

Synthesis of alkene from phosphorus ylide based on the Wittig reaction

Hanaa Al-Basha * 

Dr. Abdul Karim Al-Hamad**

Dr. Imad Hawija***

(Received 1 / 7 / 2025. Accepted 26 / 8 / 2025)

□ ABSTRACT □

In this research, a new method was developed for the preparation of phosphonium salt (benzyl triphenyl phosphonium chloride salt) by studying the effect of solvents on the reaction efficiency. The results showed that using ethyl acetate as a solvent resulted in a low yield of 22%. When adding toluene at a ratio of 20% to ethyl acetate (80:20 ratio), the yield improved to 53%. When the ratio was adjusted to 50% ethyl acetate and 50% toluene, the yield increased significantly to 81%. The best results were obtained when using toluene as the main solvent, where the yield reached 93%, proving that toluene is the optimal choice for this reaction. The resulting phosphonium salt was then reacted with sodium hydroxide solution to produce phosphorane, which was used to synthesize three alkenes by reacting with Methyl phenyl ketone, acetylacetone, and benzaldehyde, respectively:

(Prop-1-ene-1,2-diylidibenzene-(E)), (4-methyl-5-phenylpent_4_ene_2_one)
(1,2-Diphenylethylene).

Keywords: toluene ,ethyl acetate ,phosphonium salt ,ketone, alkene.



Copyright :Latakia University journal (formerly tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Master's Student, Department of Chemistry, University of Latakia(formerly tishreen) , Latakia, Syria. haaaalbashaa3@gmail.com

**Professor, Department of Chemistry, University of Latakia(formerly tishreen) , Latakia, Syria.

Associate Professor, Department of Chemistry, University of Latakia(formerly tishreen) , Latakia,

***Syria.

اصطناع ألكن انطلاقاً من إيليد الفوسفوران الثابت بالاعتماد على تفاعل فيتينغ

هنا الباشا* 

د. عبد الكريم الحمد**

د. عماد حويجة***

(تاريخ الإيداع 2025 / 7 / 1. قُبِلَ للنشر في 2025 / 8 / 26)

□ ملخص □

يُعد تفاعل فيتينغ (Wittig) من بين أكثر التفاعلات الكيميائية أهمية في مجال الاصطناع العضوي، حيث يشكل أداة أساسية لاصطناع الروابط المضاعفة بشكل انتقائي وفعال. وفي هذا البحث تم تطوير طريقة جديدة لتحضير ملح الفوسفونيوم (ملح كلوريد بنزول ثلاثي فينيل الفوسفونيوم) من خلال دراسة تأثير المذيبات على كفاءة التفاعل، حيث أظهرت النتائج أن استخدام أسيتات الإيثيل كمذيب أدى إلى مردود منخفض بلغ 22%، عند إضافة التولوين بنسبة 20% إلى أسيتات الإيثيل (نسبة 80:20) تحسن المردود إلى 53% وعند تعديل النسبة إلى 50% أسيتات الإيثيل و50% تولوين ارتفع المردود بشكل ملحوظ إلى 81%، أفضل النتائج تم الحصول عليها عند استخدام التولوين كمذيب رئيسي حيث وصل المردود إلى 93% مما يثبت أن التولوين هو الخيار الأمثل لهذا التفاعل. بعد ذلك تم مفاعلة ملح الفوسفونيوم الناتج مع محلول هيدروكسيد الصوديوم لإنتاج الفوسفوران. الذي، استخدم لاصطناع ثلاثة ألكنات بمفاعلاته مع ميثيل فينيل كيتون، أسيتيل أسيتون، والبنز ألدهيد على الترتيب وهي:

((E))، (Prop-1-ene-1,2-diylDibenZene- (E))، (4-methyl-5-phenylpent_4_ene_2_one)،
((1,2-Diphenylethylene)).

الكلمات المفتاحية: فيتينغ، ألكن، ملح الفوسفونيوم ، فوسفوران.

حقوق النشر  : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

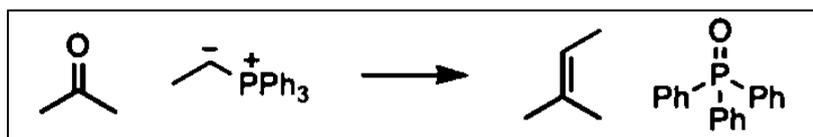
* طالب ماجستير، قسم الكيمياء، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سوريا. hanaaa1basha3@gmail.com

** أستاذ، قسم الكيمياء، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سوريا.

*** أستاذ مشارك، قسم الكيمياء، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سوريا.

مقدمة:

أثار اصطناع الروابط المضاعفة (الألكينات) ولسنوات عديدة اهتمام المجتمع العلمي، فكانت ولا تزال موضوعاً مهماً للدراسات النظرية والتجريبية المتنوعة والمعمقة بالخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد، والتي أعطت بعداً آخر للتطور العلمي والتكنولوجي، وذلك نظراً للتنوع الكبير في التراكيب الكيميائية التي تجعلها مواداً ممتازة متعددة الوظائف، وقابلة للتطبيق في مجالات مختلفة. [1][2][3] يعد "تفاعل فيتينغ" من أبرز التفاعلات اللازمة لاصطناع الألكينات. [4] حيث يستخدم فيه مركب كربونيلي (الكتروفيل) يتفاعل مع مركب "إيليد الفوسفونيوم" (نكليوفيل) ليعطي ألكين وأوكسيد الفوسفين، في حين أن العديد من الطرائق الأخرى لاصطناع الألكينات التي يمكن أن تتم عبر تفاعلات الإضافة أو الحذف مثل: (تفاعلات E_1 أو E_2 من الكحولات أو هاليدات الألكيل)، يكون الناتج عبارة عن مزيج من الألكينات وبالتالي يتم إضاعة جزء لا بأس به من الذرات الداخلة في التفاعل ولا يمكن تحديد الناتج بشكل دقيق. أما في تفاعل فيتينغ فيتم تحديد موقع الرابطة المضاعفة بشكل دقيق، وبالتالي يمكننا اصطناع مركبات مهمة (صناعية، صيدلانية) مع إمكانية الاختصار في هدر الذرات. [5][6][7][8] ومن هنا تولدت الدراسات لاصطناع ألكينات جديدة والتحسين من خصائصها باستخدام هذا التفاعل. [9][10][11]



الشكل (1): المعادلة العامة لتفاعل فيتينغ.

