The Optimal Size of a PV / FC Energy System for an Industrial Facility in Lattakia City

Hamdan Taha[*]
Dr. Faisal Shaaban[**]
Dr. Raseel ALjendy[***]

(Received 12 / 2 / 2026. Accepted 19 / 5 / 2026)

□ ABSTRACT □

This study presents the optimal design of the renewable Hybrid Energy System which consist of Photovoltaic (PV) ,Fuel Cells (FC) and an electric analyzer with hydrogen gas tank. The optimal components of the proposed hybrid system are achieved using the (AEO) Artificial Ecosystem Optimization algorithm to reduce the cost of energy (COE). The reliability index is considered from the Loss of Power Supply Probability (LPSP) and cost of energy with the proposed constraints. The proposed hybrid system is suggested to be located in the spinning factory Latakia Governorate, Syria (length 35.8 and width 35.5). In a related context, the RETSCREEN program was used to obtain the solar radiation and temperature data. Matlab/Simulink software package has been used to simulate and evaluate the overall system and the proposed algorithm. The obtained values were 0.1358$/KWh for COE, 0.4 for LPSP for the proposed constraints in this work.

Keywords: PV, Fuel Cell, Hydrogen , Electrolyzer, FC

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

[*]**Master's Student, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University (formerly Tishreen), Latakia, Syria.**
hamdan.taha@latakia-univ.edu.sy
[**] **Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University (formerly Tishreen), Latakia, Syria.** **Faisalshaban62@latakia-univ.edu.sy**
[***]**Assistant Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University (formerly Tishreen), Latakia, Syria.** **raseel.aljendy@latakia-univ.edu.sy**

التحديد الأمثل لحجم نظام هجين مكون من (خلايا شمسية – خلايا وقود) لتغذية منشأة صناعية في مدينة اللاذقية

حمدان طه *

د. فيصل شعبان **

د. رسيل الجندي ***

(تاريخ الإيداع 12 / 2 / 2026. قُبِل للنشر في 19/ 5 / 2026)

ملخّص

تقدم هذه الدراسة التصميم الأمثل لنظام الطاقة الهجين المتجدد، والذي يتكون من خلايا كهروضوئية، وخلايا وقود، ومحلل كهربائي مزود بخزان غاز الهيدروجين. تم تحقيق المكونات المثلى للنظام الهجين المقترح باستخدام خوارزمية تحسين النظام البيئي الاصطناعي (AEO) لتقليل تكلفة الطاقة. تم حساب مؤشر الموثوقية من خلال احتمالية انقطاع التيار الكهربائي، وتكلفة الطاقة وفقًا للقيود المقترحة. يُقترح وضع النظام الهجين في مصنع الغزل بمحافظة اللاذقية، سوريا (خط طول 35.8°، وخط عرض 35.5°). في سياق متصل، تم استخدام برنامج RETSCREEN للحصول على بيانات الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. كما تم استخدام حزمة برامج Matlab/Simulink لمحاكاة وتقييم النظام ككل والخوارزمية المقترحة. بلغت القيم التي تم الحصول عليها 0.1358$/KWh لتكلفة الطاقة، و0.4 لاحتمالية انقطاع التيار الكهربائي وفقًا للقيود المقترحة في هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية : طاقة شمسية ، خلايا وقود ، هيدروجين ، محلل كهربائي .

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

* طالب ماجستير- قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهمك – جامعة اللاذقية– (تشرين سابقاً)- اللاذقية – سورية .
hamdan.taha@latakia-univ.edu.sy

** أستاذ – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهمك – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) –اللاذقية – سورية.
Faisalshaban62@latakia-univ.edu.sy

*** مدرس – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهمك – جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) – اللاذقية – سورية.
raseel.aljendy@latakia-univ.edu.sy

1- مقدمة:

في الوقت الراهن، يشهد قطاع تكنولوجيا موارد الطاقة المتجددة تطورا سريعا. ورغم هذا التقدم، لا يزال هناك نقص كبير في الطاقة الكهربائية في المناطق النائية مثل الجزر و الريف. و في السنوات الأخيرة، تم تطوير أجهزة الكترونيات القدرة، و استخدامها على نطاق واسع للمساهمة في زيادة انتشار هذه المصادر المتجددة.
إضافة إلى ذلك، فإن المصادر المتجددة مثل الطاقة الشمسية تتسم بطبيعتها بتقلبات متعددة أثناء تشغيلها في نظام الطاقة، مما يؤدي إلى ارتفاع قيمة الجهد الكهربائي المنتج، و بالتالي زيادة الحاجة إلى أنظمة تخزين قادرة على استيعاب الطاقة الفائضة الناتجة عن هذه المصادر.

