادة
22 > D < 53	43.86	CKM
D < 50	31.60	بورسلينات
20 > D < 40	25.49	فلدسبار

جدول (٥-٣) الخواص الكهربائية وظروف تحضير النماذج (الكبس والتليد) للمجموعة الأولى (A)					
الرمز					ظروف التحضير والخواص الكهربائية
■	●	◇	◆	▲	
1300	1200	1200	1100	1100	درجة الحرق (°C)
100	100	100	100	100	معدل ارتفاع درجة الحرارة (°C/hr)
2	2	2	2	2	زمن الحرق (hr)
6.17	11.48	6.15	11.55	6.17	معدل التحميل (MPa)
5	5	5	5	5	زمن التحميل (Sec)
18	13.1	15	8.43	8.58	التقلص الحجمي (%)
2.32×10^{10}	7.53×10^6	4.29×10^8	3.98×10^8	1.21×10^6	المقاومة الكهربائية النوعية (Ω-cm)
2.4329	2.252	2.5431	2.3402	3.8823	ثابت العازل عند 1MHz
0.1385	0.108	0.128	0.1729	0.3216	معامل فقدان العازل عند 1MHz
25	25	25	25	25	درجة حرارة القياس (°C)



شكل (٧-٣) تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الأولى (A)



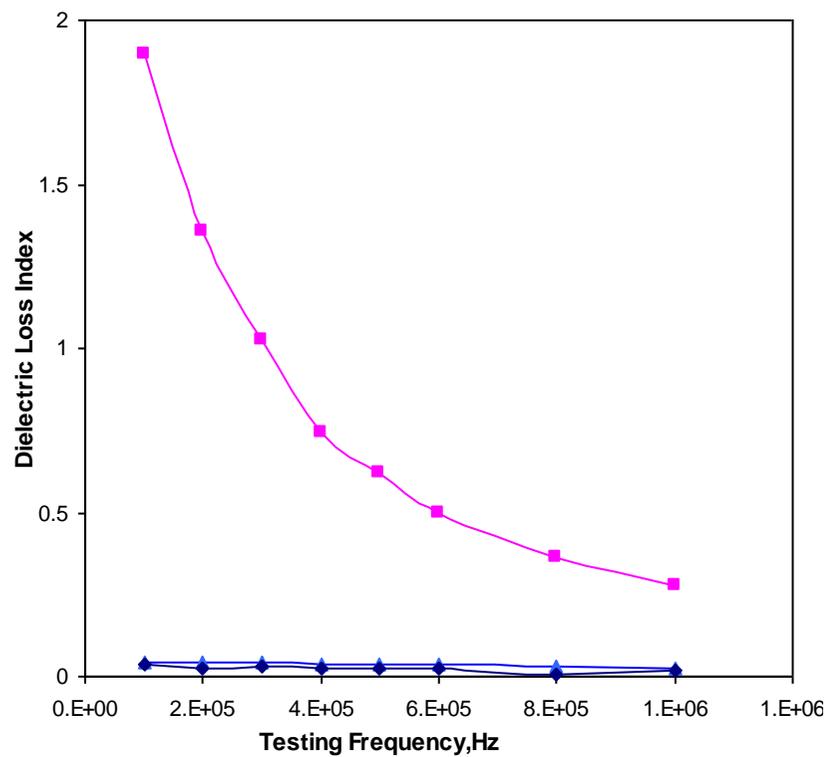
شكل (٦-٣) تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الأولى (A)

جدول (٦-٣) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات

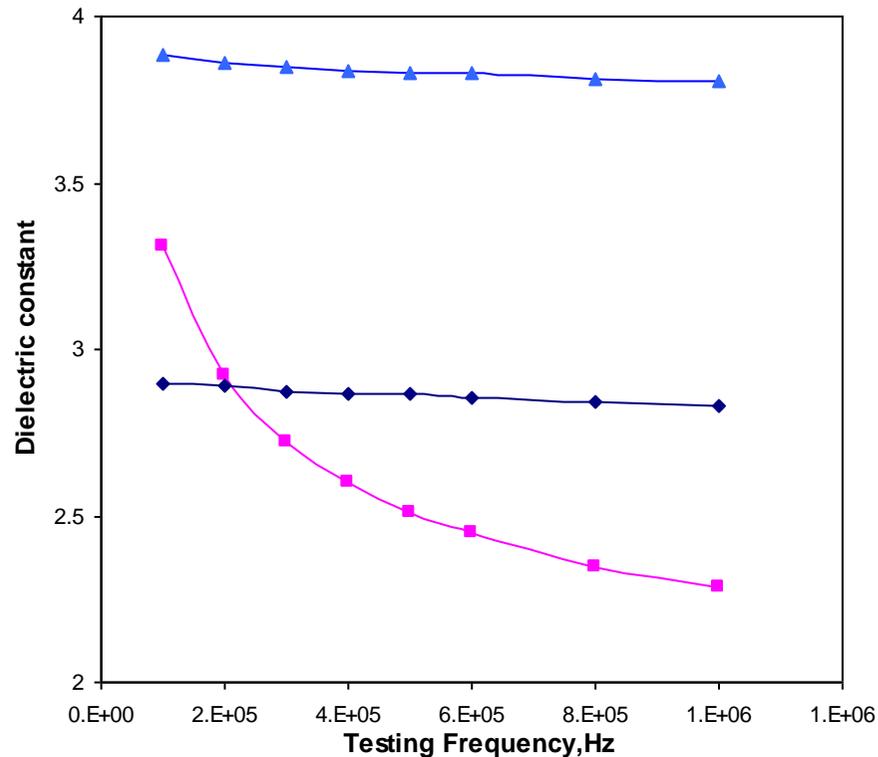
الدالة الحامضية PH ~ ٥		
المادة	النسبة الوزنية	الحجم الحبيبي (μm)
CKM	٤٣.٨٦	٢٢ > D < ٥٣
بورسلينات	٣١.٦٠	D < ٥٠
فلدسبار	٢٥.٤٩	٢٠ > D < ٤٠

جدول (٧-٣) الخواص الكهربائية وظروف تحضير النماذج (الكبس والتلبيد) للمجموعة الأولى (B)

الرمز			ظروف التحضير والخواص الكهربائية
▲	◆	■	
١٣٠٠	١٢٠٠	١١٠٠	درجة الحرق (°C)
١٠٠	١٠٠	١٠٠	معدل ارتفاع درجة الحرارة (°C/hr)
٢	٢	٢	زمن الحرق (hr)
٦.١٥	١١.٤٢	٦.١٤	معدل التحميل (MPa)
٥	٥	٥	زمن التحميل (Sec)
٢٠.٠٧	١٨.١	٩.٦	التقلص الحجمي (%)
1.33×10^{14}	3.98×10^{10}	6.74×10^9	المقاومة النوعية الكهربائية (Ω-cm)
٣.٨٠٣	٢.٨٣٠٤	٢.٢٨٢	ثابت العازل عند ١MHz
٠.٠٢٧١	٠.٠٢٠٩	٠.٢٧٢٥١	معامل فقدان العازل عند ١MHz
٢٥	٢٥	٢٥	درجة حرارة القياس (°C)



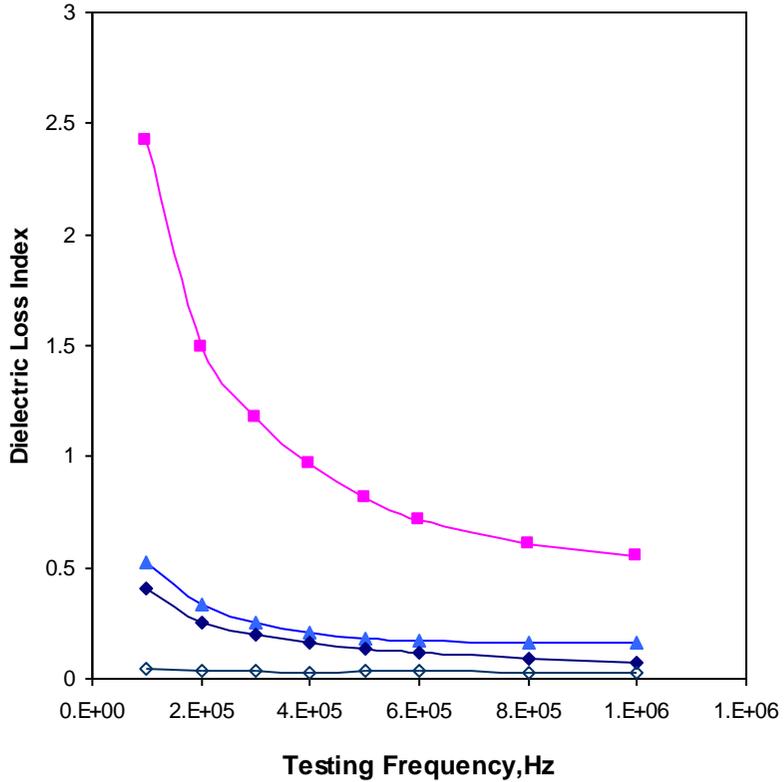
شكل (٩-٣) تغيير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الأولى (B)



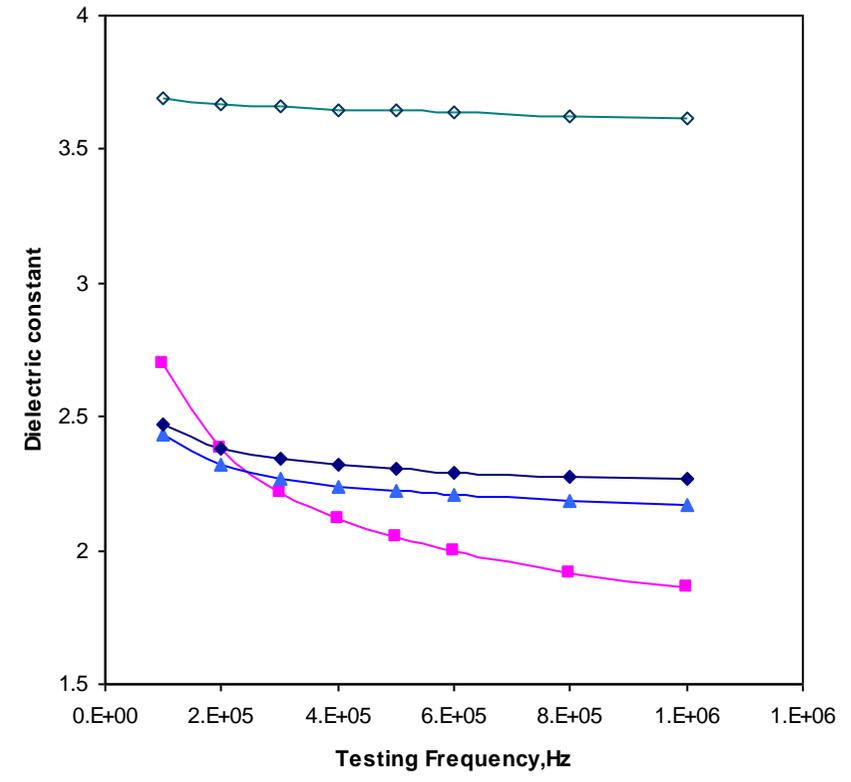
شكل (٨-٣) تغيير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الأولى (B)

