تطبيق منظومات الخلايا الشمسية فوق أسطح المباني

Application of Roof-Top PV Solar Panels

سالم بن نصير [1] ، فوزي قشوط[2]
الشركة العامة للكهرباء، طرابلس، ليبيا
aafg20031961@gmail.com[2] ،ben_nusair@yahoo.com[1]

Abstract:

The General Electricity Company of Libya, GECOL, has fallen well-short of the demand for electricity over the past years. In 2018, the demand was around 2,185Megawatts higher than the available generating capacity. This fact has driven GECOL to shed some loads to maintain the stability of its grid and protect it from collapse. To mitigate such shortage, GECOL has studied a variety of alternative technologies to generate electricity, including Roof-Top PV Solar Panels. To that end, a competent work team was assigned to scrutinize this alternative from both, the economic and technical perspectives. The methodology tailored by the work team consisted of consecutive steps: gathering of data and analysis, exploring Arab and EU countries' similar studies, delineating a clear vision for the size of the project and for the mechanism of its supplying and implementation, and financing. In view of that, the work team conducted a feasibility study for installing 500 Megawatts thereof, to be installed on 100,000 housing units. The economic and financial indicators of the study concluded that the project is feasible in all of the scenarios considered. The economic and financial indicators are Dynamic Unit Cost, Net Present Value, Internal Rate of Return and Pay Back Period.

الملخص: خلال السنوات الماضية، عانت الشركة العامة للكهرباء، جيكول، من عجز في تلبية الطلب على الطاقة الكهربائية؛ إذ فاق الطلب قدرات التوليد بحوالي ,1852 ميجاوات في عام 2018. هذه الحقيقة دفعت الشركة نحو العمل بوظيفة طرح الأحمال للمحافظة على استقرار الشبكة العامة وحمايتها من الانهيار. لتخفيف حدة هذا العجز، درست الشركة عدة بدائل لتوليد الطاقة الكهربائية؛ منها تطبيق منظومات الخلايا الشمسية فوق أسطح المنازل. في هذا الصدد، تم تكليف فريق عمل متخصص لدراسة هذا البديل من الناحيتين، الاقتصادية والفنية. تكونت منهجية عمل الفريق المكلف من مراحل متعددة؛ منها: تجميع وتحليل البيانات، ودراسة التجارب المشابهة بالدول العربية والأوروبية، ووضع رؤية واضحة لسعة المشروع وآلية التوريد والتنفيذ، ووضع التقديرات المالية اللازمة لتنفيذ المشروع. لذلك، أجرى الفريق دراسة جدوى اقتصادية لمشروع تركيب منظومة خلايا شمسية، بقدرة 5 كيلووات، على أسطح مئة ألف منزل؛ ليكون إجمالي القدرات المركبة 500 ميجاوات. أكدت الدراسة من خلال المؤشرات الاقتصادية والمالية المعروفة أن المشروع مجدٍ في كل الحوارات التي تم أخذها في الاعتبار. من بين هذه المؤشرات، تكلفة الوحدة الحركية، وصافي القيمة الحالية، ومعدل العائد الداخلي، وفترة استرجاع رأس المال.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي، المنظومات الكهروضوئية، ساعات سطوع الإنتاج الذروي، مولدات المحركات، الحمل الأساسي، الديزل، الغاز الطبيعي.