تم تناول هذه المشكلة في الدراسات السابقة وفق مناهج متباينة، حيث تطرق المرجع [1] إلى نظام طاقة متجددة هجين لخلية وقود الهيدروجين(FC)، وأنظمة الطاقة الشمسية (PV) للتطبيقات المستقلة. يتم استخدام ترتيب النظام هذا لخزان الهيدروجين والبطارية والمحلل الكهربائي مثل تخزين الطاقة. يتم فحص الجدوى الاقتصادية لاستخدام طاقة HRES لتوفير طلب الحمل الكهربائي لمبنى الأبحاث الأكاديمية الهند. يحسب برنامج المنطق الضبابي القيمة المثلى لرأس المال وتكلفة استبدال المكونات، والتي يتم استخدامها بعد ذلك في برنامج Homer Pro لحساب الأداء الأمثل لأنظمة الطاقة المتجددة RES(Renewable Energy System) لتلبية الطلب على الحمل في وقت متأخر من الليل، وفي ساعات الصباح الباكر. يستهلك الحمل الأولي للتيار المتردد 20712.63KWh/year من إجمالي توليد الطاقة من HRES وهو 24570.72KWh/year . يبلغ فائض الكهرباء الذي تنتجه HRES 791.7709KWh/year مع التكلفة المثلى للطاقة والحمل الكهربائي غير الملبى ونقص السعة بنسبة 0 ٪.

و في المرجع [2]، تم تطوير طريقة رقمية لتحسين نظام الطاقة الشمسية والهيدروجينية لتوفير الطاقة المتجددة للأسر المعيشية النموذجية المتصلة بالشبكة. تم تصميم نظام الطاقة الشمسية الهيدروجينية لتلبية الحمل الكهربائي المطلوب، وزيادة جزء الطاقة المتجددة باستخدام السعة المثلى لخلايا الوقود. تم إجراء عملية المحاكاة بواسطة MATLAB بناءً على البيانات التجريبية للحمل الكهربائي والإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة بدقة زمنية مدتها دقيقة واحدة. أظهرت النتائج أن السعة المثلى لخلايا الوقود كانت حوالي 2.25 KW عند 1.8KW من نظام الطاقة الكهروضوئية على أساس متوسط استهلاك الطاقة اليومي البالغ 6.8 KWh. ارتفع جزء الطاقة المتجددة السنوي من 31.82 ٪ إلى 95.82 ٪ بسبب تكامل النظام الكهروضوئي مع خلية وقود 2.25KW تستخدم كوحدة تخزين طاقة قوية. بالإضافة إلى ذلك، أدى إمداد الطاقة، وهو الجانب الاقتصادي للنظام الأمثل، إلى خفض تكلفة الكهرباء بنحو 0.195$/KWh .

أما في المرجع [3] تم إجراء تحليلًا تقنيًا اقتصاديًا لنظام طاقة هجين يعتمد على خلايا الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة لتزويد الحمولة الكهربائية لمجمع تسوق صغير في الهند، و تصميم النظام المقترح من خلال النظر في تكلفة شراء الطاقة وبيعها إلى شبكة المرافق . تم تقديم نمذجة رياضية مبسطة لنظام الطاقة الهجين المقترح، و إجراء تحجيم المكونات لتحسين التكلفة الحالية الصافية للنظام المقترح باستخدام ثلاث خوارزميات تجريبية، أي مستعمرة النحل الاصطناعي، وتحسين سرب الجسيمات وهجين من كليهما. تمت مقارنة النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها من ثلاث خوارزميات من حيث فعالية تكلفة النظام. تم تصميم النظام الهجين لتلبية إجمالي الطلب على الكهرباء البالغ 135 MWh/year لمركز مجتمعي صغير، وقد اتضح من نتائج

المحاكاة أن إجمالي الطلب على الكهرباء يمكن تلبيته باستخدام نظام طاقة شمسية بقدرة 106KW ، وخلية وقود بقدرة 8KW ، ومحلل كهربائي بقدرة 45KW ، وخزان هيدروجين بسعة 150Kg .