أهمية البحث:

يعد هذا التفاعل الطريقة الأكثر كفاءة ودقة لتحويل المركبات الكربونيلية (ألدهيدات_كيتونات) إلى الكينات عبر تكوين الرابطة (كربون_كربون) المضاعفة مما يجعله أساسياً في:

1. اصطناع الجزيئات العضوية المعقدة (مثل المنتجات الطبيعية والأدوية).
2. دراسة العلاقة بين البنية والنشاط الكيميائي (Structure_Activity Relationship).
3. نموذج يدرس آليات تكوين الروابط باستخدام إيليدات الفوسفور (Phosphorus ylides).
4. التحكم في الانتقائية الفراغية (stereoselectivity) لتكوين ألكينات (cis or trans).

أهداف البحث:

يهدف البحث إلى:

- (A) اصطناع مركب الفوسفونيوم الام (بنزيل ثلاثي فينيل فوسفونيوم كلورايد) لأول مرة بمردود >90% ، عبر تحسين منهجي لظروف التفاعل مع التركيز على نسب المذيبات المستخدمة كمحدد أساسي لاصطناع الفوسفوران من ملح الفوسفونيوم المحضر باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم.
- (B) استخدام الفوسفوران المحضر في اصطناع ثلاثة ألكينات عبر تفاعلات فيتينغ مع كواشف كربونيلية وهي:
 - 1) اصطناع الألكين الأول (E)-Prop-1-ene-1,2-diylidibenZene) بتفاعل الفوسفوران مع (acetophenone) (ميثيل فينيل كيتون).

(2) اصطناع الألكن الثاني (4-methyl-5-phenylpent_4_ene_2_one) يتفاعل الفوسفوران مع (-2,4-Pentane dione) (أسيتيل أسيتون).

(3) اصطناع الألكن الثالث (1,2-Diphenylethylene) من الشكل trans يتفاعل الفوسفوران مع البنزالدهيد (phenylmethanal).

تم توصيف المركبات المصنعة باستخدام تقنيات مطيافية مثل: $^1\text{H NMR}$, $^{13}\text{C NMR}$, IR.

طرائق البحث ومواده:

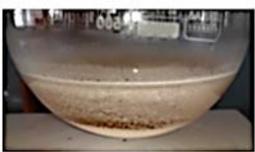
المواد المستخدمة:

ثلاثي فينيل الفوسفين، كلوريد البنزيل، أسيتات الإيثيل، التولوين، هيدروكسيد الصوديوم، الماء (ماء مقطر)، ثنائي كلورو الميثان، الهكسان، البنتان، الأسيتونيتريل، ثنائي إيثيل الإيثر، البنزالدهيد، الأسيتون، ميثيل فينيل كيتون، الأسيتيل أسيتون.

الطريقة:

اصطناع ملح الفوسفونيوم:

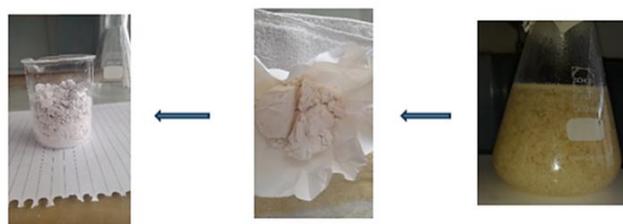
أخذ (10.48 g = 0.04 mol) من ثلاثي فينيل الفوسفين ووضع في حوجلة مصنفة ثنائية الفتحة سعة (500 ml)، وأضيف له (5.1 g) من كلوريد البنزيل، ثم أُضيف:

			
تولوين بنسبة 100 ml	(أسيتات إيثيل + تولوين) (50+50)ml	(أسيتات إيثيل + تولوين) (20+80)ml	أسيتات الإيثيل بنسبة 75ml
93%	81%	53%	22% المردود:

مع التسخين إلى درجة الغليان في كل مرة وخلال زمن قدره 48h باستخدام جهاز التقطير المرتد والتحرك بواسطة محرك مغناطيسي، رُشَّح المزيج للحصول على الملح المطلوب.

اصطناع الفوسفوران:

أخذ (5g) أي ما يعادل (0.012 ml) من ملح الفوسفونيوم في أرلنماير سعة (50 ml) وأذيب في كمية مناسبة من الماء، وأضيف له كمية مساوية من محلول هيدروكسيد الصوديوم. فتشكل لدينا راسب أبيض، تم ترشيحه ووزنه لنحصل على (13.797 g) من الفوسفوران.



الشكل (2): خطوات اصطناع الفوسفوران.

