

تحضير كوبوليمر الستايرين - ثنائي فاينيل بنزين الحامل لمجموعة كلوريد المثليل

مثل ضايف السبتي، وجواد كاظم جواد
شركة ابن سينا العامة - هيئة التصنيع العسكري - العراق

الخلاصة

تم في هذا البحث تثبيت افضل الظروف لإجراء عملية ادخال مجموعة كلوريد المثليل على الحلقة البنزينية في كوبوليمر الستايرين - ثنائي فاينيل بنزين باستخدام مادة كلورومثليل ايثر. البحث تضمن دراسة عدة أنواع من العوامل المساعدة ونسب إضافتها الى الكوبوليمر، تأثير استخدام المذيبات كعوامل نافخة، تأثير تغير درجة الحرارة، وكذلك تغير زمن التفاعل. كما تم دراسة تغير نسبة إضافة الكلورومثليل ايثر كمادة نافخة وتزود وسط التفاعل بمجموعة كلوريد المثليل. القياسات الفيزيائية أثبتت بان المبادلات المحضرة تمتلك مواصفات مطابقة للمبادلات التجارية.

المقدمة

إن عملية (chloromethylation) ويرمز لها (CM) تعني إدخال مجموعة كلوريد المثليل ($--CH_2Cl$) على الحلقة الاروماتية المكونة للسلاسل البوليمرية لحبيبة كوبوليمر (الستايرين - ثنائي فاينيل بنزين) باستخدام مادة الكلورومثليل ايثر (CMME) بوجود احد حوامض لويس مثل (كلوريد الالمنيوم، كلوريد القصديريك، كلوريد الزنك) الالمانية(1). وحسب تفاعل الالكلة لفريدل- كرافت يعتبر هذا التفاعل من التفاعلات المعقدة التي لا يمكن السيطرة على درجة ادخال مجموعة كلوريد المثليل للأسباب التالية:

1. حصول انخفاض في سرعة تفاعل (CM) كلما تزداد نسبة (mono chloromethylation).

2. حصول تفاعلات جانبية بين حلقات البنزين الحرة وبين حلقات البنزين الحاملة لمجموعة كلوريد المثليل وخاصة أثناء زيادة نسبة (CM)، وهذا يؤدي الى تكون جسور مثليية ($--CH_2--$)(2).

3. إن التفاعلات الجانبية التي تحصل في النقطة رقم (2) أعلاه وتكون الجسور المثليية سوف تؤدي الى زيادة في درجة تشابك الكوبوليمر وبالتالي انخفاض درجة انتفاخه ومساميته وبالتالي تؤدي إلى خروج الجزيئات العضوية الكبيرة من الحبيبة أثناء عملية تنشيط المبادل الايوني(3). كما إن هذه التفاعلات الجانبية تؤدي الى انخفاض في نسبة مجاميع كلوريد المثليل الداخلة على هيكل الكوبوليمر وبالتالي تقلل من المجاميع الفعالة المتواجدة في المبادل الايوني النهائي لذا يكون المبادل ذو كفاءة وسعة تبادلية قليلة(4,5).

وتلغيا لهذه المشاكل وتقليل أثرها في عملية (CM)، استخدمت بعض المذيبات او مادة (CMME) كمواد نافخة لحبيبات الكوبوليمر بعدها تجري عملية (CM) بإضافة الكمية المطلوبة من (CMME) والعامل المساعد. أما بعد تحضير الكوبوليمرات المسامية فقد لوحظ أن درجة (CM) ازدادت قليلا مع انخفاض نسبة حصول التفاعلات الجانبية والتشابك الإضافي

بسبب وجود المسامات والفجوات بين السلاسل البوليمرية التي تبعد بعضها عن البعض الآخر.