1. المقدمـة

تُستهلَك الطاقة بمختلف صورها لتعزيز النمو الاقتصادي والاجتماعي، وتخفيف وطأة الفقر؛ وهي الأهداف النبيلة التي تتطلع إلى تحقيقها كافة دول العالم دون استثناء. وفي المقابل، قد يخلق هذا الاستهلاك تحديات مريعة متمثلة في إلحاق الضرر بالبيئة ومصادر الطاقة والمياه. ولهذا السبب، بدأتِ العديد من الهيئات والمنظمات ذات الصلة في البحث عن الحلول الفنية الكفيلة بتحقيق تلك الأهداف النبيلة مع المحافظة على البيئة وهذه المصادر. كان لاستغلالِ الموارد الطبيعية، بما في ذلك موارد الطاقة، المساهمة الكبيرة في تلوث الطبيعة. للحد من هذه المعضلة، يعمل المهتمون بشؤون الطاقة والبيئة ما في وسعهم لابتكار الوسائل الناجعة لتحقيق التوازن الأمثل بين إنتاج واستهلاك الطاقة من جهة، ومتطلبات التنمية الاجتماعية والاقتصادية وحماية البيئية من جهة أخرى. فمن بين أنواع الطاقة المستغلة في ليبيا هي الطاقة الكهربائية التي يتزايد عليها الطلب بوتيرة متسارعة. من المهم ذكره، أن الشركة العامة للكهرباء تعتمد اعتماداً كاملاً على الوقود الأحفوري الآخذ في النضوب لتشغيل محطات الإنتاج لديها. تمثل كلفة هذا الوقود الجزء الأعظم من تكلفة وحدة الطاقة الكهربائية (الكيلووات.ساعة). وبازدياد الطلب على الكهرباء والاعتماد على هذا النوع من الوقود بهذه الكيفية، تزداد حدة ملوثات الهواء الجوي الناتجة عن حرقه بمحطات الإنتاج.

نتيجةً للظروف الحرجة التي تمر بها البلاد، شهد التوليد عجزاً أمام الطلب، وصل إلى2185 ميجاوات (الإدارة العامة للتحكم، 2018)؛ مما اضطر الشركة إلى جدولة طرح الأحمال لساعات طويلة، حفاظاً على استقرار شبكتها العامة؛ الأمر الذي دفع الكثير من الناس إلى استخدام المولدات المتنقلة بعيوبها ومخاطرها. فمن ناحية السلامة، فالخطرُ محدقٌ بالأفراد والممتلكات في أثناء نقل الوقود المستخدم لتشغيل هذه المولدات، وفي تخزينه في أماكن الإقامة والعمل. هذا الوقود قد يأتي على أرواح الناس كما يأتي على الممتلكات عند حدوث – لا سمح الله – حادث سير أو تماس كهربائي. أما دور هذه المولدات في الضرر بالبيئة فليس بالهين؛ إذ يحتاج تشغيلها إلى ملء خزاناتها بالوقود عدة مرات في فترات وجيزة، وإلى تغيير الزيوت في فترات مماثلة. تؤدي هذه العملية المتكررة إلى تسرب الوقود والزيوت بكميات كبيرة؛ لتستقر بعد ذلك على التربة أو أرصفة الشوارع، معرضةً المارة للخطر. إضافةً إلى ذلك، إن التوسع في استخدامات هذه المولدات من شأنه أن يزيد من استهلاك البنزين والديزل اللذين تستوردهما الدولة بشكلٍ شبهِ كاملٍ من الخارج بالعملة الصعبة؛ الأمر الذي يلقي بظلاله على الخزينة العامة للدولة، مضراً باقتصادها الوطني. إن الضوضاء التي تصدرها أغلب هذه المولدات تصل إلى (75 dB)(الشركة العامة للكهرباء، 2017)، وهو ما يفوق الحد الأعلى المسموح به في الأماكن السكنية.

لتقليل هذا العجز وهذه الساعات، تبذل الشركة مساعيها للتواصل مع المقاولين لاستكمال المشروعات المتوقفة والعمل على تنفيذ مشروعات مستعجلة وتنفيذ الصيانات المبرمجة لوحدات التوليد، مع إيجاد حلول موازية، منها استخدام منظومات الخلايا الشمسية التي يتم تركيبها على أسطح المباني (Rooftop Photovoltaic Systems)؛ الذي قام بدراسته فريق عمل متخصص. يجدر الإشارة إلى أنه قد تم إدراج أسماء رئيس وأعضاء هذا الفريق في الصفحة النهائية من هذه الورقة، وهي مرتبة وفقاً لما جاء في قرار تشكيله.