اصطناع الألكينات:

يوضع (9g) من الفوسفوران في حوالة مصنفة ثنائية الفتحة سعة (500ml). بعد ذلك، أُضيفت (6ml) الكربونيل المطلوب و (80 ml) من ثنائي كلورو الميثان. ويحرك الخليط باستخدام محرك مغناطيسي عند درجة حرارة (100) درجة مئوية حتلا اكتمال التفاعل (يتتبع التفاعل باستخدام كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (TLC)) ، تجدر الإشارة إلى أن زمن الفصل كان مختلف تبعاً للمركب الكربونيلي المستخدم بعد ذلك، يبيخر نصف كمية المذيب باستخدام المُبخر الدوار. ثم يضاف (40 ml) من ثنائي إيثيل الإيثر و (40 ml) من البنتان إلى المحلول المتبقي، حيث يُرسب الناتج الثانوي الذي هو أكسيد الفوسفين على شكل راسب أبيض اللون بعد الترشيح، ويبخر المذيب المتبقي حتى نحصل على الألكين المطلوب

وفيما يلي جدول يوضح التفاصيل الخاصة بكل ألكن:

الكربونيل المستخدم	زمن التفاعل	الناتج (الألكن)
ميثيل فينيل كيتون	44h	Propene-1,2dibenZene_(Z)
أسيتيل أسيتون	53h	4-methyl-5-(phenylpent_4_ene_2_one)
البنز أدهيد	33h	(1,2-Diphenylethylene)



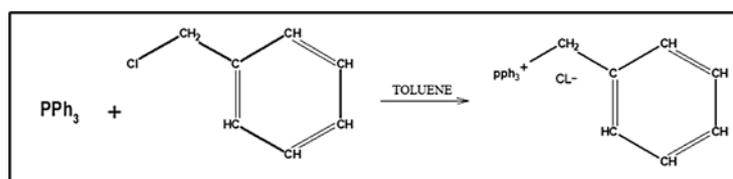
الشكل(4): كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (TLC).

النتائج والمناقشة:

ينتج تفاعل فيتيج من مفاعلة الفوسفوران مع المركبات الكربونيلية (ألدهيدات_كيتونات) لإنتاج ألكين وأوكسيد الفوسفين، حيث يتم الحصول على الفوسفوران من تفاعل ملح الفوسفونيوم مع محلول هيدروكسيد الصوديوم وفيما يلي توضيح لخطوات التفاعل:

• ملح الفوسفونيوم (ملح كلوريد بنزيل ثلاثي فينيل الفوسفونيوم):

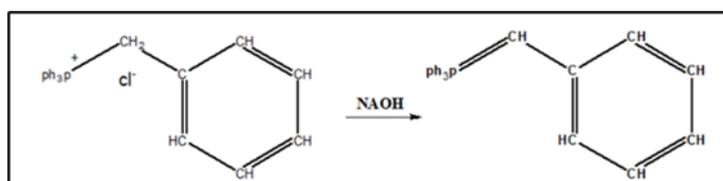
حُضِرَ ملح الفوسفونيوم من تفاعل هاليد الألكيل (كلوريد البنزيل) مع ثلاثي فينيل فوسفين وفق آلية الاستبدال النكليوفيلي (SN_2) باستخدام عدة مذيبات، بالإضافة إلى أنه قد تم اعتماد نظام مزج المذيبات ولوحظ أن المرود الأمثل كان مع التولوين بنسبة أعلى من 90% للملح الناتج وفق المعادلة التالية:



الشكل (2): معادلة اصطناع ملح الفوسفونيوم.

• الفوسفوران (إليد الفوسفوران):

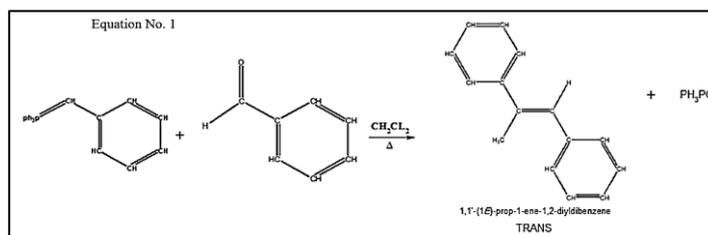
حُضِرَ الفوسفوران من خلال نزع البروتون الحمضي في الموقع ألفا بالنسبة لملح الفوسفونيوم باستخدام أساس (NaOH) وفق المعادلة التالية:



الشكل (3): معادلة اصطناع الفوسفوران.

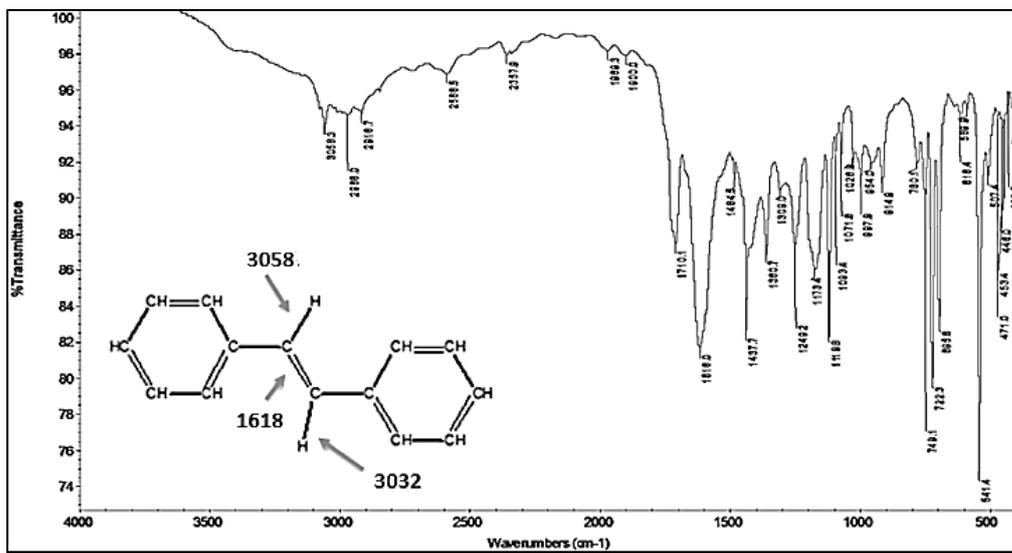
• الألكينات المصطنعة:

①_ الألكين (1,2-Diphenylethylene) الناتج من تفاعل البنزالدهيد مع الفوسفوران:



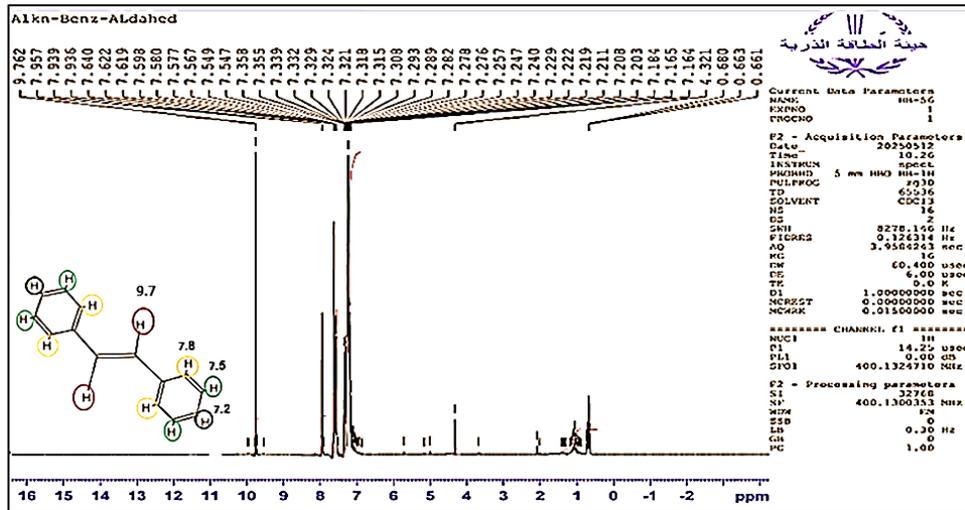
الشكل(4): معادلة الألكين الناتج من البنزالدهيد.

أظهر التحليل الطيفي Spectral analysis بمطيافية الأشعة تحت الحمراء IR للألكن (1,2-Diphenylethylene) عصابة امتصاص حادة وضيقة عند (1618 cm^{-1}) تعود إلى الرابطة المضاعفة (C=C) وذلك لأن الرابطة C=C في الألكينات المقترنة بحلقات عطرية تظهر عند $1620 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ أعلى قليلاً من الألكينات العادية بسبب الاقتران مع الحلقات العطرية، القمة تكون حادة وضيقة بسبب تناظر الجزيء، وعصابة امتصاص عند القيمة (3058 cm^{-1}) تعود إلى الرابطة (Ar-CH)، بينما حلقة البنزن تخضع إلى نوعين من الاهتزازات: اهتزاز امتطاطي للروابط: C=C ($1400_1500_1600 \text{ cm}^{-1}$)، C-H ($2850_3000 \text{ cm}^{-1}$) اهتزاز انحنائي: داخل المستوي شكل مقص C-H ($1000_1100 \text{ cm}^{-1}$) وخارج المستوي عمودية عليه (670_900 cm^{-1}) C-H



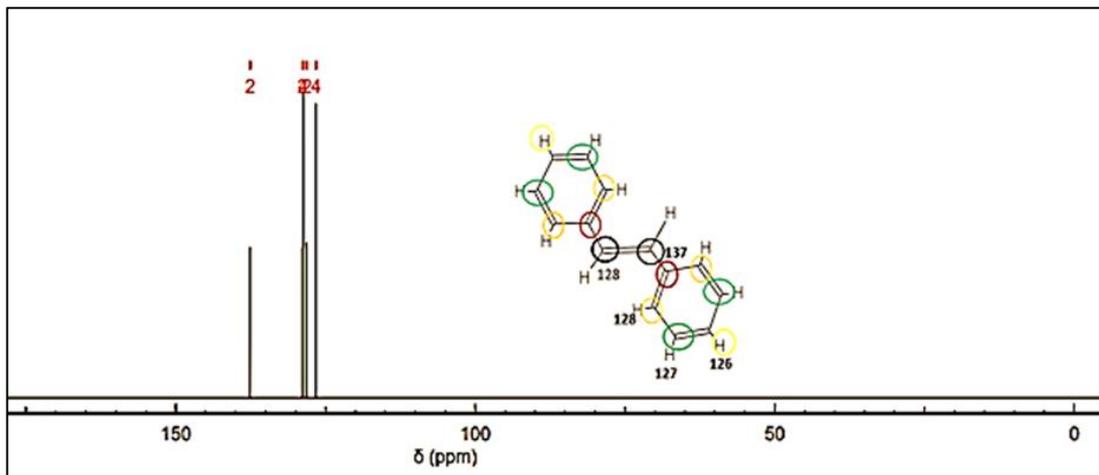
الشكل (5): طيف الأشعة تحت الحمراء IR.

يضم طيف $^1\text{H-NMR}$ الذي يحدد عدد ونوع وترتيب البروتونات وبيئتها في الجزيء، مجموعة من الإشارات المميزة لبروتونات الألكين (1,2-Diphenylethylene) وهي: إشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7.2 ppm) وإشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7.5 ppm)، وإشارة من النوع (Doublet) عند القيمة (7.8 ppm) وجميعها تتبع لبروتونات الحلقة البنزينية، وأيضاً تظهر لدينا إشارة من النوع (Doublet) عند القيمة (9.7 ppm) وهي تتبع لبروتون (=C-H).



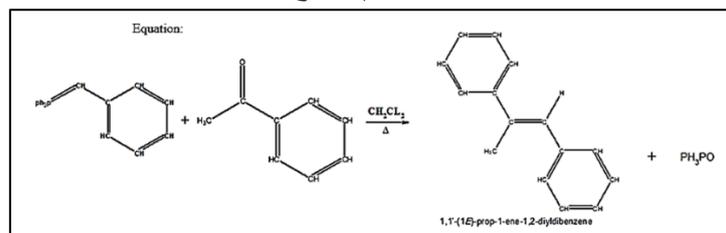
الشكل (6): طيف الرنين النووي المغناطيسي ¹H_NMR.