من المعروف إن ادخال مجموعة الالكيل الى الحلقات الاروماتية حسب تفاعل الالكلة لفريدل- كرافت يقود الى تشابك إضافي(6) وان حدوث هذا التشابك يسبب انخفاض في نسبة مجاميع الكلورومثليل المرتبطة بالكوبوليمر وان هذا التفاعل الجانبي (التشابك الإضافي) يعتمد بصورة رئيسية على نسبة الثنائي فاينيل بنزين (DVB) الداخلة حيث يزداد بزيادة نسبة (DVB) والعكس صحيح.

وبجانبا تفاعل الالكلة لفريدل كرافت يحدث تفاعل آخر يزيد من عملية التشابك الإضافي يعرف باللمرة الكتأيونية للأصرة المزدوجة الثانية غير المتفاعلة في (DVB) حيث أن اللمرة الكتأيونية تحدث على ضوء نفس الميكانيكية العامة للتفاعلات ذات النمو المتسلسل. إن هذا التفاعل (اللمرة الكتأيونية) يعتمد على نسبة (DVB) حيث يقل هذا التفاعل ويصبح محدداً بانخفاض نسبة (DVB). وتقل احتمالية تواجد الأصرة المزدوجة الثانية غير المتفاعلة في (DVB) حيث تستهلك معظمها في عملية التشابك أثناء اللمرة. لقد وجد أن التشابك الإضافي ينتج عن عاملين أساسيين هما:

1. طاقة الانتفاخ العالية لمادة (CMME).

2. معدل السرعة العالي والفعالية لعملية اللمرة الكتأيونية.

ومن العوامل الأخرى التي تؤثر على عملية التشابك الإضافي هي: (درجة الحرارة، طبيعة وكمية العامل المساعد، وجود المذيبات). يرافق عملية (CM) جهد ميكانيكي عالي ناتج بصورة رئيسية عن زيادة في كثافة التشابك والتي ترافقها تغيرات مهمة في هيكل المبادل (7) مثل :

1. انخفاض المساحة السطحية للمبادل سواء كانت كمية (DVB) واطنة او عالية.

2. انخفاض حجم القنوات.

الجزء العملي المواد المستخدمة

المواد المستخدمة عبارة عن كواشف تحليلية (Analytical reagents) استخدمت بالصيغة التي استلمت بها من المجهز (شركة Fluka) وبعضها تم تقطيره قبل الاستخدام (الستارين و DVB).

القياسات الفيزيائية

تم تعيين المساحة السطحية وحجم وسعة القنوات بالطريقة المنشورة في المصدر (8) باستخدام جهاز (Sorpotomatic Series 1800) وجهاز (Mercury Porosimetry 9320 Oxygen). تم تعيين نسبة الكلور باستخدام طريقة (Flask Combustion Technique). أما بقية الخواص والتي شملت الكثافة الظاهرية، الكثافة الحقيقية، المحتوى المائي، السعة التبادلية، معامل النفاذية فقد تم تعيينها بالطرق الموضحة في المصدر (9). تم قياس السعة التبادلية كما في أدناه:

تمثل السعة التبادلية الكلية للمبادل الأيوني عدد مكافئات الأيونات السالبة التي تتبادل مع (1 غم) من المبادل الأيوني الجاف أو (1 ملتر) من المبادل الأيوني الرطب وتتم هذه الطريقة بوضع وزن معين من المبادل الأيوني الجاف أو حجم معين من المبادل الأيوني الرطب ونقله لعمود. بعدها يحول المبادل إلى صيغة (OH) وذلك بامرار محلول (NaOH) عليه بعدها يمرر محلول كلوريد الصوديوم بتركيز وحجم ثابتين ومن حساب الفرق في عدد مكافئات أيون الكلوريد المتبادلة مع أيون الهيدروكسيد تقاس السعة التبادلية الكلية وحسب القانون التالي:

السعة التبادلية الكلية = عدد مكافئات الأيون السالب + وزن المبادل الجاف (ملي مول/غم من المبادل الجاف)

السعة التبادلية الكلية = عدد مكافئات الأيون السالب + حجم المبادل الرطب (ملي مول/سم³ من المبادل الرطب)

طريقة العمل

تم إجراء عددا من التجارب المختبرية التي شملت استخدام أنواع ونسب مختلفة من العوامل المساعدة (حامض لويس) وكذلك استخدام مذيبات مختلفة مع دراسة تأثير تغير درجة الحرارة وزمن التفاعل لمعرفة كفاءة عملية (CM) من خلال متابعة نسبة الكلور الداخلة على هيكل الكوبوليمر وقياسات السعة التبادلية الكلية للمبادلات النهائية.