جدول (٨-٣) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية		
الدالة الحامضية		PH
المادة	النسبة الوزنية	الحجم الحبيبي
CKM	٤٦.٤٣	$22 > D < 53$
بورسلينات	٣٠.٣١	$D < 50$
فلدسبار	٢٥.٢	$20 > D < 40$

جدول (٩-٣) الخواص الكهربائية وظروف تحضير النماذج (الكبس والتليد) للمجموعة الثانية (A)				
الرمز				ظروف التحضير والخواص الكهربائية
◇	◆	■	▲	
١٣٠٠	١٢٠٠	١١٠٠	١١٠٠	درجة الحرق (°C)
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	معدل ارتفاع درجة الحرارة (°C/hr)
٢	٢	٢	٢	زمن الحرق (hr)
١١.٤٥	٦.١٥	١١.٥٦	٦.١٦	معدل التحميل (MPa)
٥	٥	٥	٥	زمن التحميل (Sec)
١٥	١٢.٧	٨.٥٤	٩.١	التقلص الحجمي (%)
1.76×10^{13}	5.47×10^{10}	9.28×10^6	3.09×10^6	المقاومة النوعية الكهربائية (Ω)
٣.٦١٤٩	٢.٢٦٦٥	١.٨٦٣١	٢.١٦٩٨	ثابت العازل عند ١MHz
٠.٠٢٦٣	٠.٠٧٤٦	٠.٥٥٤	٠.١٦٠٩	معامل فقدان العازل عند ١MHz
٢٥	٢٥	٢٥	٢٥	درجة حرارة القياس (°C)



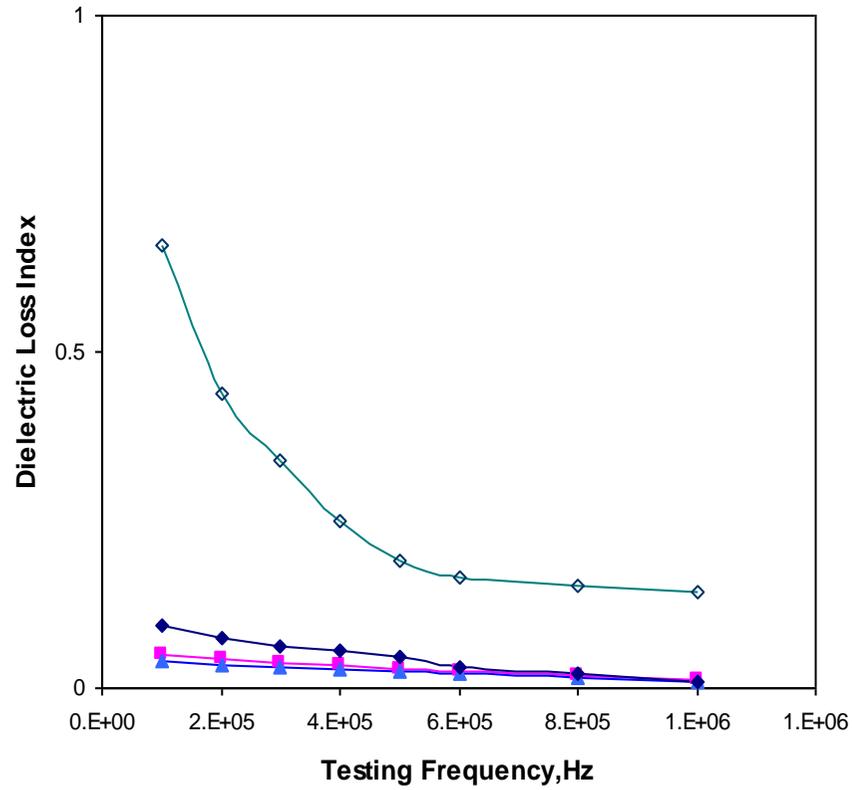
شكل (١١-٣) تغيير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثانية (A)



شكل (١٠-٣) تغيير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثانية (A)

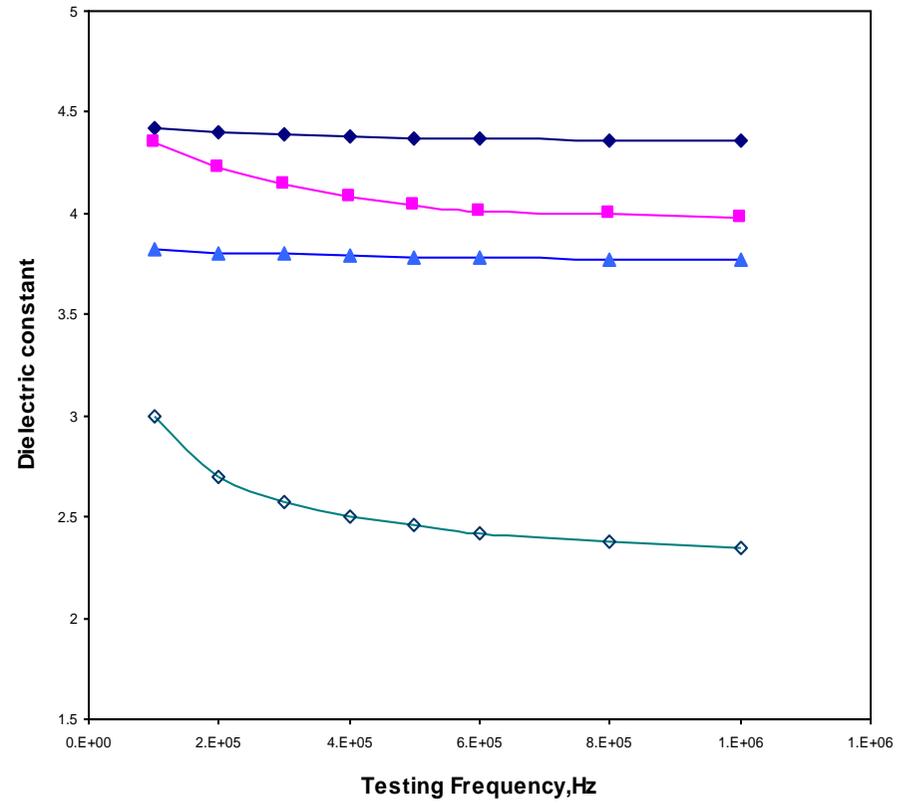
جدول (١٠-٣) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات العينات		
الدالة الحامضية PH ~ ٥		
المادة	النسبة الوزنية	الحجم الحبيبي
CKM	٤٦.٤٣	٢٢ > D < ٥٣
بورسلينات	٣٠.٣١	D < ٥٠
فلدسبار	٢٥.٢	٢٠ > D < ٤٠

جدول (١١-٣) الخواص الكهربائية وظروف تحضير النماذج (الكبس والتلبيد) للمجموعة الثانية (B)				
الرمز				ظروف التحضير والخواص الكهربائية
▲	■	◆	◇	
١٣٠٠	١٣٠٠	١٢٠٠	١١٠٠	درجة الحرق (°C)
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	معدل ارتفاع درجة الحرارة (°C/hr)
٢	٢	٢	٢	زمن الحرق (hr)
١١.٦٢	٦.١٨	٦.١٨	٦.١٨	معدل التحميل (MPa)
٥	٥	٥	٥	زمن التحميل (Sec)
١١.٤	١٢.٩	١٤.٢	١٠	التقلص الحجمي (%)
1.71×10^{10}	8.13	6.09×10^{13}	3.58×10^8	المقاومة النوعية الكهربائية (Ω -)
٣.٧٦٨٨	٣.٩٨٢٠	٤.٣٥٩٢	٢.٣٤٦٤	ثابت العازل عند ١MHz
٠.٠١٠٧	٠.٠١١٨	٠.٠١٠٥	٠.١٤٣	معامل فقدان العازل عند ١MHz
٢٥	٢٥	٢٥	٢٥	درجة حرارة القياس (°C)



شكل (٣-١٣) تغيير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثانية

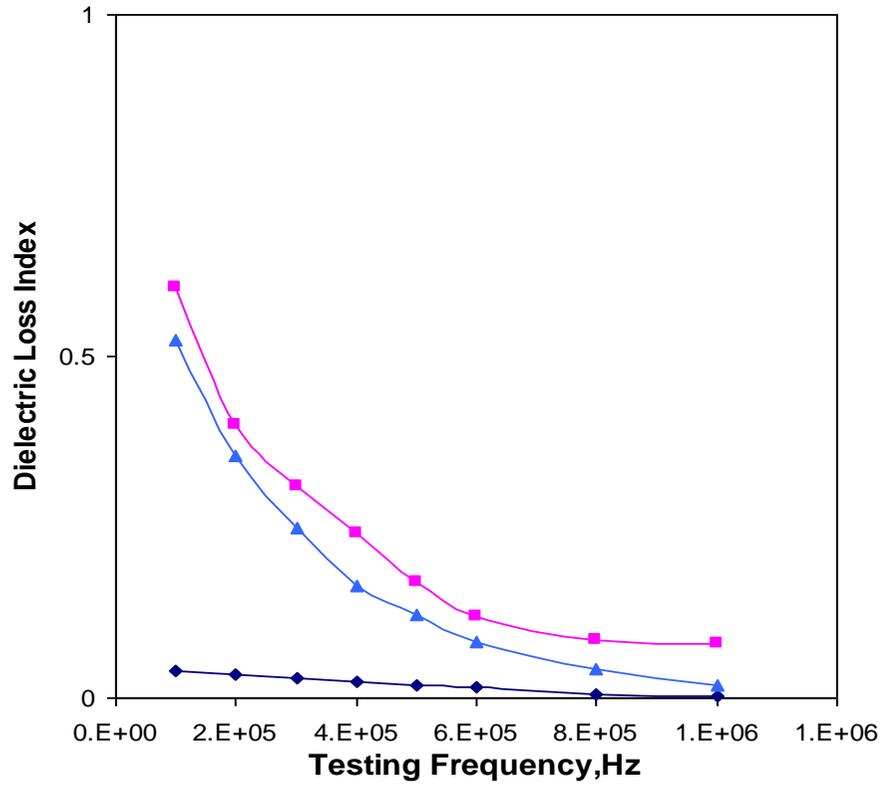
(B)