أما طيف ¹³C_NMR فيضم مجموعة من الإشارات التي تعطي تفسيراً عن بنية المركب حيث ظهرت مجموعة من الإشارات ضمن المجال ppm (137_126) تعود لكربونات الحلقة العطرية، وإشارة عند القيمة ppm (128) تعود لكربونات الرابطة المضاعفة كونها كربونات متكافئة لها نفس البيئة الكيميائية.



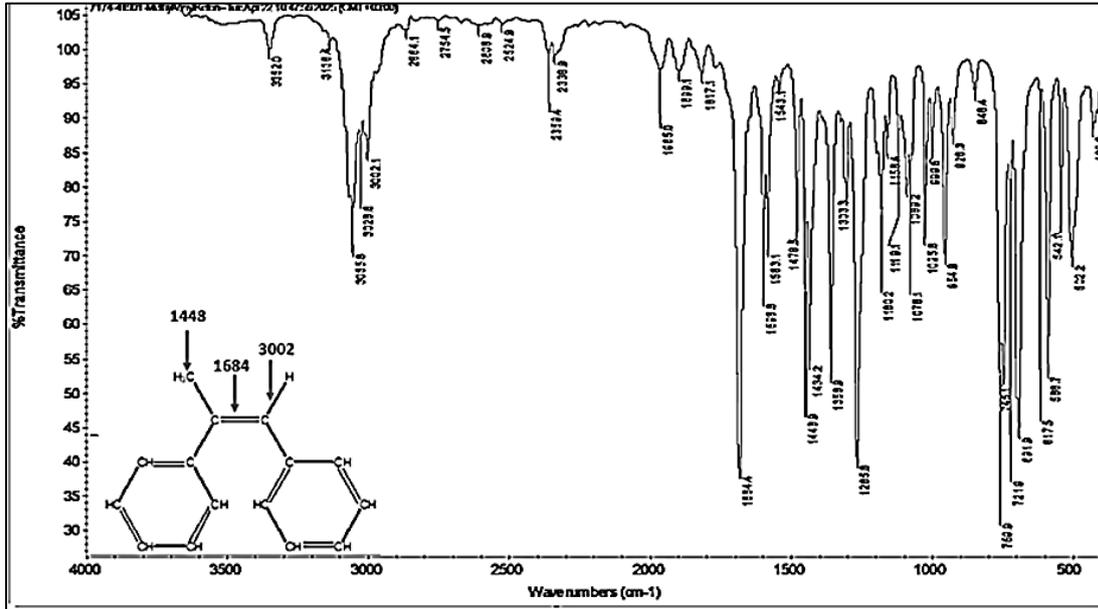
الشكل (7): طيف الرنين النووي المغناطيسي ¹³C_NMR.

② الألكين (Prop-1-ene-1,2-diyl)dibenZene_(E)) الناتج من تفاعل ميثيل فينيل كيتون مع الفوسفوران.



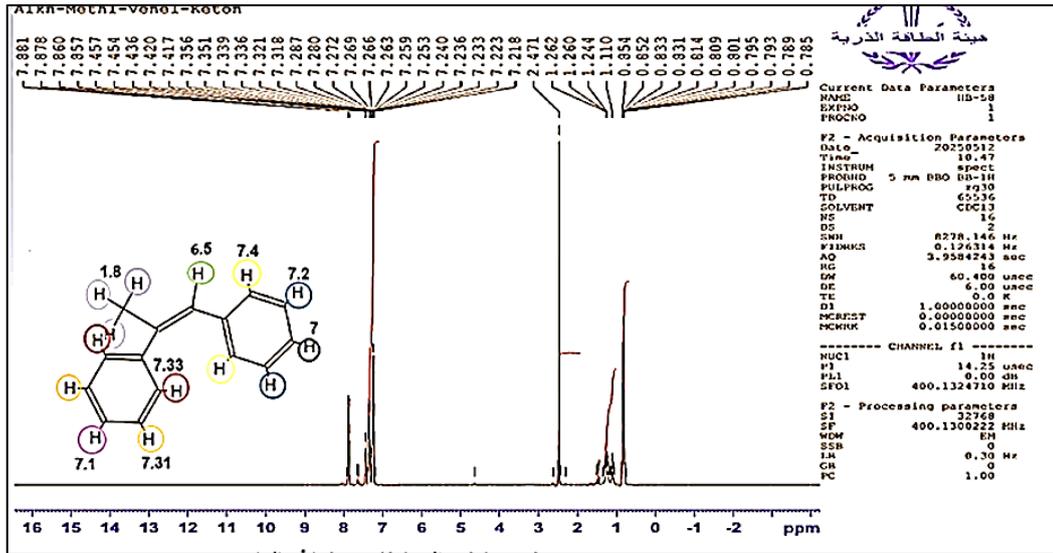
الشكل (8): معادلة الألكين الناتج ميثيل فينيل كيتون.

أظهر التحليل الطيفي Spectral analysis بمطيافية الأشعة تحت الحمراء IR للألكين (Prop-1-ene-1,2-diylidibenzene (E)) عصابة امتصاص حادة وضيقة عند (1684 cm^{-1}) تعود إلى الرابطة المضاعفة $(\text{C}=\text{C})$ وذلك لأنها مترافقة مع الحلقات العطرية لذلك ظهرت حادة و واضحة، وعصابة امتصاص عند القيمة (3002 cm^{-1}) تعود إلى الرابطة $(\text{Ar}-\text{CH})$.