أ. طبيعة العامل المساعد

تم اتباع طريقة العمل التالية والنتائج موضحة في جدول رقم (1):

أولاً. يمزج (10) غم من الكوبوليمر الجاف مع (40) ملتر من مادة (CMME) في دورق دائري مزود بمكثف ويترك لمدة ساعتين في مكان بارد لكي ينتفخ الكوبوليمر.

ثانياً. يتم إضافة العامل المساعد بنسبة (80%) الى وزن الكوبوليمر على شكل دفعات صغيرة في دورق مخروطي مبرد يحتوي على (20) ملتر من مادة (CMME) لان هذا التفاعل يولد حرارة عالية قد تؤدي الى تبخر مادة (CMME)، ثم يضاف هذا المزيج تدريجياً للكوبوليمر المنتفخ (المحضر بالخطوة أ) مع التبريد وعلى شكل دفعات لمدة (20) دقيقة.

ثالثاً. ترفع درجة الحرارة الى (50 °م) وتثبت لمدة (5) ساعات، بعدها نبرد ونرشح.

رابعاً. نفرغ محتويات الدورق في بيكر يحتوي على كمية من الماء المثلج ثم نرشح ونغسل بحوالي (100) ملتر من محلول مكون من (دايوكسان - ماء) بنسبة (50%) لكل منهما بعدها نغسل بحوالي (100) ملتر من محلول مكون من (دايوكسان - 10% حامض HCl) بنسبة (50%) لكل منهما واخيراً نغسل بمذيب الدايوكسان (100) ملتر، وتترك حبيبات الكوبوليمر لتنتفخ بالدايوكسان.

ب. تغير نسبة العامل المساعد:

أجريت ثلاث تجارب حيث تم تغيير نسب العامل المساعد الداخلة في عملية التحضير الى وزن الكوبوليمر الجاف باستخدام نفس ظروف التجربة أعلاه وكما يلي، الجدول رقم (2):

أولاً. استخدام نسبة (35%) من العامل المساعد الى الكوبوليمر.

ثانياً. استخدام نسبة (60%) من العامل المساعد الى الكوبوليمر.

ثالثاً. استخدام نسبة (80%) من العامل المساعد الى الكوبوليمر.

النتائج والمناقشة

إن الطريقة المثلى لإدخال مجموعة كلوريد المثيل على الحلقات البنزينية في هيكل الكوبوليمر هي عملية (CM) باستخدام مادة (CMME) مع احد حوامض لويس كعامل مساعد (10) حيث تعطي نسبة تحول عالية تصل الى اكثر من (93%). في هذه الطريقة يجب استخدام بعض المذيبات او (CMME) كمادة نافخة لحبيبات الكوبوليمر وذلك لابعاد السلاسل البوليمرية بعضها عن البعض الآخر ومنع حدوث تفاعل التشابك الإضافي عند وصول عملية (CM) لمراحلها النهائية وخفض نسبة مجاميع كلوريد المثيل الداخلة وكما ذكر في المقدمة.