في المرجع [4] تمّ تطوير الإعداد التجريبي لتقييم أداء النظام الهجين المكون من نظام طاقة شمسية والبطارية وتوليد الهيدروجين وخلايا الوقود. التيار المباشر الناتج عن نظام الطاقة الشمسية المستخدمة لشحن البطاريات القائمة على الإلكتروليت الصلب مع وحدة منظم الحمل في الواجهة. يوفر المحول موجة جيبية مستقرة 230V تيار متردد لمولد الهيدروجين و 12V تيار مستمر لتغذية النظام الإلكتروني المتصل بالحمل. تم توصيل الهيدروجين المتولد المخزن في علبة الهيدريد المعدني بمكدس خلايا الوقود لتوليد الطاقة عندما يصبح نظام الطاقة الشمسية غير فعال، و مراقبة كفاءة البطاريات في الشحن و التفريغ عن طريق تسجيل الجهد والتيار ومدخلات/مخرجات الطاقة أثناء دورات الشحن والتفريغ.

أما في المرجع [5] فقد تمت محاكاة أنظمة الطاقة الشمسية الموجهة نحو الشمس وخلايا الوقود ومجموعة مولدات غاز الكتلة الحيوية والبطارية الاحتياطية ووحدة تكييف الطاقة وتحسينها للمعهد التعليمي ومركز الطاقة ومعهد مولانا آزاد في ولاية ماديا براديش، الهند. إن مصدر الطاقة الأساسي هو نظام الطاقة الشمسية ومجموعة مولدات غاز الكتلة الحيوية بينما يتم استخدام خلايا الوقود والبطاريات كمصدر للتعزيز. تم استخدام جهاز محاكاة هوميروس لإعادة الإنشاء خارج الشبكة، والتحقق من المعايير المتخصصة والمالية لنظام الطاقة الهجين هذا .

في المرجع [6] تم تقديم مراجعة لأحدث الأبحاث، التي تستخدم هوميروس للتخطيط الأمثل لنظام تقييم الموارد البشرية.

أما المرجع [7] فإنّه يتناول طريقة تصميم جوانب نظام الطاقة الهجين الذي سيستهدف المستخدمين عن بُعد. وهو يؤكد على نظام الطاقة الهجينة المتجددة للحصول على نظام مستقل موثوق به مع تحسين حجم المكونات وتحسين تكلفة رأس المال. يمكن للنظام توفير الكهرباء لقرية نائية. تأتي الطاقة الرئيسية للنظام الهجين من الألواح الكهروضوئية ومولدات الرياح، بينما يتم استخدام خلايا الوقود والبطاريات كوحدات احتياطية. برنامج التحسين المستخدم في هذه الورقة هو هوميروس.

في المرجع [8] فقد تمّ تناول استراتيجية جديدة، تم تحسينها بواسطة الخوارزميات الجينية، للتحكم في الأنظمة الكهربائية الهجينة المتجددة القائمة بذاتها مع تخزين الهيدروجين. تعمل الاستراتيجية على تحسين التحكم في النظام الهجين مما يقلل من التكلفة الإجمالية طوال حياته. يمكن أن يتكون النظام الهجين المحسن من مصادر متجددة (الرياح، الكهروضوئية والمائية)، والبطاريات، وخلايا الوقود، ومولد التيار المتردد، والمحلل الكهربائي

أما المرجع [9] قام بتحقيق استراتيجية إدارة الطاقة (EMS) لمركبة كهربائية هجينة تعمل بخلايا الوقود (FC – HEV). الغرض من هذه الورقة هو ضمان تقسيم الطاقة الأمثل بين نظام خلايا الوقود (FCS) وحزمة البطارية، مع مراعاة ظروف تشغيل نظام خلايا الوقود.

في المرجع [10] فقد ركز الباحثون على إدارة الطاقة القائمة على المنطق الضبابي لنظام طاقة هجين صغير الحجم. يتكون النظام من مصفوفة ضوئية، و خلايا وقود، مدعومة بشبكة أحادية الطور توفر حمل تيار متردد مستقل. تضمن الخوارزمية الإشرافية المقترحة للنظام التبديل الذكي بين وضعي التشغيل، وفقًا لطلب الحمل ومستوى الغاز وتوافر الطاقة الكهروضوئية. من الواضح أنه يتم التحكم في المقطع الرافع في نظام الطاقة الشمسية باستخدام المنطق الضبابي لتتبع نقطة الاستطاعة الأعظمية MPPT .