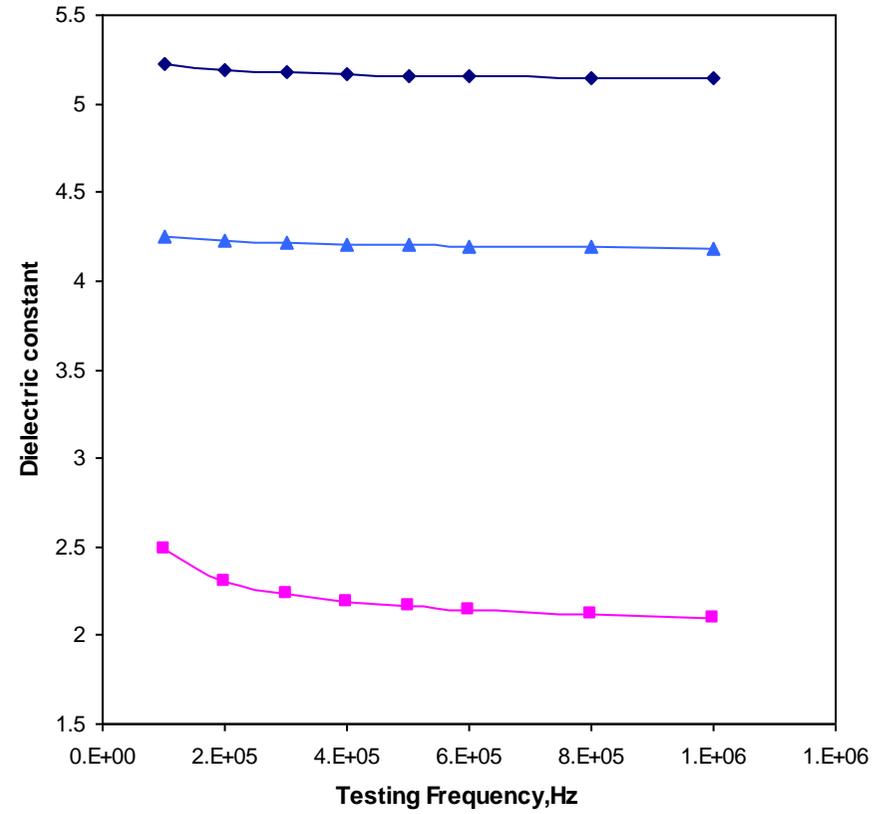
شكل (٣-١٢) تغيير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثانية (B)

جدول (٣-١٢) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكهنات العننات		
الدالة الحامضية PH ~ ٣		
المادة	النسبة الوزنية %	الحجم الحبيبي μm
CKM	٤٦.٤٣	$22 > D < 53$
بورسلينات	٣٠.٣١	$D < 50$
فلدسبار	٢٥.٢	$20 > D < 40$

جدول (٣-١٣) الخواص الكهربائية وظروف النماذج (الكبس والتليد) للمجموعة الثانية (C)			
الرمز			ظروف التحضير والخواص الكهربائية
			
١٣٠٠	١٢٠٠	١١٠٠	درجة الحرق ($^{\circ}\text{C}$)
١٠٠	١٠٠	١٠٠	معدل ارتفاع درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C/hr}$)
٢	٢	٢	زمن الحرق (hr)
٦.١٤	٦.١٦	٦.١٧	معدل التحميل (MPa)
٥	٥	٥	زمن التحميل (Sec)
١٣.٨	١٥	١٠.٧	التقلص الحجمي (%)
8.16×10^{13}	1.04×10^{14}	1.96×10^{11}	المقاومة الكهربائية النوعية ($\Omega\text{-cm}$)
٤.١٨٣	٥.١٤٣	٢.١٠١	ثابت العازل عند ١MHz
٠.٠١٩٦	٠.٠٠٢٢	٠.٠٨٠٥	معامل فقدان العازل عند ١MHz
٢٥	٢٥	٢٥	درجة حرارة القياس ($^{\circ}\text{C}$)



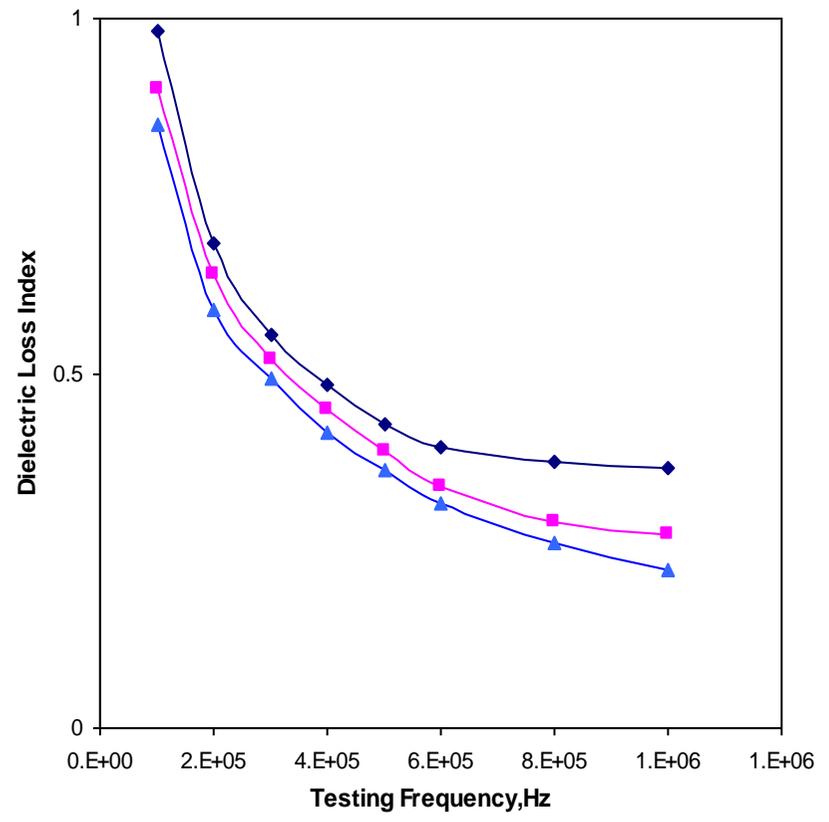
شكل (٣-١٥) تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثانية (C)



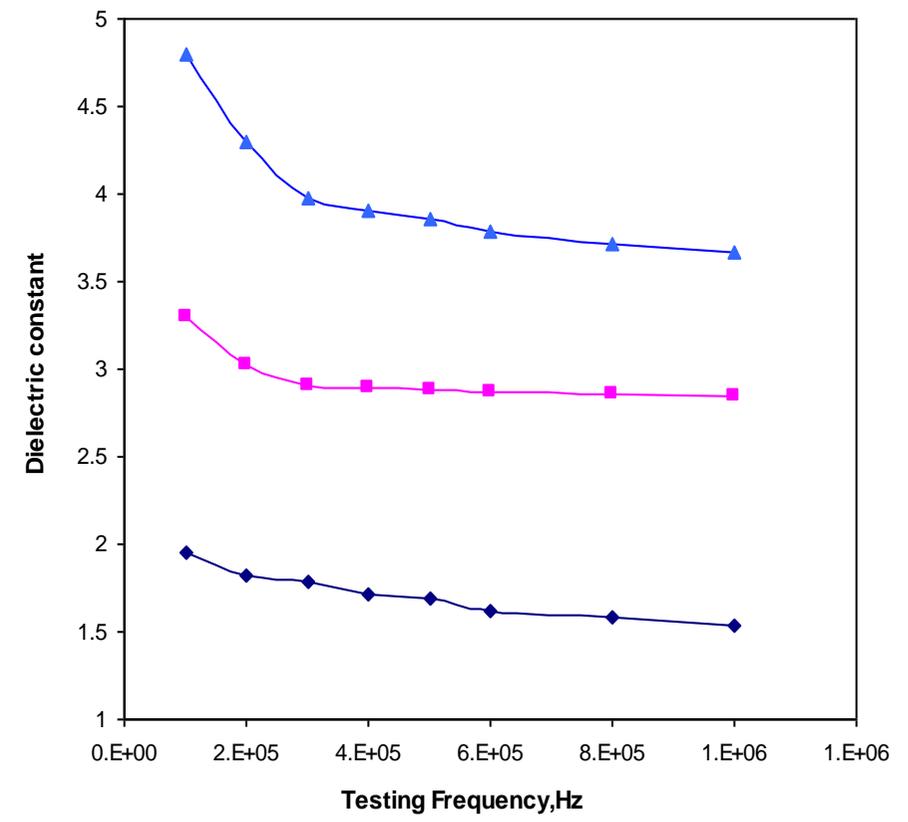
شكل (٣-١٤) تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثانية (C)

جدول (٣-١٤) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات العينات		
الدالة الحامضية PH ~ Normal		
المادة	النسبة الوزنية	الحجم الحبيبي
CKM	٥٠.٧٢	$22 > D < 53$
بورسلينات	٢٤.٧٢	$D < 50$
فلدسبار	٢٥.٥١	$20 > D < 40$

جدول (٣-١٥) الخواص الكهربائية وظروف تحضير النماذج (الكبس والتليد) للمجموعة الثالثة (A)			
الرمز			ظروف التحضير والخواص الكهربائية
▲	■	◆	
١٣٠٠	١٢٠٠	١١٠٠	درجة الحرق (°C)
١٠٠	١٠٠	١٠٠	معدل ارتفاع درجة الحرارة (°C/hr)
٢	٢	٢	زمن الحرق (hr)
٦.١٨	٦.١٨	٦.١٨	معدل التحميل (MPa)
٥	٥	٥	زمن التحميل (Sec)
١٥.٨	١٤.٢	١٠.٦	التقلص الحجمي (%)
2.53×10^{11}	6.3×10^{10}	5.66×10^8	المقاومة الكهربائية النوعية (Ω-cm)
٣.٦٧٢٣	٢.٨٥٠٥	١.٥٣٣٢	ثابت العازل عند ١MHz
٠.٢٢١٥	٠.٢٧١٨	٠.٣٦٧٠	معامل فقدان العازل عند ١MHz
٢٥	٢٥	٢٥	درجة حرارة القياس (°C)