2. المنهجية

من الأهداف الأساسية لهذه الورقة التحقق من جدوى تركيب 100,000 منظومة خلايا شمسية على أسطح عدد مماثل من المنازل، وذلك من الناحية الاقتصادية. بذلك يكون حجم المشروع 500 ميجاوات، يتم تنفيذها، في مثابة دعم لقدرات التوليد التقليدية العاملة بالشبكة العامة للكهرباء، على خمس مراحل. ومن الأهداف أيضاً، مقارنة تكلفة وحدة الطاقة الكهربائية التي تنتجها هذه المنظومات بتكلفة الوحدة التي توفرها الشبكة العامة للكهرباء للمستهلك في القطاع المنزلي. لقد تم حساب المؤشرات ذات الصلة من خلال منهجية فاعلة، تكونت من ثلاث مراحل، وهي: تحديد البيانات والمعلومات المطلوبة وتجميعها، وصياغة الفرضيات، وإعداد جدول التدفقات النقدية. نتناول هذه المراحل في النقاط التالية:

1.2. البيانات والمعلومات:

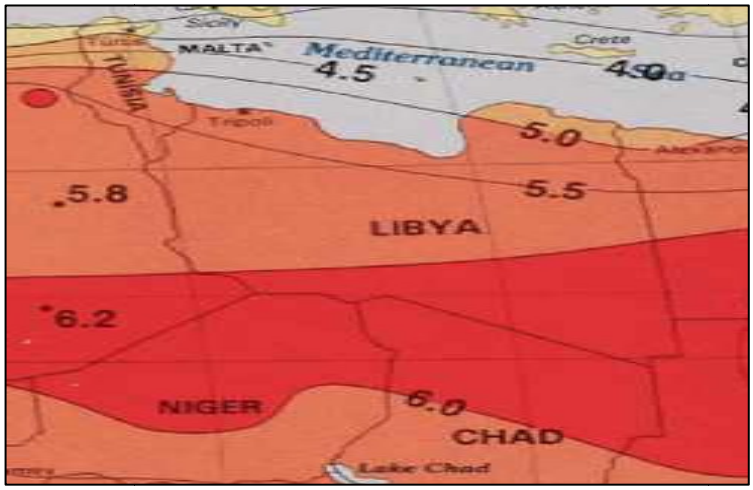
تم تجميع البيانات والمعلومات اللازمة من مصادر مختلفة، منها تقارير الشركة العامة للكهرباء، وقياسات مركز بحوث ودراسات الطاقة الشمسية للإشعاع الشمسي، وبعض مواقع شبكة المعلومات الدولية المهتمة بالطاقة الشمسية وصناعاتها. نسرد هذه البيانات والمعلومات في النقاط التالية:

- 5 كيلو وات، قدرة المنظومة الواحدة.
- 100,000منزلٍ، إجمالي عدد المنازل المستهدفة.
- 500 ميجاوات، القدرة الإجمالية للمشروع.
- 1.2 يورو لكل وات، تكلفة إنشاء منظومة الخلايا الشمسية.
- 9,600 دينار ليبي، تكلفة إنشاء كل منظومة خلايا شمسية بقدرة 5 كيلووات.
- 200 دينار ليبي، تكلفة شحن ونقل المنظومة الواحدة.
- 980 دينار ليبي لكل منظومة، هامش ربح للمصرف.
- 10,780 دينار ليبي، مجموع تكلفة منظومة الخلايا الشمسية بقدرة 5 كيلووات.
- 10%، هامش ربح للمصرف.
- 1,254 مليون دينار ليبي، إجمالي التكلفة الاستثمارية المدفوعة من المستهلكين، متضمنة أرباح المصرف.
- 1,000 يورو، تكلفة الإنفيرتر.
- 0 يورو، التكلفة السنوية لتشغيل وصيانة المنظومة.
- 22.9%، إتاحية المنظومة.
- 308.2 درهم لكل كيلووات.ساعة، تكلفة وحدة الطاقة الكهربائية للمنزلي، عندما يكون الوقود بمتوسط الأسعار العالمية(المؤسسة الوطنية للنفط، 2016). المؤسسة الوطنية للنفط، متوسط السعر العالمي للغاز الطبيعي وزيوت الوقود، 2016.
- 202.0 درهم لكل كيلووات.ساعة، تعريفة بيع المستهلك المنزلي للشركة العامة للكهرباء.
- 14.43 سنت أمريكي لكل كيلووات.ساعة، متوسط سعر البيع بمحطات الخلايا الشمسية المنزلية في مصر والأردن.
- 6.0%، معامل التخفيض.
- 1.6 دينار ليبي لكل 1 يورو، سعر صرف اليورو.
- 1.4 دينار ليبي لكل 1 دولار، سعر صرف الدولار الأمريكي.
- 25 سنة، عمر المشروع.