الاستنتاجات

1. تثبيت افضل الظروف لإدخال مجموعة كلوريد المثل على حلقة البنزين في هيكل كوبوليمر الستايرين- ثنائي فائينيل بنزين باستخدام مادة كلوروميثيل ايثر بوجود عامل مساعد.
2. تم استخدام ثلاثة أنواع من العوامل المساعدة (كلوريد الخارصين، كلوريد القصديريك، كلوريد الألمنيوم) اللامائية وكان الأخير هو الأفضل.
3. استخدام نسب مختلفة من العامل المساعد (35%، 60%، 80%) وكانت نسبة (80%) الأفضل.
4. درجة الحرارة لها تأثير حيث لوحظ أن زيادة درجة الحرارة (50 م°) يعطي نسبة تحول عالية (93%).
5. زيادة نسبة CMME إلى الكوبوليمر تعطي نسبة تحول جيدة عندما تكون النسبة (1:6).
6. عند استخدام المذيبات كمواد نافخة للكوبوليمر مثل (ثنائي كلوريد الايثيلين، الايثر البترولي، كلوروميثيل ايثر)، اتضح أن الأخير هو الأفضل.

المصادر

1. Diaion; "Manual of Ion and Synthetic Adsorbent", part I, Mitsubishi Chem. Corporation, Separation Materials Department, June, 1995.
2. Vavon, B. and Clain, D.; Bull. Soc. Chim.; 6, 1025, 1939.
3. Kevin Blaxal, "Structure of Ion Exchange Resins and Exchange Principles", Purolite Company, 1995
4. Helfferich, F. G.; in "Ion Exchange"; McGraw Hill, London, 1962.
5. Peper, K.W., Paisley, H., M., and Young, M., A.; J. Chem. Soc.; 4097, 1953.
6. Guyot, A. and Bartholin, M.; Prog. Polym. Sci., vol. 8, 1982.
7. Bungah @ Rpi. Edu. WedMar., "Chemistry of Ion Exchange Polymers", 1995, (Internet).
8. Brunaver, S., Emmett, P.H. and Teller, E.; J. Amer. Chem. Soc. 60.309.1938.
9. Rieman, W.; "Ion Exchange in Analytical Chemistry", Pergamon Press, 1970.
10. Warshawsky, A., and Deshe, A.; Israel Patent Application; 58419, 1979.
11. الكيمياء الفيزيائية: تأليف ك. ك. شارما و ل. ك. شارما، ترجمة صبحي الدليمي وناهدة الجبلي، 1985

تم اجراء العديد من التجارب المختبرية لدراسة جميع الظروف المؤثرة على عملية (CM) حيث تضمنت:

تغير طبيعة العامل المساعد. استخدمت كلوريدات الألمنيوم والزنك والقصدير اللامائية على حد سواء ولوحظ أن هذه المواد تعمل بكفاءة جيدة وذلك من خلال متابعة نسبة التحول والسعة التبادلية الكلية للمبادل المحضر وكما موضح بالجدول رقم (1).

تغير نسبة العامل المساعد. من خلال دراسة ميكانيكية تفاعل (CM) نلاحظ بأن العامل المساعد يتحد مع احد المواد المتفاعلة ليكون مركب وسطي الذي يمتلك طاقة واطنة او اقل من طاقة التنشيط المطلوبة في حالة عدم استعمال عامل مساعد. ومن خلال هذا يمكن القول بأن زيادة نسبة العامل المساعد سوف تقود الى زيادة عدد مجاميع الكلوروميثيل التي باستطاعتها اختراق الحد الفاصل للطاقة الجديد أكثر فأكثر ويعتبر هذا التفاعل من التفاعلات التحفيزية المتجانسة حيث انه بزيادة تركيز العامل المساعد تزداد سرعة التفاعل (11). عند زيادة نسبة كلوريد الألمنيوم الى الكوبوليمر (0.8 : 1) في التجربة رقم (3)، جدول رقم (2)، تم الحصول على نسبة تحول أعلى وسعة تبادلية عالية للمبادل الايوني النهائي.

تأثير وجود مذيب. حيث لوحظ من خلال التجربة إن استخدام المذيبات يقود الى انخفاض في نسبة التحول وهذا يعود الى إن المذيبات الهيدروكاربونية تقلل او تخفض سرعة التفاعل وكما موضحة بالجدول رقم (3).