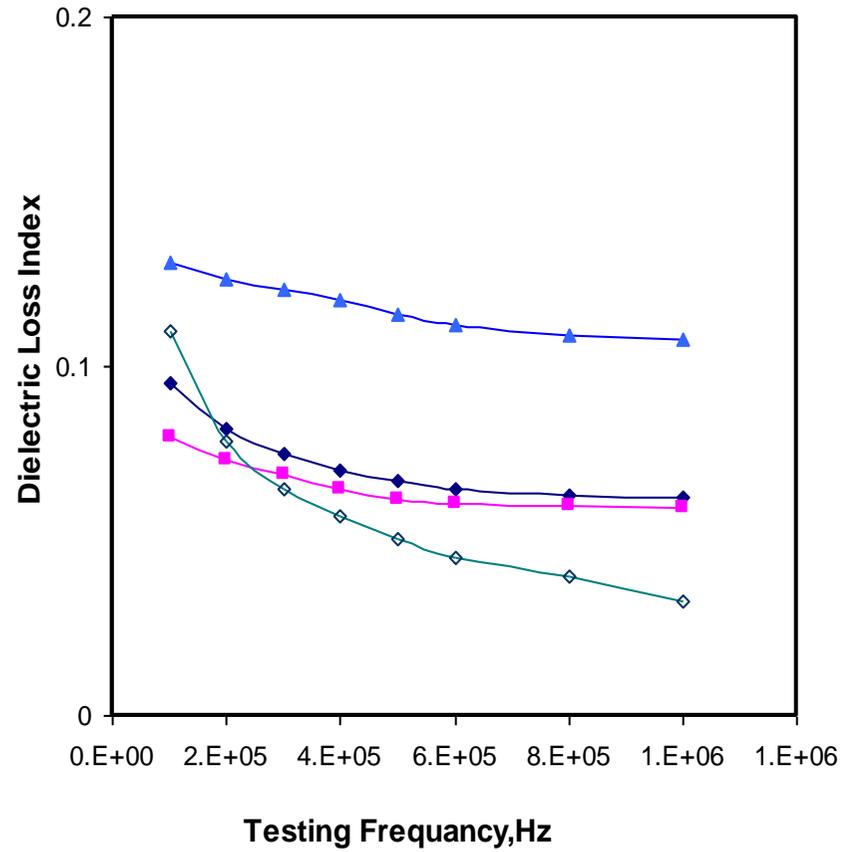
شكل (٣-١٧) تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (A)



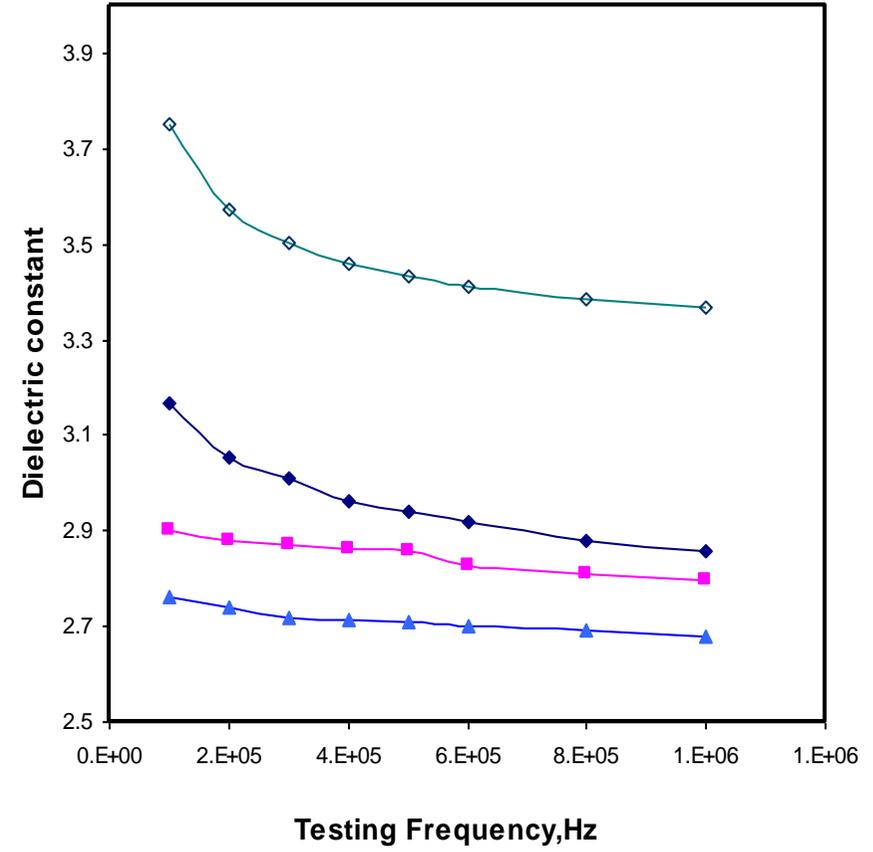
شكل (٣-١٦) تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (A)

جدول (١٦-٣) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات العينات		
الدالة الحامضية PH ~ ٥		
المادة	النسبة الوزنية	الحجم الحبيبي
CKM	٥٠.٧٢	٢٢ > D < ٥٣
بورسلينات	٢٤.٧٢	D < ٥٠
فلدسيار	٢٥.٥١	٢٠ > D < ٤٠

جدول (١٧-٣) الخواص الكهربائية وظروف تحضير النماذج (الكبس والتلبيد) للمجموعة الثالثة (B)				
الرمز				ظروف التحضير والخواص الكهربائية
■	◆	◇	▲	
١٣٠٠	١٣٠٠	١٢٠٠	١١٠٠	درجة الحرق (°C)
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	معدل ارتفاع درجة الحرارة (°C/hr)
٢	٢	٢	٢	زمن الحرق (hr)
١١.٥٩	٦.١٨	٦.١٩	٦.٢	معدل التحميل (MPa)
٥	٥	٥	٥	زمن التحميل (Sec)
١٣.٥	١٤.٨	١٦.٢	٨.٧	التقلص الحجمي (%)
٢.٤٧×١٠^{١٢}	١.٩×١٠^{١١}	١×١٠^{١٣}	١.٤٢×١٠^٨	المقاومة الكهربائية النوعية (Ω-cm)
٢.٧٩٨٢	٢.٨٥٧١	٣.٣٦٦٨	٢.٦٨٠٧	ثابت العازل عند ١ MHz
٠.٠٥٩٣	٠.٠٦٢٧	٠.٠٣٢٩	٠.١٠٧٨	معامل فقدان العازل عند ١ MHz
٢٥	٢٥	٢٥	٢٥	درجة حرارة القياس (°C)



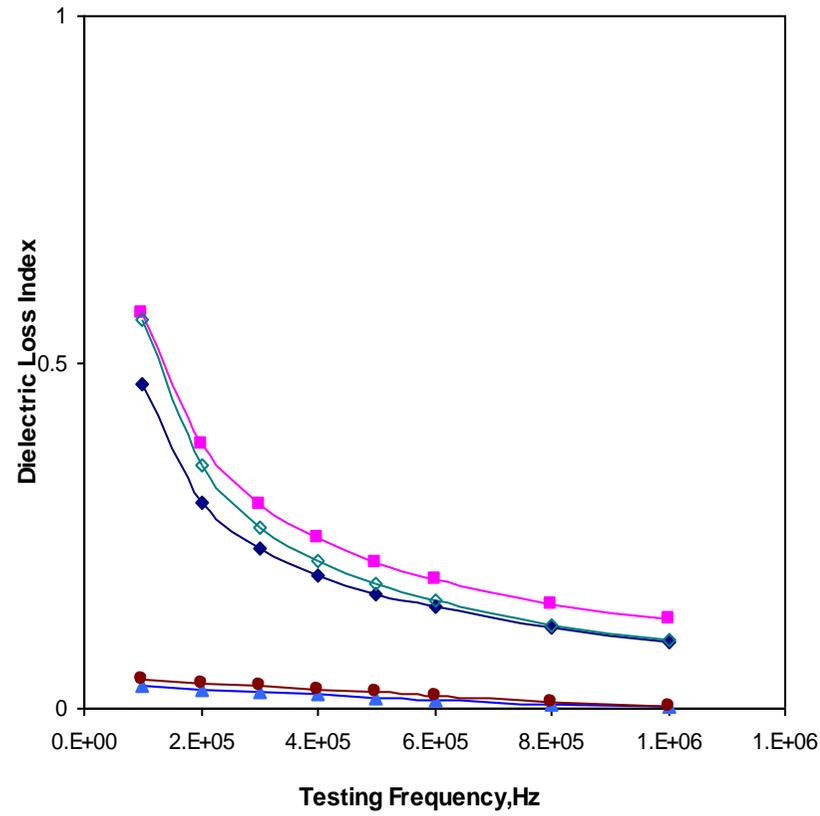
شكل (١٩-٣) تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (B)



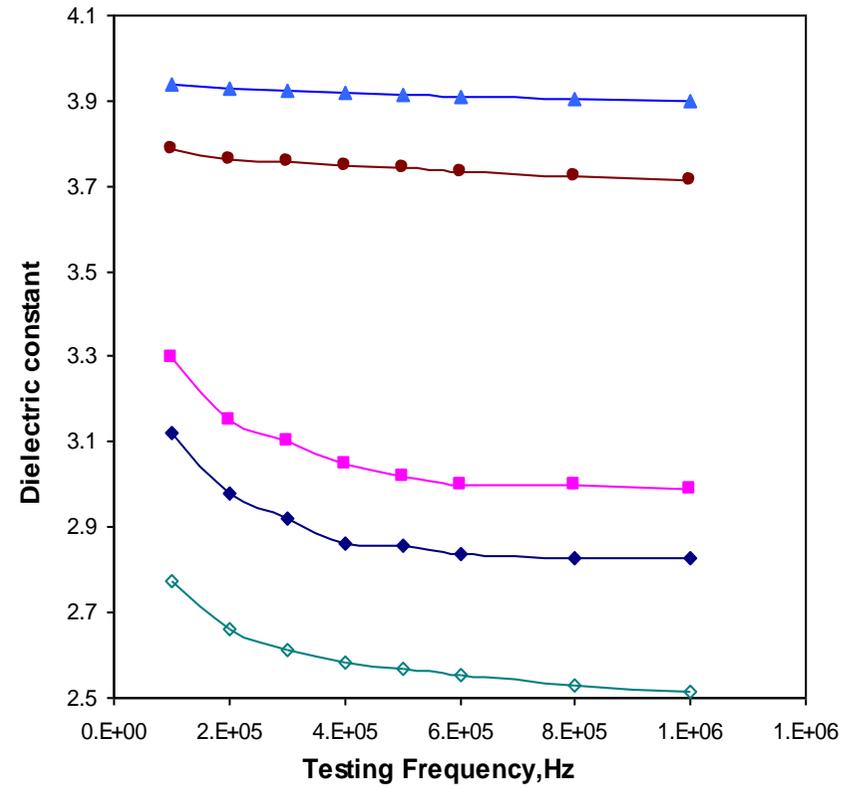
شكل (١٨-٣) تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (B)