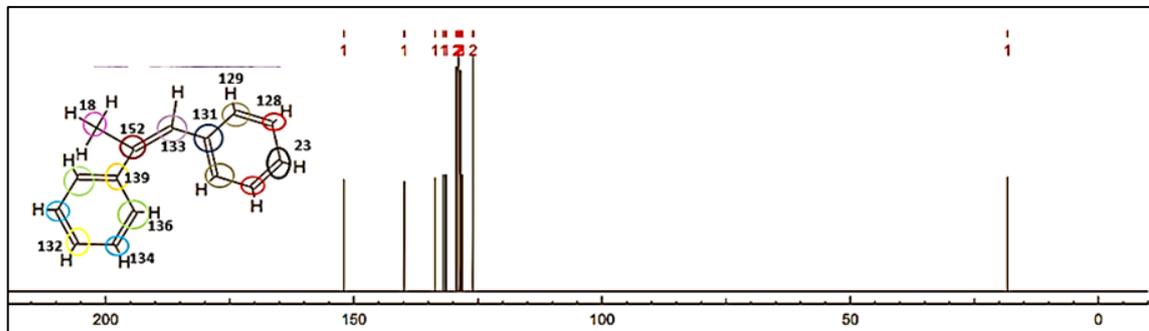
الشكل (9): طيف الأشعة تحت الحمراء IR.

يضم طيف $^1\text{H-NMR}$ مجموعة من الإشارات المميزة لبروتونات الألكين (Prop-1-ene-1,2-diylidibenzene (E)) وهي: إشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7 ppm) وإشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7.2 ppm)، وإشارة من النوع (Doublet) عند القيمة (7.4 ppm) وجميعها تتبع لبروتونات الحلقة البنزينية الناتجة عن الفوسفوران، وأيضاً تظهر لدينا إشارة من النوع (Singlet) عند القيمة (6.5 ppm) وهي تتبع لبروتون $(=\text{C}-\text{H})$ وإشارة من النوع (Singlet) عند القيمة (1.8 ppm) تتبع للزمرة الميثيلية، أيضاً تظهر لدينا إشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7.1 ppm) وإشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7.31 ppm)، وإشارة من النوع (Doublet) عند القيمة (7.33 ppm) وجميعها تتبع لبروتونات الحلقة البنزينية الناتجة عن مركب الميثيل فينيل كربون.



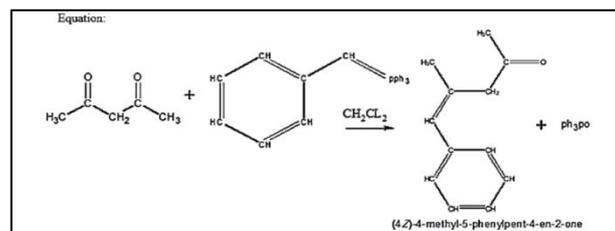
الشكل (10): طيف الرنين النووي المغناطيسي ^1H _NMR

أما طيف ^{13}C _NMR فيضم مجموعة من الإشارات التي تعطي تفسيراً عن بنية المركب، حيث ظهرت مجموعة من الإشارات ضمن المجال ppm (131_23) تعود لكربونات الحلقة العطرية الناتجة عن الفوسفوران، وإشارة عن القيمة ppm (133) تعود لأحد كربونات الرابطة المضاعفة وإشارة عند ppm (152) تعود للكربون الأخر، وأيضاً تظهر لدينا إشارة عند القيمة ppm (18) تعود لكربون الزمرة الميثيلية، بالإضافة إلى مجموعة من الإشارات ضمن المجال ppm (139_132) تعود لكربونات الحلقة العطرية الناتجة عن ميثيل فينيل كيتون.



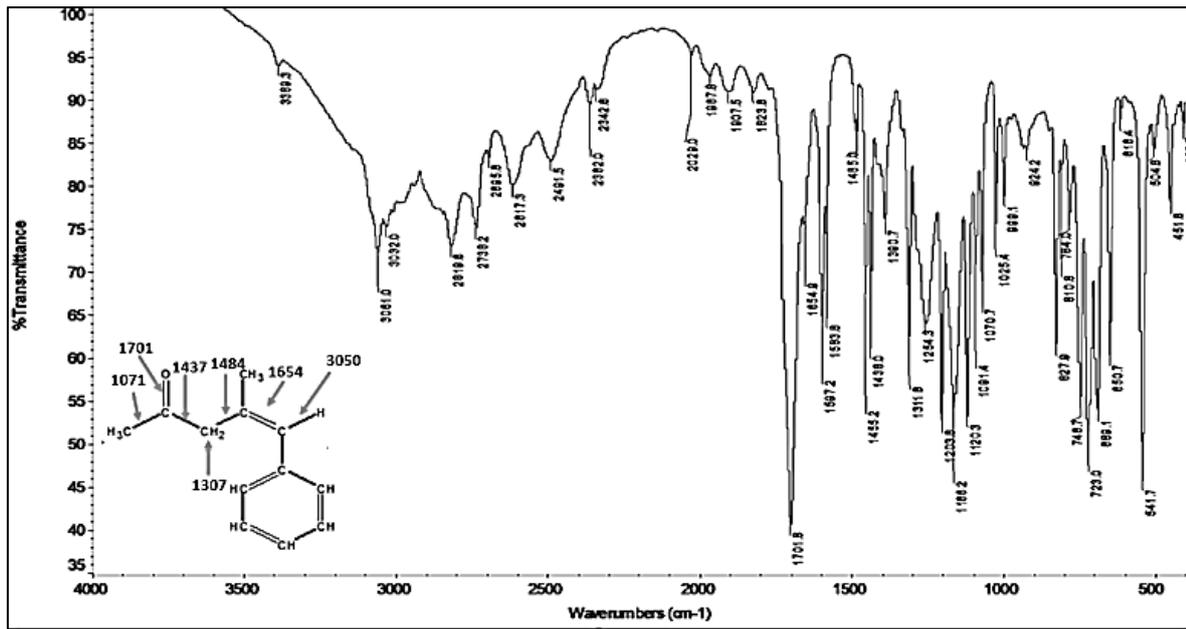
الشكل (11): طيف الرنين النووي المغناطيسي ^{13}C _NMR