تأثير درجة الحرارة. ولدراسة تأثير درجة الحرارة على التفاعل أجريت عدد من التجارب بهذا الاتجاه حيث لوحظ أن ارتفاع درجة الحرارة يعطي زيادة في نسبة التحول لما لعامل الحرارة من تأثير ملحوظ على سرعة التفاعل ولكونه يزود جزيئات المواد المتفاعلة بطاقة إضافية تجعل عملية التفاعل والوصول الى النواتج بسرعة (11) وكما موضحة النتائج في الجدول رقم (4).

تأثير عامل الزمن. أما بالنسبة الى زيادة زمن التفاعل حيث نلاحظ أن التفاعل سريع في درجة غليان المحلول وان التفاعل يتم بصورة شبه كلية في الساعة الأولى من التفاعل وكما موضحة في الجدول رقم (5).

تأثير تغير نسبة (CMME). أما بالنسبة الى تغير نسبة (CMME) الى المبادل فيلاحظ انه بزيادة هذه النسبة تزداد نسبة التحول وكما مشار لها في الجدول رقم (6) وسبب ذلك يعود الى طاقة الانتفاخ لمادة (CMME) تعطي فرصة افضل لانتفاخ المبادل الى أقصى الحدود وبالتالي ابتعاد حلقات الستايرين عن بعضها مما يقلل من فرص حدوث التشابك الإضافي (3). كما أن زيادة تركيز (CMME) يؤدي الى زيادة قدرته على الانتشار الى السلاسل البوليمرية العميقة في داخل حبيبة المبادل.

الاستنتاجات

1. تثبيت افضل الظروف لإدخال مجموعة كلوريد المثلث على حلقة البنزين في هيكل كوبوليمر الستايرين- ثنائي فاينيل بنزين باستخدام مادة كلوروميثيل إيثر بوجود عامل مساعد.
2. تم استخدام ثلاثة أنواع من العوامل المساعدة (كلوريد الخارصين، كلوريد القصديريك، كلوريد الألمنيوم) اللامائية وكان الأخير هو الأفضل.
3. استخدام نسب مختلفة من العامل المساعد (35%، 60%، 80%) وكانت نسبة (80%) الأفضل.
4. درجة الحرارة لها تأثير حيث لوحظ أن زيادة درجة الحرارة (50 °م) يعطي نسبة تحول عالية (93%).
5. زيادة نسبة CMME إلى الكوبوليمر تعطي نسبة تحول جيدة عندما تكون النسبة (1:6).
6. عند استخدام المذيبات كمواد نافخة للكوبوليمر مثل (ثنائي كلوريد الايثيلين، الايثر البترولي، كلوروميثيل إيثر)، اتضح أن الأخير هو الأفضل.

المصادر

1. Diaion; "Manual of Ion and Synthetic Adsorbent", part I, Mitsubishi Chem. Corporation, Separation Materials Department, June, 1995.
2. Vavon, B. and Clain, D.; Bull. Soc. Chim.; 6, 1025, 1939.
3. Kevin Blaxal, "Structure of Ion Exchange Resins and Exchange Principles", Purolite Company, 1995
4. Helfferich, F. G.; in "Ion Exchange"; McGraw Hill, London, 1962.
5. Peper, K.W., Paisley, H., M., and Young, M., A.; J. Chem. Soc.; 4097, 1953.
6. Guyot, A. and Bartholin, M.; Prog. Polym. Sci., vol. 8, 1982.
7. Bungah @ Rpi. Edu. WedMar., "Chemistry of Ion Exchange Polymers", 1995, (Internet).
8. Brunaver, S., Emmett, P.H. and Teller, E.; J. Amer. Chem. Soc. 60.309.1938.
9. Rieman, W.; "Ion Exchange in Analytical Chemistry", Pergamon Press, 1970.
10. Warshawsky, A., and Deshe, A.; Israel Patent Application; 58419, 1979.
11. الكيمياء الفيزيائية: تأليف ك. ك. شارما و ل. ك. شارما، ترجمة صبحي الدليمي وناهدة الجلبي، 1985