جدول (٣-١٨) يوضح الدالة الحامضية والنسب الوزنية لمكونات العينات		
الدالة الحامضية PH ~ ٣		
المادة	النسبة الوزنية	الحجم الحبيبي
CKM	٥٠.٧٢	$22 > D < 53$
بورسلينات	٢٤.٧٢	$D < 50$
فلدسبار	٢٥.٥١	$20 > D < 40$

جدول (٣-١٩) الخواص الكهربائية وظروف تحضير النماذج (الكبس والتليد) للمجموعة الثالثة (C)					
الرمز					ظروف التحضير والخواص الكهربائية
■	▲	●	◇	◆	درجة الحرق (°C)
١٣٠٠	١٢٠٠	١٢٠٠	١١٠٠	١١٠٠	معدل ارتفاع درجة الحرارة (°C/hr)
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	زمن الحرق (hr)
٢	٢	٢	٢	٢	معدل التحميل (MPa)
٦.١٥	١١.٤١	٦.١٦	١١.٤	٦.١٥	زمن التحميل (Sec)
٥	٥	٥	٥	٥	التقلص الحجمي (%)
١١.٥	١٥.٣	١٧	٨	٩.٢٨	المقاومة الكهربائية النوعية (Ω)
2.73×10^{12}	8.33×10^{10}	2.43×10^{14}	3.72×10^{10}	2.53×10^{10}	ثابت العازل عند ١ MHz
٢.٩٨٩٨	٣.٩٠٠٦	٣.٧١١٣	٢.٥١٥٥	٢.٨٢٧٠	معامل فقدان العازل عند ١ MHz
٠.١٢٩٢	٠.٠٠٣١	٠.٠٠٣٣	٠.٠٩٨٧	٠.٠٩٦٧	درجة حرارة القياس (°C)
٢٥	٢٥	٢٥	٢٥	٢٥	



شكل (٣-٢١) تغير معامل فقدان العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (C)



شكل (٣-٢٠) تغير ثابت العازل مع التردد للمجموعة الثالثة (C)

الفصل الرابع

مناقشة النتائج

٤-١ تأثير التردد في الخواص العزلية الكهربائية (ثابت العازل، معامل فقدان العازل)

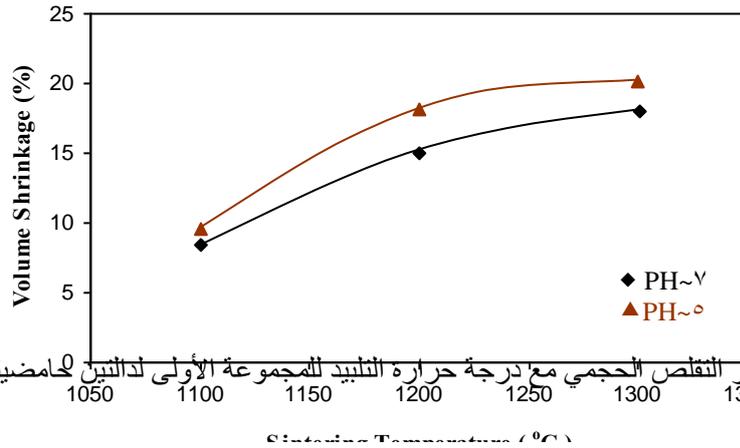
تبين الأشكال من (٦-٣) إلى (٢١-٣) تغير القيم المقاسة لكل من ثابت العازل ومعامل فقدان العازل مع تردد المجال الكهربائي المسلط لجميع النماذج المستعملة في البحث، يتضح من خلال الأشكال تناقص قيم كل من ثابت العازل ومعامل الفقدان بزيادة التردد وتصبح قيمتهما أقل ما يمكن عند (١ MHz)، تتفق هذه النتائج مع نتائج الباحثين^[٢٢,٣٤,٨] والسبب في ذلك يعود إلى زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط فتؤدي إلى نقصان مساهمة استقطابية الشحنة الفراغية إلى الاستقطاب الكلي (شكل ١-٧) مما يسبب نقصان قيم ثابت العازل، وتبعاً لذلك تقل الطاقة الممتصة (أي يقل معامل فقدان العازل) من المجال الكهربائي المسلط نتيجة لنقص الاستقطاب الكلي.

٤-٢ تأثير الدالة الحامضية (PH) ودرجة التلييد على التقلص الحجمي

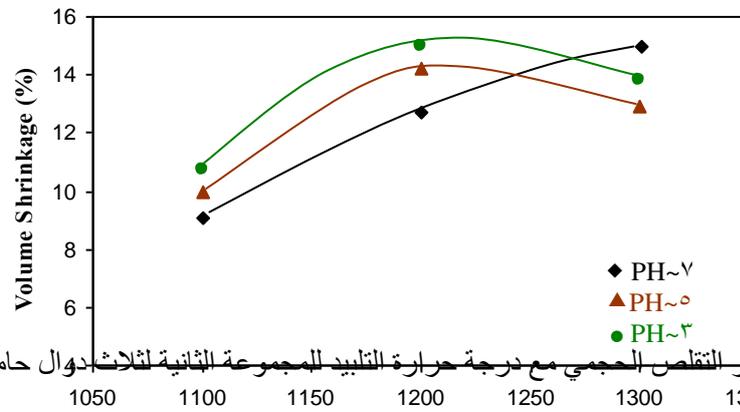
دُرس تأثير الدالة الحامضية على نسبة التقلص الحجمي من خلال ملاحظة سلوك التقلص الحجمي مع تغير درجة حرارة تلييد النماذج عند (١١٠٠°C، ١٢٠٠°C، ١٣٠٠°C) لكل مجموعة وكما هو موضح بالأشكال (١-٤) و (٢-٤) و (٣-٤)، يلاحظ من خلال الأشكال ان نسبة التقلص الحجمي تزداد مع زيادة درجة حرارة التلييد للنماذج المشكلة بدالة حامضية (PH~Normal)، تعزى هذه الزيادة إلى زيادة نسبة الطور السائل المتكون أثناء عملية التلييد وتبلغ أعلى نسبة للتقلص عند درجة حرارة تلييد (١٣٠٠°C)، وهذه النتيجة متوافقة مع نتائج الباحثين السابقة^[٥٧,٥٢] المرتبطة بتكوين الأطوار المتحققة داخل الجسم البورسليني بفعل المعاملة الحرارية وكذلك تكون الطور المسامي داخل الجسم وطبيعة توزيعه^[٨] التي تثبت أن (١٣٠٠°C) تمثل درجة إنضاج الجسم البورسليني، أما سلوك النماذج المشكلة بدالة حامضية (PH~٥) فإن نسبة التقلص الحجمي للمجموعة الأولى يسلك السلوك السابق نفسه أي إن النسبة تزداد مع زيادة درجة حرارة التلييد ولكنها تزداد عن ما كانت عليه في السابق أما سلوك المجموعة الثانية والثالثة فإنه يختلف عن المجموعة الأولى إذ أن أعلى نسبة للتقلص

نحصل عليها عندما تكون درجة حرارة تلييد (1200°C) وكذلك الحال بالنسبة لنماذج المجموعة الثانية والثالثة المشكلة بدالة حامضية ($\text{PH}\sim 3$) فإنها تسلك السلوك السابق نفسه وان أعلى نسبة للتقلص الحجمي تكون للنماذج المشكلة بدالة حامضية ($\text{PH}\sim 3$) والمليدة عند (1200°C).

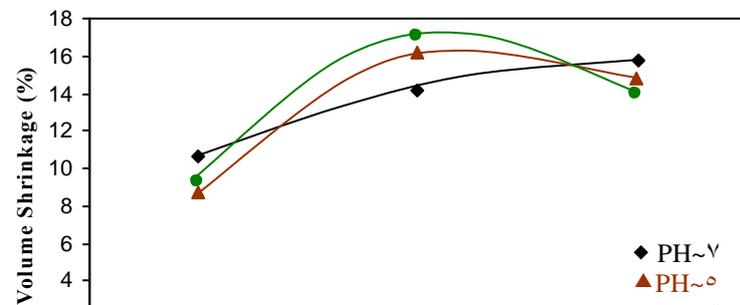
مما سبق نستنتج أن تأثير الأس الهيدروجيني يرتبط بمكونات الخلط وتحقق الطور الزجاجي بشكل وثيق وذلك لأن المجموعة الأولى تأخذ سلوك مغاير عن المجموعة الثانية والثالثة، ونستنتج أيضا أن زيادة الأس الهيدروجيني أثناء عملية التشكيل للمجموعة الثانية والثالثة أدى إلى تعجيل عملية إنضاج الجسم البورسليني أثناء عملية التلييد أي أن زيادة الحامضية إلى ($\text{PH}\sim 3$) أدت إلى زيادة فاعلية التشكيل وذلك لأن زيادة الحامضية أعطت فرصة لتكون جذور حرة (H^+ , Cl^- , OH^-) عززت قابلية المادة الرابطة (PVA) على إزاحة جزيئات الماء المرتبطة بالسطح الطيني سالب الشحنة فزادت في فاعلية عملية الترابط بين (PVA) والطين منعكسة بذلك على ترابط مكونات البورسلينات ضمن التشكيل



شكل (١-٤) تغير التقلص الحجمي مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الأولى لدالتين حامضيتين مختلفتين



شكل (٢-٤) تغير التقلص الحجمي مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثانية لثلاث دوال حامضية مختلفة



شكل (٣-٤) تغير التقلص الحجمي مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثالثة لثلاث دوال حامضية مختلفة المكون من طين الكاؤولين والبورسلينات بوجود الفلدسبار إذا ما أخذت المقارنة على اعتبار أن سلوك البورسلينات مشابه لسلوك الكوارتز [٤٩,١٦].