③ توصيف الألكين الناتج من الأستيل أسيتون. (4-methyl-5-phenylpent_4_ene_2_one)



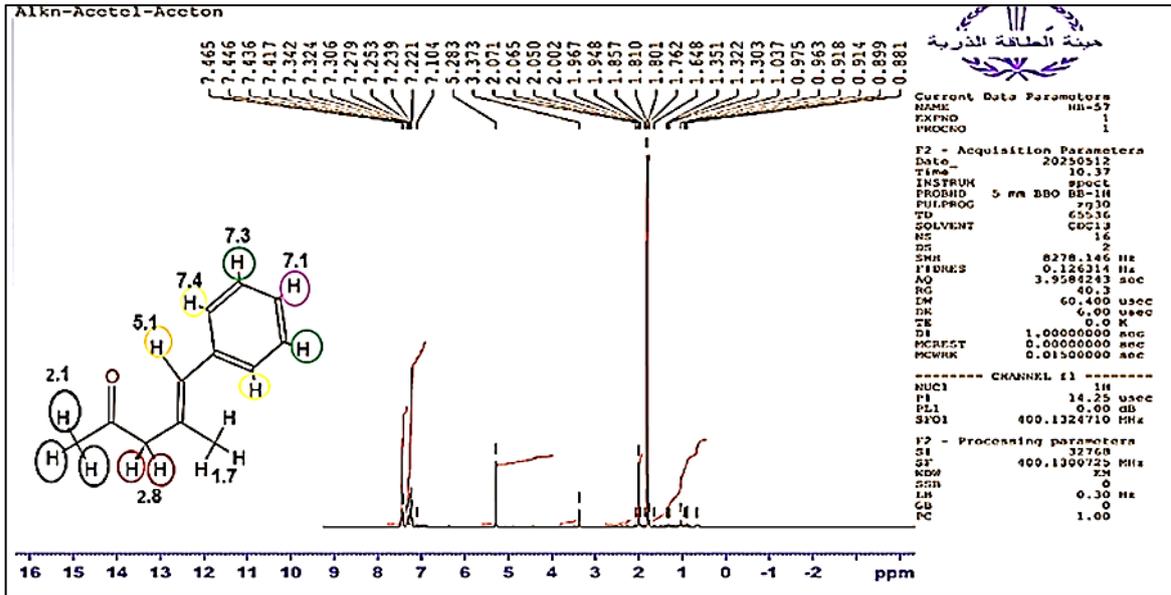
الشكل (12): معادلة الألكين الناتج من الأستيل أسيتون.

أظهر التحليل الطيفي Spectral analysis بمطيافية الأشعة تحت الحمراء IR للألكن (4-methyl-5-phenylpent_4_ene_2_one) عصابة امتصاص حادة وضيقة عند (1654 cm^{-1}) تعود إلى الرابطة المضاعفة (C=C)، وعصابة امتصاص عند القيمة (3050 cm^{-1}) تعود إلى الرابطة (Ar-CH) وأيضاً تظهر عصابة امتصاص عند القيمة (1455 cm^{-1}) تعود للزمرة الميثيلين، وعصابة امتصاص عند القيمة (1701 cm^{-1}) تعود إلى الرابطة (C=O).



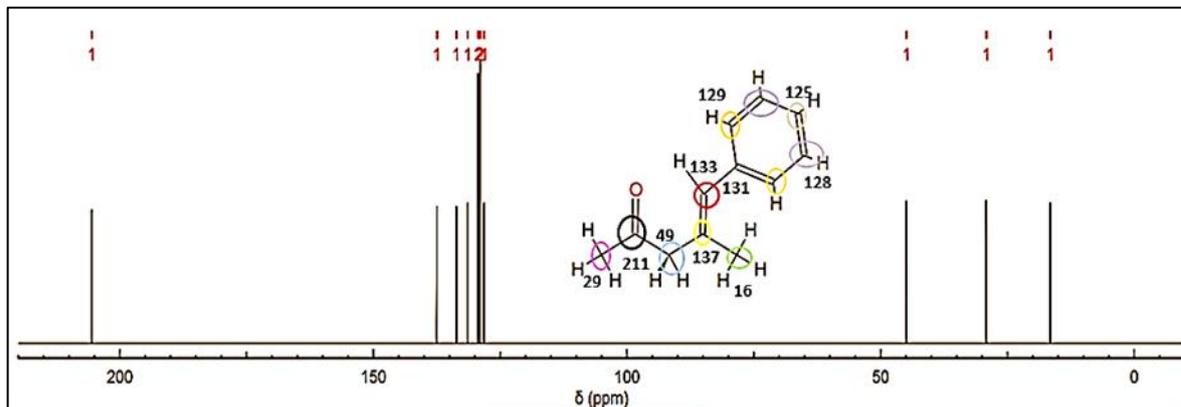
الشكل (13): طيف الأشعة تحت الحمراء IR.

يضم طيف $^1\text{H-NMR}$ مجموعة من الإشارات المميزة لبروتونات الألكين (4-methyl-5-phenylpent_4_ene_2_one) وهي: إشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7. 1ppm) وإشارة من النوع (Triplet) عند القيمة (7. 3 ppm)، وإشارة من النوع (Doublet) عند القيمة (7. 4 ppm) وجميعها تتبع لبروتونات الحلقة البنزينية، وأيضاً تظهر لدينا إشارة من النوع (Singlet) عند القيمة (5. 1 ppm) وهي تتبع لبروتون (=C-H) إشارة من النوع (Singlet) عند القيمة (1. 7 ppm) تتبع للزمرة الميثيلية، أيضاً تظهر لدينا إشارة من النوع (Singlet) عند القيمة (2. 8 ppm) تتبع للزمرة الميثيلية، وإشارة من النوع (Singlet) عند القيمة (2. 1 ppm) تتبع للزمرة الميثيلية.