2.2. الفرضيات:

من الفرضيات التي تبناها فريق العمل ما يلي:

- 12 سنة، عمر الإنفيرتر، الذي يجب تغييره عند بلوغ هذا العمر.
- 10%، نسبة انخفاض قدرة المشروع بعد مرور 20 سنة.
- تختلف كمية الإشعاع الشمسي من منطقة إلى أخرى، ومن يوم إلى آخر؛ إذ تراوح المتوسط الشهري بين 2.0 كيلوات.ساعة لكل متر^2 في اليوم في مدينة شحات و7.7 كيلوات.ساعة لكل متر^2 في اليوم في مدينة الجغبوب، بمتوسط عام قدره 5.5 كيلوات.ساعة لكل متر^2 في اليوم (مركز دراسات وبحوث الطاقة الشمسية، 1988). يوضح الشكل التالي كميات الإشعاع الشمسي بليبيا وأجزاءٍ من دول الجوار.



3.2. جدول التدفقات النقدية:

لحساب المؤشرات المالية والاقتصادية المطلوبة، تم إعداد جداول عمل على برنامج الإكسل (excel). تحتوي هذه الجداول على خلايا لإدخال البيانات وصيغ المعادلات التي تحسب تلك المؤشرات للحوارات المختلفة، وهي: (أ) الحوار الأساسي وفيه يمول المواطن المشروع بشكل كاملٍ، و(ب) حوار البديل الأول وفيه تمول الدولة المشروع بشكلٍ كاملٍ، و(ج) حوار البديل الثاني وفيه تمول الدولة 80% من المشروع، والباقي يموله المواطن.

3. النتائج:

على ما سبق ذكره، تم تسجيل التدفقات النقدية والفنية لمشروع تركيب عدد 100,000 منظومة خلايا شمسية منزلية، يتم تركيبها على أسطح المنازل، بقدرة 5 كيلووات لكل منها، وبإجمالي قدره 500 ميجاوات. تتلخص النتائج في النقاط التالية:

1.3. نتائج الحوار الأساسي:

كما ذكر سالفاً، أن المواطن في هذا الحوار هو من يقوم بتمويل المشروع تمويلاً كاملاً للمشروع عن طريق قرضٍ مصرفيٍ ميسرٍ. أخذاً هذا الأمر في الاعتبار، كانت نتائج التدفقات النقدية كما يلي:

1.1.3.تكلفة الوحدة الحركية:

أظهرت نتائج دراسة الجدوى الاقتصادية أن تكلفة الوحدة الحركية لمنظومة الخلايا الشمسية بلغت 73.2 درهم لكل كيلوات.ساعة. وإذا ما تمت مقارنة هذه التكلفة بتكلفة وحدة الطاقة الكهربائية لشريحة الاستهلاك المنزلي (والوقود بالأسعار العالمية) البالغة 308.2 درهم لكل كيلووات.ساعة، لوجد أن هناك ادخار في تكلفة وحدة الطاقة الكهربائية يبلغ 235 درهم لكل كيلووات.ساعة.

2.1.3. صافي القيمة الحالية:

أظهرت نتائج دراسة الجدوى الاقتصادية مقدار الادخار الذي سوف يتم تحقيقه عبر المستهلك من خلال تنفيذ المشروع؛ حيث تم تقييم المبالغ المالية التي سيتم صرفها خلال سنوات المشروع في جانب مصروفات رأسمالية وتشغيلية، أو في جانب شراء الطاقة التي سوف يقوم الزبائن بإنتاجها وبيعها للشركة العامة للكهرباء، حيث بلغ صافي القيمة الحالية للمشروع لصالح المستهلكين مبلغ وقدره 1,548 مليون دينار ليبي. بينما سيكون هناك ادخار للحكومة قدره 1,277 مليون دينار ليبي، ناتج عن قيم مالية كانت سيدفعها الاقتصاد الوطني مقابل إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية إلى المستهلك المنزلي. هذه القيم الموجبة تعبر على مقدار الادخار الذي سوف يتحقق من تنفيذ المشروع، والذي يعكس قيم للمبالغ المالية التي سوف تتفاداها الحكومة الليبية على شكل دعم لقيمة فاتورة المحروقات المستخدمة لإنتاج الكهرباء، واستخدام الشبكة العامة لتوصيل الكهرباء إلى المستهلك المنزلي.