تم اجراء العديد من التجارب المختبرية لدراسة جميع الظروف المؤثرة على عملية (CM) حيث تضمنت:

تغير طبيعة العامل المساعد. استخدمت كلوريدات الألمنيوم والزنك والقصدير اللامائية على حد سواء ولوحظ أن هذه المواد تعمل بكفاءة جيدة وذلك من خلال متابعة نسبة التحول والسعة التبادلية الكلية للمبادل المحضر وكما موضح بالجدول رقم (1).

تغير نسبة العامل المساعد. من خلال دراسة ميكانيكية تفاعل (CM) نلاحظ بأن العامل المساعد يتحد مع احد المواد المتفاعلة ليكون مركب وسطي الذي يمتلك طاقة واطنة او اقل من طاقة التنشيط المطلوبة في حالة عدم استعمال عامل مساعد. ومن خلال هذا يمكن القول بأن زيادة نسبة العامل المساعد سوف تقود الى زيادة عدد مجاميع الكلوروميثيل التي باستطاعتها اختراق الحد الفاصل للطاقة الجديد اكثر فأكثر ويعتبر هذا التفاعل من التفاعلات التحفيزية المتجانسة حيث انه بزيادة تركيز العامل المساعد تزداد سرعة التفاعل (11). عند زيادة نسبة كلوريد الألمنيوم الى الكوبوليمر (0.8 : 1) في التجربة رقم (3)، جدول رقم (2)، تم الحصول على نسبة تحول أعلى وسعة تبادلية عالية للمبادل الايوني النهائي.

تأثير وجود مذيب. حيث لوحظ من خلال التجربة إن استخدام المذيبات يقود الى انخفاض في نسبة التحول وهذا يعود الى إن المذيبات الهيدروكاربونية تقلل او تخفض سرعة التفاعل وكما موضحة بالجدول رقم (3).

تأثير درجة الحرارة. ولدراسة تأثير درجة الحرارة على التفاعل أجريت عدد من التجارب بهذا الاتجاه حيث لوحظ أن ارتفاع درجة الحرارة يعطي زيادة في نسبة التحول لما لعامل الحرارة من تأثير ملحوظ على سرعة التفاعل ولكونه يزود جزيئات المواد المتفاعلة بطاقة إضافية تجعل عملية التفاعل والوصول الى النواتج بسرعة (11) وكما موضحة النتائج في الجدول رقم (4).

تأثير عامل الزمن. أما بالنسبة الى زيادة زمن التفاعل حيث نلاحظ أن التفاعل سريع في درجة غليان المحلول وان التفاعل يتم بصورة شبه كلية في الساعة الأولى من التفاعل وكما موضحة في الجدول رقم (5).

تأثير تغير نسبة (CMME). أما بالنسبة الى تغير نسبة (CMME) الى المبادل فيلاحظ انه بزيادة هذه النسبة تزداد نسبة التحول وكما مشار لها في الجدول رقم (6) وسبب ذلك يعود الى طاقة الانتفاخ لمادة (CMME) تعطي فرصة افضل لانتفاخ المبادل الى أقصى الحدود وبالتالي ابتعاد حلقات الستايرين عن بعضها مما يقلل من فرص حدوث التشابك الإضافي (3). كما أن زيادة تركيز (CMME) يؤدي الى زيادة قدرته على الانتشار الى السلاسل البوليمرية العميقة في داخل حبيبة المبادل.

جدول رقم (1) دراسة الظروف المؤثرة في عملية (CM) من حيث طبيعة العامل المساعد. درجة الحرارة (50 م°)، زمن التفاعل (5) ساعة.