الشكل (14): طيف الرنين النووي المغناطيسي $^1\text{H-NMR}$.

أما بالنسبة لطيف $^{13}\text{C-NMR}$ فيضم مجموعة من الإشارات التي تعطي تفسيراً عن بنية المركب، حيث ظهرت مجموعة من الإشارات ضمن المجال ppm (125_131) تعود لكربونات الحلقة العطرية، وإشارة عن القيمة ppm (133.3) تعود لأحد كربونات الرابطة المضاعفة وإشارة عند ppm (137.2) تعود للكربون الأخر، وأيضاً تظهر لدينا إشارة عند القيمة ppm (16.3) تعود لكربون الزمرة الميثيلية، وإشارة عند القيمة ppm (49.1) تعود لكربون الزمرة الميثيلينية، وإشارة عند القيمة ppm (211.2) تعود لكربون الزمرة الكربونيلية وهذا دليل واضح لظهور هذا الاكسن ومميز عن الطيف السابقة، وإشارة عند القيمة ppm (29.1) تعود لكربون الزمرة الميثيلية.



الشكل (15): طيف الرنين النووي المغناطيسي $^{13}\text{C-NMR}$.

الاستنتاجات:

تم في هذا البحث اصطناع ملح الفوسفونيوم (كلوريد ثلاثي فينيل بنزيل فوسفونيوم) بطريقة تغيير نسب المذيبات، فعندما استخدمنا أسيتات الإيثيل بنسبة **100%** حصلنا على مردود منخفض من الملح الناتج، وعندما مزجنا أسيتات الإيثيل بنسب مختلفة مع التولوين حصلنا على مردود أعلى من السابق ، أما عند استخدام التولوين كمذيب رئيسي بنسبة **100%** تم الحصول على مردود مرتفع ليصل إلى **93%**.

ويعود السبب في ذلك إلى أنه في حالة أسيتات الإيثيل تكون شاردة الكلوريد حرة في المحلول مما يعطيها القدرة على مهاجمة الناتج وتشكيل المواد الأولية من جديد، أما بوجود التولوين تصبح شاردة الكلوريد مقيدة بروابط شاردية مع البروتونات الميثيلية في التولوين، ثم تم اصطناع إيليد الفوسفوران بمفاعلة ملح الفوسفونيوم الناتج سابقاً مع محلول هيدروكسيد الصوديوم، ومنه قمنا باصطناع الألكينات التالية:

1. ألكن **Propene-1,2-dibenZene_(Z)** ناتج عن مفاعلة إيليد الفوسفوران مع ميثيل فينيل كيتون كان المردود **71%** وهو سائل ذو لون أصفر باهت.

2. ألكن **(4-methyl-5-phenylpent_4_ene_2_one)** ناتج عن مفاعلة إيليد الفوسفوران مع الاسيتيل اسيتون كان المردود **49%** وهو سائل ذو لون أصفر غامق.

3. ألكن **(1,2-Diphenylethylene)** من الشكل **cis _ trans** ناتج عن مفاعلة إيليد الفوسفوران مع البنزالدهيد فكان المردود **83%** وهو سائل ذو لون بني.

تم التأكد من جميع البنى المحددة ونقاوتها باستخدام التقنيات التحليلية **¹H_NMR, ¹³C_NMR, IR**.

التوصيات:

بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث اقترح: تحسين ظروف التفاعل من خلال اختيار مذيبات بديلة صديقة للبيئة، توسيع نطاق تطبيقات التفاعل من خلال توظيفه في اصطناع مركبات حيوية وصناعية معقدة.

Reference

- [1] S. Jhantu Das "A novel photochemical Wittig reaction for the synthesis of 2-aryl/alkylbenzofurans." *Tetrahedron Letters* 52.10: 1112-1116(2011).
- [2] G. Jacek, and T. Sałaciński. "Synthesis of new tetrazol-5-ylalkenyl derivatives of ferrocene by Wittig olefination." *Synthesis* 44.19: 3071-3076(2012).
- [3] N. Alexander, J. Novel Wittig and Organocatalytic Methodologies for the Synthesis of Chemotherapeutic Compounds. Diss. 2019.
- [4] G. Wittig, G. Geissler, *Justus Liebigs Ann. Chem.* 580, 44 (1953)
- [5] K.Nicolaou, "The Wittig and related reactions in natural product synthesis." *Liebigs Annalen*,1283-1301, 1997.7 (1997).
- [6] M.Climent, "Barium (II) hydroxide as catalyst in organic reactions. 20. Structure-catalytic activity relationship in the Wittig reaction." *The Journal of Organic Chemistry*, 3695-3701,54.15 (1989).
- [7] G.Wittig, "From diyls over ylides to my idyll." *Accounts of Chemical Research*, 6-14, 7.1 (1974).

- [8] M. J. Peterson, "Stereochemistry and mechanism in the Wittig reaction." *Top. Stereochem.* 1-157,21 (1994).
- [9] L. David Yu-Chung, "Solid-phase combinatorial synthesis: Wittig reaction for C=C formation in Tamoxifen derivatives." (2003).
- [10] B. Bates, *Organic synthesis using transition metals.* John Wiley & Sons, (2012).
- [11] G. Salmond, W. William, M. Mary A. Barta. "Astereoselective Wittig reagent and its application to the synthesis of 25-hydroxylated vitamin D metabolites." *The Journal of Organic Chemistry*, 790-792, 43.4 (1978).