3.1.3. معدل العائد الداخلي:

يعتبر معدل العائد الداخلي للمشروع أحد المؤشرات الاقتصادية التي يتم بها قياس جدوى تنفيذ المشروع، ولقد أظهرت الحسابات أن معدل العائد الداخلي للمشروع كبير جداً؛ لدرجة أن المعادلة المستخدمة لم تظهر قيمة لهذا المؤشر. هذه النسبة تعبر على جدوى كبيرة للمشروع؛ لأن قيمتها تجاوزت معدل التخفيض (6%) بشكل كبير الذي تم تطبيقه على التدفقات النقدية خلال عمر المشروع، وبالتالي فإن هذا المشروع يعتبر مجدياً اقتصادياً.

4.1.3. فترة استرجاع رأس المال:

هذا المؤشر يعتبر مؤشراً مالياً، وليس اقتصادياً؛ حيث يعبر عن الوقت الذي سوف يكون فيه حاصل طرح القيم المالية التي سيتم دفعها لتنفيذ المشروع والمبالغ التي كانت تدفع مقابل إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية حتى يستلمها المستهلك المنزلي. وكانت النتيجة موجبة من السنة صفر لأن قيمة العائدات عن المشروع أكبر من تكاليفه.

2.3. نتائج الحوارات البديلة:

بالإضافة إلى الحوار الأساسي، تم إعداد حوارين بديلين، وهما حوار البديل الأول، وفيه تمول الدولة المشروع بشكلٍ كاملٍ، وحوار البديل الثاني وفيه تمول الدولة 80% من المشروع، والباقي يموله المواطن. يقدم الجدول التالي خلاصة نتائج تمويل المشروع لكل الحوارات.

الخيارات المطروحة	الحكومة 100%		80%&20%		المستهلك 100%	
	الحكومة	المستهلك	الحكومة	المستهلك	الحكومة	المستهلك
إجمالي تكلفة المشروع (مليون د.ل)	6,106	صفر	5,878	251	4,966	1,254
تكلفة الوحدة الحركية DUC (درهم/ك.و.س)	78.7		79.3		73.2	
صافي القيمة الحالية (NPV) (مليون دينار ليبي)	331	2,428	520	2,231	1,277	1,548
معدل العائد الداخلي (IRR)	8%	–	13%	–	–	–
فترة استرجاع رأس المال (PBP) (سنة)	11.2	0.1	9.4	0.1	0.1	0.1

4. الخاتمة والتوصيات:

تعتبر الطاقة بمختلف صورها المحرك الأساسي الذي يقوم بإدارة عجلة النمو الاقتصادي والاجتماعي. لذا، تسعى الدول إلى أن تكون إمدادات الطاقة مستمرة وآمنة، بمعنى غير مهددة بالانقطاع. ومن بين أنواع الطاقة المستغلة في ليبيا من أجل تحقيق النمو الاقتصادي والاجتماعي هي الطاقة الكهربائية التي يتزايد عليها الطلب من سنة إلى أخرى. والجدير بالذكر، إن توليد الكهرباء في ليبيا يعتمد اعتماداً كلياً على الوقود الأحفوري الناضب، الذي يسهم حرقه في إلحاق الضرر بالبيئة بشكل كبير. وبالرغم من تمتع

ليبيا بإمكانات شمسية هائلة، لم نرَها في قوائم الدول العربية وغيرها التي استغلت هذه الطاقة المتجددة في توليد الكهرباء لدعم المنظومة الكهربائية؛ إذ يخلو مزيج قدرات التوليد بليبيا من تقنيات توليد الكهرباء التي تعمل بالطاقة الشمسية، أو طاقة الرياح، أو بأية طاقة متجددة أخرى.