رقم التجربة	العامل المساعد المستخدم	العامل المساعد الى الكوبوليمر	(CMME) الى الكوبوليمر	نسبة الكلوريد (%)	نسبة التحول (%)	السعة التبادلية ملي مول/غم (وزن جاف)
1	AlCl ₃	1 : 0.8	1 : 6	21.8	93.9	3.8
2	ZnCl ₂	1 : 0.8	1 : 6	21.1	90.9	3.5
3	SnCl ₄	1 : 0.8	1 : 6	20.5	88.3	3.6

ملاحظة: السعة التبادلية لمبادل أيوني تجاري نوع (Relite 3AS) - 3.8 ملي مول/غم وزن جاف

جدول رقم (2) دراسة الظروف المؤثرة في عملية (CM) من حيث تغيير نسبة العامل المساعد. درجة الحرارة (50 م°)، زمن التفاعل (5) ساعة.

رقم التجربة	العامل المساعد المستخدم	العامل المساعد الى الكوبوليمر	(CMME) الى الكوبوليمر	نسبة الكلوريد (%)	نسبة التحول (%)	السعة التبادلية ملي مول/غم (وزن جاف)
1	AlCl ₃	1 : 0.35	1 : 6	20.0	84.1	2.8
2	AlCl ₃	1 : 0.6	1 : 6	20.7	88.2	3.2
3	AlCl ₃	1 : 0.8	1 : 6	21.8	93.9	3.8

جدول رقم (3) دراسة الظروف المؤثرة في عملية (CM) من حيث تغيير المذيب كعامل نافخ. العامل المساعد (AlCl₃)، درجة الحرارة (50 م°)، زمن التفاعل (5) ساعة.

رقم التجربة	المذيب المستخدم	العامل المساعد الى الكوبوليمر	(CMME) الى الكوبوليمر	نسبة الكلوريد (%)	نسبة التحول (%)
1	كلورومثيل مثيل ايثر	1 : 0.8	1 : 6	21.8	93.9
2	ثنائي كلوريد الاثلين	1 : 0.8	1 : 6	16.1	69.4
3	الايثر البترولي	1 : 0.8	1 : 6	14.85	55.5

جدول رقم (4) دراسة الظروف المؤثرة في عملية (CM) من حيث تغيير درجة الحرارة. العامل المساعد (AlCl₃)، زمن التفاعل (5) ساعة.

رقم التجربة	درجة الحرارة (م°)	العامل المساعد الى الكوبوليمر	(CMME) الى الكوبوليمر	نسبة الكلوريد (%)	نسبة التحول (%)
1	5	1 : 0.8	1 : 6	15.7	67.67
2	25	1 : 0.8	1 : 6	16.6	71.55
3	50	1 : 0.8	1 : 6	21.8	93.9

جدول رقم (5) دراسة الظروف المؤثرة في عملية (CM) من حيث تغير زمن التفاعل.
العامل المساعد (AlCl₃)، درجة الحرارة (50 م°).

نسبة التحول (%)	نسبة الكلوريد (%)	(CMME) الى الكوبوليمر	العامل المساعد الى الكوبوليمر	زمن التفاعل (ساعة)	رقم التجربة
84.4	19.6	1 : 6	1 : 0.8	1	1
93.9	21.8	1 : 6	1 : 0.8	5	2
96.1	22.3	1 : 6	1 : 0.8	10	3
95.0	22.05	1 : 6	1 : 0.8	24	4

جدول رقم (6) دراسة الظروف المؤثرة في عملية (CM) من حيث تغير نسبة (CMME) الى الكوبوليمر.
العامل المساعد (AlCl₃)، درجة الحرارة (50 م°)، زمن التفاعل (5 ساعة).

نسبة التحول (%)	نسبة الكلوريد (%)	(CMME) الى الكوبوليمر	العامل المساعد الى الكوبوليمر	رقم التجربة
80.1	18.6	1 : 2	1 : 0.8	1
79.3	18.4	1 : 4	1 : 0.8	2
93.9	21.8	1 : 6	1 : 0.8	3
88.9	20.64	1 : 8	1 : 0.8	4