٣-٤ تأثير الدالة الحامضية على الخواص العزلية الكهربائية (ثابت العازل، معامل فقدان العازل، المقاومة الكهربائية المستمرة)

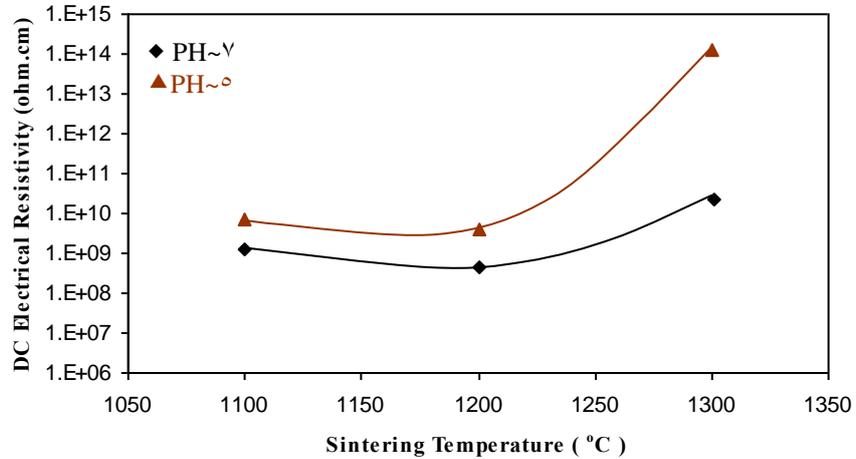
درس تأثير الدالة الحامضية (PH) على الخواص العزلية الكهربائية من خلال ملاحظة سلوك الخواص العزلية الكهربائية مع تغير درجة حرارة تلييد النماذج عند (١١٠٠°C، ١٢٠٠°C، ١٣٠٠°C) لكل مجموعة وكما هو موضح بالأشكال من (٤-٤) إلى (٤-١٢). يلاحظ من الأشكال المشار إليها أعلاه أن المقاومة الكهربائية المستمرة وثابت العازل تزداد قيمة كل منهما مع زيادة درجة حرارة التلييد للنماذج المشكلة بدالة حامضية (PH~Normal) وللمجاميع الثلاث لتبلغ أعلى قيمة لهما عند درجة حرارة تلييد (١٣٠٠°C) وتتناقص قيمة معامل فقدان العازل مع زيادة درجة حرارة التلييد لتصل إلى أقل قيمة لها عند (١٣٠٠°C) وتنشذ عن ذلك بعض قراءات المجموعة الأولى، أما سلوك النماذج المشكلة بدالة حامضية (PH~٥) فإنه مختلف إذ يصل كل من المقاومة الكهربائية المستمرة وثابت العازل إلى أعلى قيمة لهما عند درجة حرارة تلييد (١٢٠٠°C) ومن ثم تبدأ بالانخفاض عند (١٣٠٠°C) في حين تكون أقل قيمة لمعامل فقدان العازل عند درجة حرارة تلييد ١٢٠٠°C ومن ثم تبدأ بالارتفاع عند (١٣٠٠°C)، هذا ويلاحظ أن قيمة المقاومة الكهربائية وثابت العازل قد زادت عما كانت عليه في السابق أي عن القيم التي حققتها النماذج المشكلة بدالة حامضية (PH~Normal) وأن قيمة معامل فقدان أصبحت أقل مما كانت عليه، وكذا الحال بالنسبة لنماذج المجموعة الثانية والثالثة المشكلة بدالة حامضية (PH~٣) فإن أعلى قيمة للمقاومة الكهربائية المستمرة وثابت العازل وأوطأ قيمة لمعامل فقدان تكون عند درجة حرارة تلييد (١٢٠٠°C) ويلاحظ بشكل عام أن أفضل النتائج حققتها النماذج التي شكلت بدالة حامضية (PH~٣) والمليدة عند (١٢٠٠°C) للمجموعتين الأولى والثانية.

يلاحظ عند المقارنة مع سلوك التقلص الحجمي أن المقاومة الكهربائية المستمرة وثابت العازل تزداد قيمة كل منهما مع زيادة نسبة التقلص الحجمي وتقل مع تناقص نسبة التقلص أي أن علاقتهما طردية مع نسبة التقلص أما معامل فقدان العازل فإنه يسلك سلوك عكسي مع التقلص إذ تقل قيمته مع زيادة نسبة التقلص.

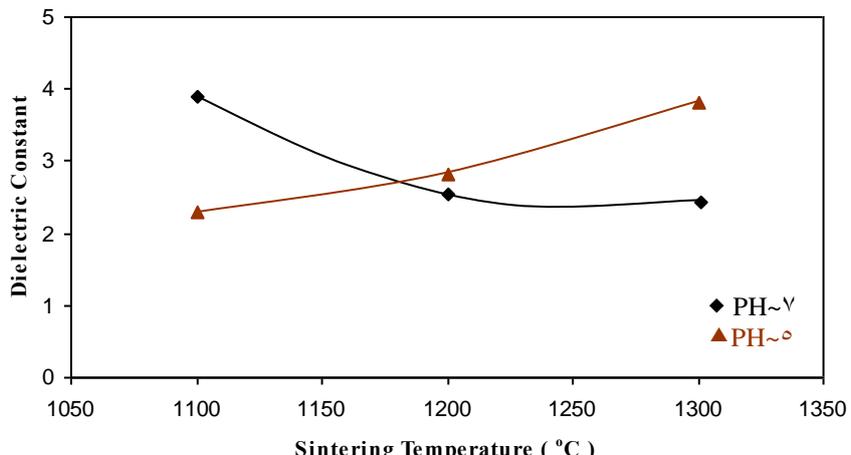
مما سبق نستنتج وجود زيادة في قيمة المقاومة الكهربائية المستمرة وثابت العازل ونقص معامل فقدان العازل على الرغم من زيادة نسبة التقلص الحجمي للنماذج وتناقص مسامية الجسم البورسليني، مما يعني أن هذه الخواص تتأثر بعوامل أخرى ألا وهي تكون الأطوار البلورية ونسبة تكونها وكذلك طبيعة توزيع بلورات المولاييت ضمن الطور الزجاجي وطبيعة توزيع حجم المسامات المغلقة^[٣٤].

٤-٤ تأثير ضغط الكبس على الخواص العزلية الكهربائية

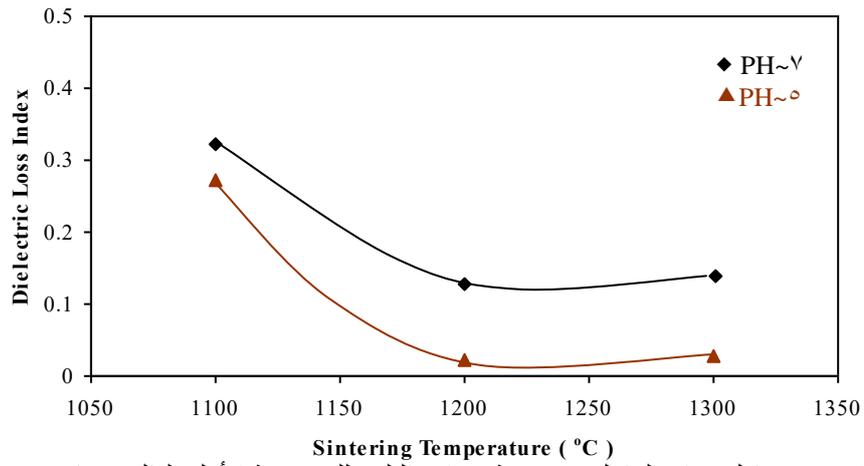
لوحظ من خلال الجداول من (٤-٣) إلى (٤-٣) أن مضاعفة ضغط الكبس أثناء عملية تشكيل النماذج للمجموعة الأولى A من (٦MPa) إلى (١١MPa) للنماذج الملبدة عند (١١٠٠°C) تقل قيمة المقاومة الكهربائية المستمرة وتقل قيمة كل من ثابت العازل



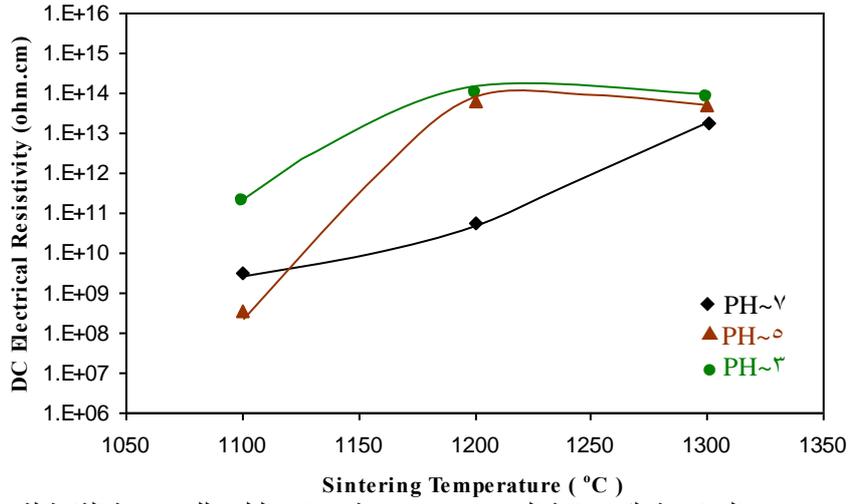
شكل (٤-٤) تغير المقاومة الكهربائية المستمرة مع درجة حرارة التليد للمجموعة الأولى لدالتين حامضيتين مختلفتين



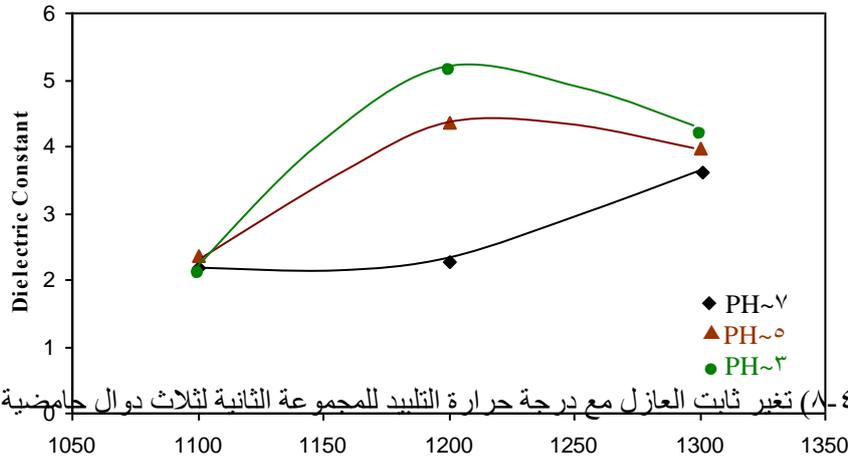
شكل (٥-٤) تغير ثابت العازل مع درجة الحرارة للتليد للمجموعة الأولى لدالتين حامضيتين مختلفتين