بسبب الحالة الاستثنائية التي تمر بها البلاد، تقف قدرات التوليد عاجزة أمام الطلب على الطاقة الكهربائية، خاصة في الشتاء حيث تنخفض درجات الحرارة، وفي الصيف الذي يشهد ارتفاعها. وللتخفيف من وطأة هذا العجز وما ينتج عنه من ساعات طرح الأحمال، تبذل الشركة جهوداً لاستكمال المشروعات المتوقفة والعمل على تنفيذ مشروعات مستعجلة وتنفيذ الصيانات المبرمجة لوحدات التوليد، مع إيجاد حلول موازية، منها استخدام منظومات الخلايا الشمسية على أسطح المنازل. وفي هذا الخصوص، أجريت الدراسات اللازمة لبيان المؤشرات الاقتصادية والفنية والبيئية من تركيب مائة ألف منظومة خلايا شمسية فوق أسطح المنازل، بقدرة خمسة كيلووات لكل منها؛ أي بقدرة إجمالية قدرها 500 ميجاوات. أوضحت هذه الدراسات أن هذا المشروع سيكون مجدٍ اقتصادياً؛ لتحقيقه وفراً في كلفة إنتاج وحدة الطاقة (كيلووات.ساعة). يرجع هذا الوفر بشكل أساسي إلى أن هذه المنظومات لا تحتاج وقوداً لتشغيلها؛ فالوقود يشكل الجزء الأعظم من تكلفة تشغيل محطات إنتاج الكهرباء التقليدية. كما بينت الدراسات أن ربط هذه المنظومات بالشبكة العامة سيكون آمناً عليها؛ لعدم إنتاجها للتوافقيات التي تضر بمعدات الشبكة ومعدات المستهلك على حد السواء. أما من الناحية البيئية، فلا تنتج منظومات الخلايا الشمسية الغازات الدفيئة أو غيرها من ملوثات الهواء الجوي، أو ملوثات التربة؛ وبالتالي فهي صديقة للبيئة.

وفي ختام هذه الورقة، يُوصى بما يلي:

- اعتماد تعريفة التغذية المقترحة في التقرير من الجهات المعنية بالدولة.
- تتبنى الجهات المعنية بالدولة التنسيق مع المؤسسات المالية لتحفيزها بشأن تمويل تنفيذ المشروع وفقا للتشريعات والضوابط المالية النافذة بالدولة "إن وجدت".
- إجراء تعديلات على لائحة خدمات الطاقة الكهربائية شاملة لتطبيقات الطاقات المتجددة لتشجيع المواطن على استخدام هذه التقنية.

- أن تقوم الشركة العامة للكهرباء بتجهيز واعتماد المستندات المتمثلة في المواصفات الفنية لمنظومات الخلايا الشمسية، وضوابط ومعايير ربط المنظومات بالشبكة العامة، وترميز "كود" الشبكة الخاص بالطاقات المتجددة.
- تشكيل فريق عمل متخصص لوضع المخطط التنفيذي والإشراف على التنفيذ.

- تخصيص جزء من الوفر الاقتصادي الناتج عن استخدام المنظومات والمقدر بـ (2.428 مليار دينار) إلى ميزانية الشركة العامة للكهرباء لتغطية قيمة الطاقة المنتجة من هذه المنظومات، بالإضافة إلى توظيف الجزء المتبقي (1.277 مليار دينار) في تطوير الطاقات المتجددة.
- أن يعتبر مشروع الدراسة بادرة للشركة العامة للكهرباء لضمه ومشروعات أخرى ضمن آليات تجارة الكربون "آلية التنمية النظيفة" المتعددة من خلال التواصل مع الجهات العالمية المعنية بالبيئة.

5. المراجع:

1. الإدارة العامة للتحكم. (2018). بيانات الأحمال اليومية للشبكة العامة للكهرباء. سنوي، طرابلس.
2. الشركة العامة للكهرباء. (2017). تطبيق منظومات الخلايا الشمسية فوق أسطح المباني. تقرير دراسة، طرابلس.
3. المؤسسة الوطنية للنفط. (2016). متوسط السعر العالمي للغاز الطبيعي وزيوت الوقود. رسالة رسمية، طرابلس.
4. مركز دراسات وبحوث الطاقة الشمسية. (1988). قياسات الإشعاع الشمسي للفترة 1982–1988. سنوي، طرابلس.

فريق العمل:

ت	الاسم
1	م. عبدالناصر ياسين الأثرم
2	م. مصطفى عامر شنه
3	م. سليمان سعيد العائب
4	م. نورالدين محمد كريمة
5	م. صلاح الدين العارف السري
6	م. خالد سالم أمحمد
7	م. فتحي حسين جمعة
8	أ. سالم صالح بن نصير
9	أ. فوزي عامر قشوط
10	م. مصطفى محمد صوفية