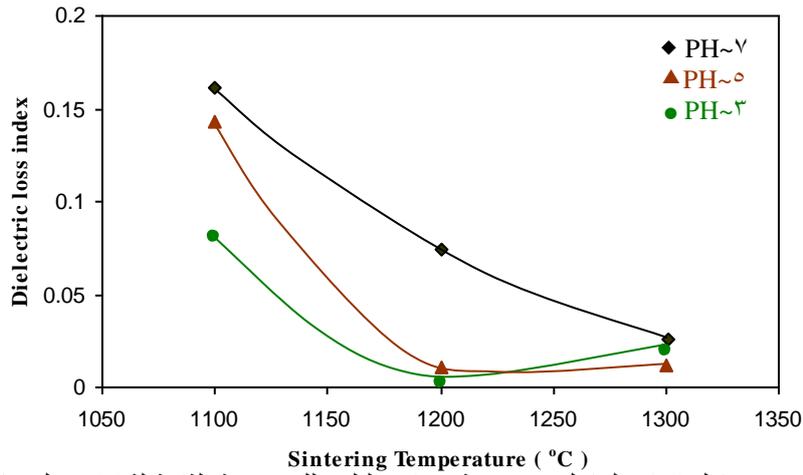
شكل (٦-٤) تغير معامل فقدان العازل مع درجة الحرارة للتليد للمجموعة الأولى لدالتين حامضيتين مختلفتين



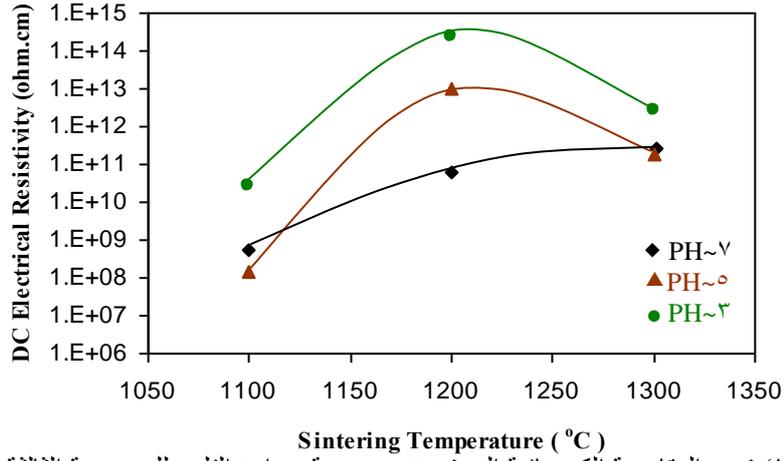
شكل (٧-٤) تغير المقاومة الكهربائية المستمرة مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثانية لثلاث دوال حامضية مختلفة



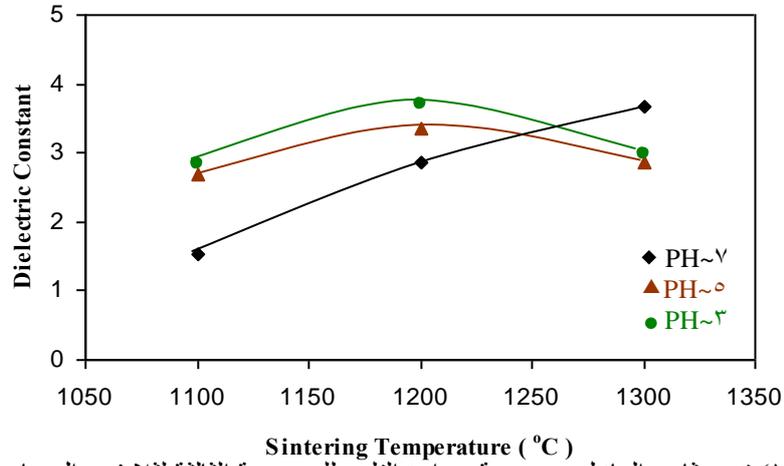
شكل (٨-٤) تغير ثابت العازل مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثانية لثلاث دوال حامضية مختلفة



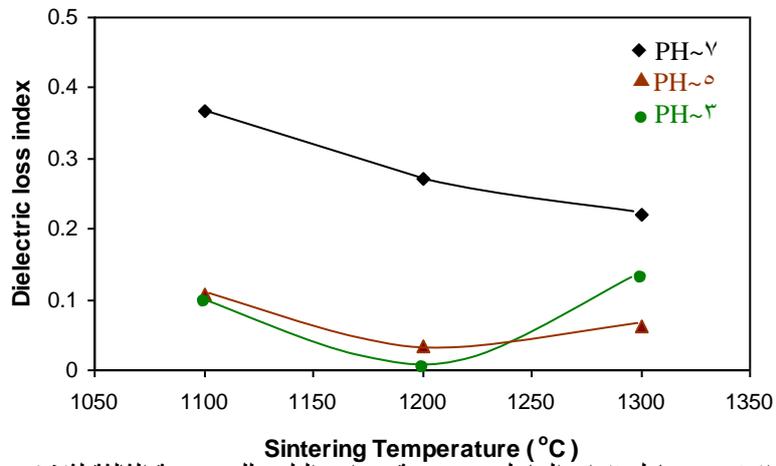
شكل (٩-٤) تغير معامل فقدان العازل مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثانية لثلاث دوال حامضية مختلفة



شكل (١٠-٤) تغير المقاومة الكهربائية المستمرة مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثالثة لثلاث دوال حامضية مختلفة



شكل (١١-٤) تغير ثابت العازل مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثالثة لثلاث دوال حامضية مختلفة



شكل (١٢-٤) تغير معامل فقدان العازل مع درجة حرارة التلييد للمجموعة الثالثة لثلاث دوال حامضية مختلفة

ومعامل ففقدان العزل، أما مضاعفة الكبس عند (١٢٠٠°C) يؤدي إلى زيادة المقاومة الكهربائية المستمرة مع بقاء قيم ثابت العازل ومعامل فقدان العازل بقيم ثابتة تقريباً، أما النماذج الباقية التابعة للمجموعتين الثانية والثالثة فإن المقاومة الكهربائية المستمرة تزداد مع مضاعفة الكبس مع بقاء ثابت العزل ومعامل فقدان العازل بقيم مقاربة للقراءات السابقة لجميع النماذج عند درجات التلييد المختلفة (١١٠٠°C، ١٢٠٠°C، ١٣٠٠°C) والمشكلة بدوال حامضية مختلفة.

٥-٤ الاستنتاجات (CONCLUSIONS)

من خلال النتائج المتحققة في البحث والمناقشة التي عرضت تأثير الدالة الحامضية وبعض ظروف التحضير على بعض الخواص الفيزيائية يمكن استنتاج ما يأتي:
 أولاً: حققت نسب الخلط المعتمدة في المجموعة الثانية (٤٦.٤٣% كاؤولين محمص و ٣٠.٣١% بورسلينات و ٢٥.٢% فلدسبار) المشكلة بدالة حامضية (٣-PH) وملبدة بدرجة حرارة (١٢٠٠°C) وضغط كبس (٦.١٦MPa) أفضل النتائج للخصائص المتناول في البحث عند المقارنة مع المواصفة الصناعية المطلوبة، جدول (٤-١).

جدول (٤-١) مقارنة النتائج العملية المقاسة مع القيم القياسية للمواصفة العالمية		
الخاصية	القيم القياسية	القيم المقاسة
المقاومية الكهربائية المستمرة - Ω -cm	$10^{14} \geq$	1.04×10^{14}
ثابت العازل عند ١MHz	٨-٥	٥.١٤٣
معامل فقدان العازل عند ١MHz	$0.01 \leq$	٠.٠٠٢٢
التقلص الحجمي %	١٣-١٢ %	١٥%

ثانياً: يتأثر التقلص الحجمي والخواص العزلية الكهربائية بظروف التحضير والتشكيل، فقد وجد أن هذه القيم تتغير مع تغير قيمة الدالة الحامضية المعتمدة خلال التحضير، حيث كانت نتائج التقلص الحجمي العملية بحدود % (١٥-١٨) للمجموعة الأولى المحضرة وفق درجة حرارة حرق (١٢٠٠°C) وبدالتين حامضيتين (٥، ٧)، في حين كانت قيم التقلص الحجمي بحدود % (١٢-١٧) لنماذج المجموعتين الثانية والثالثة المحضرتين تحت درجة حرارة الحرق نفسها ولمدى من الدالة الحامضية (٣-٧). وعند مقارنة قيم التقلص الحجمي مع الخواص العزلية الكهربائية للنماذج أعلاه نجد أن نماذج المجموعة الأولى اعطت قيماً لثابت

العازل بحدود (٢.٥-٢.٨) ومعامل فقدان بحدود (٠.١٢-٠.٠٢) ومقاومية كهربائية بحدود ($10^{10} \times 3.98 - 10^8 \times 4.29$) في حين كانت قيم ثابت العازل للمجموعتين الثانية والثالثة بحدود (٢.٢-٥.١) ومعامل فقدان بحدود (٠.٢٧-٠.٠٠٢) ومقاومية كهربائية بحدود ($10^{14} \times 2.43 - 10^{10} \times 5.47$) للنماذج الملبدة عند درجة حرق (١٢٠٠°C) وهي الدرجة الحرارية التي اعتمدت لحرق الجسم البورسليني المشكل من كاؤولين-رمل زجاج أرضة-فلدسبار .

ثالثاً تأثير الدالة الحامضية على الخواص العزلية الكهربائية والتقلص الحجمي يعتمد على نسبة المكون الطيني ونسبة الفلدسبار، إذ إن المجموعة الأولى ذات المحتوى الطيني الأقل (CKM %٤٣.٨٦ أبدت سلوكاً مغايراً عن المجموعتين الثانية (CKM %٤٦.٤٣) والثالثة (CKM %٥٠.٧٢) فكانت درجة حرارة الإنضاج لنماذج المجموعة الأولى هي (١٣٠٠°C) أما المجموعتين الثانية والثالثة فإن درجة حرارة الإنضاج لهما كانت عند (١٢٠٠°C).

رابعاً: إمكانية استعمال بورسلينات السلامة كبديل عن رمل زجاج أرضة في حقل صناعة الأجسام البورسلينية.

خامساً: من خلال النتائج المستحصلة في البحث ودراسة نسبة توافقها مع القيم القياسية للمواصفة العالمية للخصائص المذكورة في جدول (٤-١) يتبين أن افضل ضغط للتشكيل هو (٦.١٦ MPa).

الدراسات المستقبلية

١. إجراء دراسة تشخيصية لمعرفة طبيعة التحولات الطورية تحت تأثير مضافات الحوامض المختلفة وانعكاس ذلك على قيم العزلية الكهربائية.
٢. تحضير محاليل الكتروليتية مختلفة ودراسة تأثير تلك المحاليل على الخواص التركيبية والفيزيائية والعزلية الكهربائية والميكانيكية للأجسام البورسلينية المشكلة من كاؤولين دويخلة- بورسلينات- فلدسبار.
٣. دراسة تأثير الحجم الحبيبي لمساحيق المواد المستخدمة تحت ظروف المعالجة الكيميائية والحرارة المختلفة.

References المصادر

١. Kirk-Orthmer Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, Volume ٥, John & Wiley Sons, New York, ١٩٩٩
٢. W. D. Kingery. Introduction to Ceramics, John Wiley & Sons, New York, ١٩٧٦.
٣. P. Rado, An Introduction to the Technology of Pottery, ٢nd Edition, Pergamon Press, ١٩٨٨.
٤. S. Chondhury, Material Science and Process, Indian Book Distributing Company, ١٩٨٥.
٥. و.ريان, ترجمة فاضل بندر عيسى, ماجد محمد عكاشة, فوزي عبد الهادي السيد, خواص المواد الخام السيراميكية, مؤسسة المعاهد الفنية, دار التقني للطباعة والنشر, ١٩٨٦.
٦. L. Sheppard, Amer. Ceram. Soc. Bulletin, ٦٩, ١٠١٢, (١٩٩٩).
٧. B. Tareev, Physic of Dielectric Materials, Mir Publishers, Moscow, ١٩٧٣.
٨. F. Rasen, The Use of Iraqi Siliceous Rocks as Electrical Insulators in Industry, Ph.D. Thesis, Saddam University, ١٩٩٨.
٩. R. C. Buchanan, Properties of Ceramic Insulators-Dielectric Properties, Marcel Dekker, Inc. New York, ١٩٨١.
١٠. Jyh-Ming Ting & Ray Y. Lin, Ceramic Bulletin, Vol. ٧٠, No. ٧, ١٩٩١.
١١. Ralph E.Grim, Clays Mineralogy, ٢nd Edition, Pergamon Press, Oxford, New York,
١٢. F. J. Pettijohn, Sedmintry Rock, Oxford and IBH, ١٩٥٧
١٣. W. Ryan, Properties of Ceramic Raw Materials, ٢nd Edition, McGraw Hill Book Company, New York, ١٩٧٨.
١٤. E. Rosenthal, Pottery and Ceramics, Penguin Books, ١٩٥٤.
١٥. O.Hegab, M.Serry and M.Banna, Interceramic, ٣٣, ٣١, (١٩٨٤).
١٦. W.E.Worrall, Clays and Ceramic Raw Materials, Applied Science Publishers LTD, London, ١٩٧٥.
١٧. P. Budnikov, Technology of Ceramic Materiales and Refractories, ١st edition, Pergamon Press, Cambridge, ١٩٦٧.
١٨. R.A. Kauffman, and D. Van Dyk, Industrial Minerals and Rocks, ٦th Edition, Littleton, Co., ١٩٩٤.
١٩. M. J. Potter, Mineral Commodity Summaries, US Geological Survey, ١٩٩٧.
٢٠. I. Fukuura, Hirao, T., Production Processes for Ceramics, Academic Press, New York, Tokyo, ١٩٨٩.
٢١. T. Yono; M. Sato, and K. Terashita, Powder Technology, Vol ٢٠, ٩-١٤, (١٩٧٨).

٢٢. D. Segal, Chemical Synthesis of Advanced Ceramic Materials, Cambridge University Press, Cambridge, ١٩٨٩.
٢٣. F. H. Norton, Element of Ceramics, ٢nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company, ١٩٧٩.
٢٤. R. W. Ford, Ceramic Drying, Pergamon Press, Oxford, New York, ١٩٨٦.
٢٥. M. Cohen and F. H. Norton, Physical Ceramics for Engineers, Addison-Wesley Publishing Company, ١٩٦٤.
٢٦. P. Rado, An Introduction to the Technology of Pottery, ٢nd Edition, Pergamon Press, ١٩٨٨.
٢٧. J. S. Reed and R. B. Runk, Dry Pressing. Ceramic Fabrication Processes, Academic Press, New York, ١٩٧٦.
٢٨. B. K. G. Theng, Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, ١٩٧٩.
٢٩. R. Buchanan, Properties of Ceramic Insulators-Dielectric Properties, Ceramic Materials for Electronics Processing Properties and Application, Marcel Dekker, Inc., New York, ١٩٨١.
٣٠. H. J. Wintle, Basic Physics of Insulators, ٢٥, ١, (١٩٩٠).
٣١. M.C. Frank, Insulating Materials for Design and Engineering Practice, John Wiley and Sons, Inc. New York, ١٩٦٢.
٣٢. ASTM Designation D١٥٠-٦٨: Standard methods of test for A-C loss characteristic and dielectric constant of solid electrical insulating materials.
٣٣. P. J. Harrop, Dielectrics, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd. London Butterworth, ١٩٧٢.
٣٤. هاني محمد حسين، دراسة تأثير ظروف التشكيل في الخواص الفيزيائية للعازل الكهربائي
السيراميكي، رسالة ماجستير، جامعة بابل،
٢٠٠٣.
٣٥. G. Wtllie, Theory of Polarization and Absorption in Dielectrics; An Introductory Survey, Vol٢, Heywood and Company Ltd. London, ١٩٦٠.
٣٦. M. Mason and W. Wearer, The Electromagnetic Field, Chicago University Press, ١٩٢٩.
٣٧. J. C. Burfoot and G. W. Taylor, Polar Dielectrics and their Applications, The Macmillan Press Ltd. London, ١٩٧٩.
٣٨. A. V. Hippel, Dielectric Materials and Applications, The Technology Press of MIT, ١٩٥٤.

٣٩. J. Mort, Electronic Transport in Disordered Molecular Solids, Present- ed at the Eight Symposium on Electrical Insulation, Tokyo, Japan, ١٩٧٥.
٤٠. W. E. Anderson and R. S. Davis, IEEE Transactions on Electrical Insulation, ١٢, ١, (١٩٧٧).
٤١. M. D. A. Bolland; A. M. Posner, and J. P. Quirk, Clays and Clay Minerals, ٢٨, ٦, (١٩٨٠).
٤٢. H. Yilmaz; S. Guller and C. Guller, Physica Scripta, ٥٩, ٨٠, (١٩٩٩).
٤٣. G. Jozefaciuk and G. Bowanko, Clays and Clay Minerals, ٥٠, ٦, (٢٠٠٢).
٤٤. G. Jozefaciuk; C. Hoffmann and B. Marschner, J. Plant Nutr. Soil Sci., ١٦٥, ٥٩-٦٦, (٢٠٠٢).
٤٥. H. Heller and R. Keren, Soil Sci. Soc. Am. J., ٦٦, ١٩-٢٥, (٢٠٠٢).
٤٦. F. W. Chichester; M. E. Harward and C. T. Youngberg, Clays and Clay Minerals, ١٨, ٨١-٩٠, (١٩٧٠).
٤٧. A. Bleier and C. Gary Westmmoreland, J. Am. Ceram. Soc. ٧٤, ١٢, (١٩٩١).
٤٨. B. K. G. Theng, The Chemistry of Clay-Organic Reactions, Adam Hilger ltd., Lo-ndon, ١٩٧٤.
٤٩. D. J.Greenland, Journal of Colloidal Science, ١٨, ٦٤٧-٦٦٤, (١٩٦٣).
٥٠. C. A. ,Finch, Polyvinyl Alcohol, Properties and applications ,John Wiely and Sons, London, (١٩٧٣).
٥١. شروق صبالح عبد العباس، دراسة الخواص الفيزيائية للعازل ذي الجهد العالي، رسالة ماجستير، جامعة الكهربائي السيراميكي بابل، ٢٠٠٢.
٥٢. الخزرجي، قحطان خلف، مباديء هندسة المواد اللامعدنية، جامعة بابل، ١٩٩٤.
٥٣. زاير، سعد، قاسم، سالم، نوح، يعقوب، تقرير رقم ١٧٣٤، الشركة العامة (١٩٨٧) للمسح لجيولوجي، .
٥٤. H. P. Klug, and L. E. Alexander, X-Ray Diffraction Procedures for Polycrytlaine and Amorphous Materials , second edition, John Wiley & son, New York, ١٩٧٤.
٥٥. J. R. Taylor and A. C. Bull, Ceramics Glaze Technology, ١st Edition, Pergamon Press, (١٩٨٦).

٥٦. محمد قاسم سلمان، تأثير الحجم الحبيبي لمادة فلدسبار البوتاسيوم على للبورسلين عالي الصهر، رسالة ماجستير، الجامعة الخواص الفيزيائية المستنصرية، (٢٠٠٣).
٥٧. G.Y. Onoda & L. L. Hench, Ceramic Processing Before Firing, John Wiley & Son, (١٩٧٨).
٥٨. Singer, F., and Singer, S. S., Industrial Ceramics, Chapman and Hall LTD, London, (١٩٦٣).
٥٩. ASTM Designation D١٣٧١-٦٨, Cleaning plastic specimens for Insulation resistance, Surface resistance and volume resistivity testing.
٦٠. ASTM Designation D٢٥٧-٦٦, Standard methods of test for DC Resistance of Insulating Materials.
٦١. فؤاد عبد المهدي، دراسة الخواص العزلية لبعض الأجسام السيراميكية رسالة ماجستير، الجامعة المستنصرية، عند الترددات الواطئة، (١٩٧٩).