2- أهمية البحث و أهدافه:

التوزيع الأمثل لاستطاعة نظام هجين بحيث تكون كلفة الكيلو واط الساعي أقل ما يمكن مع تحسين أداء وجودة النظام الكهربائي المقترح عن طريق استخدام خوارزمية تحسين النظام البيئي الاصطناعي AEO (Artificial Ecosystem –Based Optimization)

3- طرائق البحث و مواده:

3-1 مكونات المعمل المراد تغذيته عن طريق النظام الهجين المقترح

❖ مكونات المعمل :

يتكون المعمل المراد تطبيق دراستنا عليه من محطة تحويل الكهرباء، معمل 1 ، معمل 2، أنظمة التبريد، أنظمة الإنارة، المباني الادارية ، مستودعات .

- معمل 1 : سنقوم بتطبيق دراستنا عليه، حيث يتكون من :

الجدول (3-1) أقسام المعمل 1

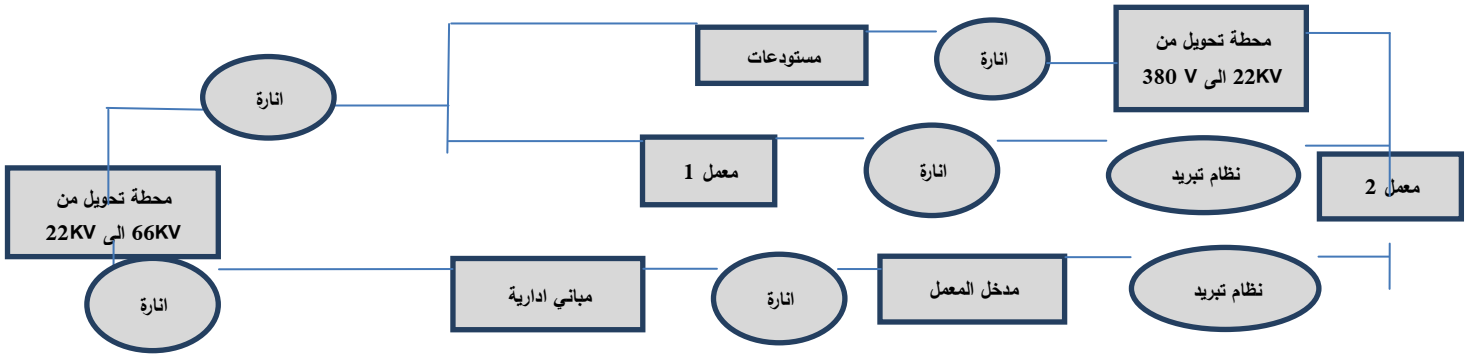
القسم	عدد الآلات	استطاعة كل آلة
آلات الفتح	7	20 KW
آلات الكرد	20	16 KW
آلات السحب الأول	5	25 KW
آلات الجماعة	3	20 KW
آلات التمشيط	18	14 KW
آلات السحب الثاني	5	15 KW
آلات البرم	10	18 KW
آلات الغزل	28	12 KW
آلات التدوير	10	17 KW

* نستعرض في الشكل (3-1) بعض الصور التي تم التقاطها للمعمل:

الشكل (3-1) : صور تم التقاطها من داخل المعمل

مخطط المعمل:

يبين المخطط التالي مكونات المعمل :



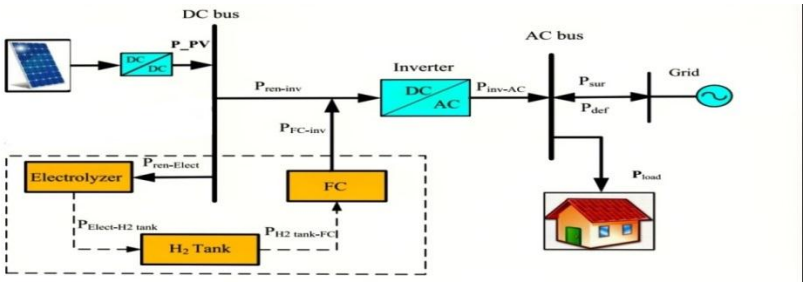
3-2 استراتيجية تشغيل النظام الهجين المستخدم

يتكون النظام الهجين المقترح من خلايا شمسية PV و محلل كهربائي و خزان هيدروجين و خلايا وقود FC سنقوم بشرح الخطوات الاستراتيجية لتشغيل النظام المقترح على النحو التالي :

- يتم تغذية الحمل بشكل رئيسي من النظام الشمسي PV و الفائض في الطاقة التي يوفرها النظام الشمسي عن احتياجات الحمل تذهب الى المحلل الكهربائي و الذي يقوم بتحليل الماء الى هيدروجين و اوكسجين و يتم تخزين الهيدروجين على شكل طاقة كيميائية في خزان الوقود
- اذا كان يوجد طاقة كهربائية فائضة عن المحلل الكهربائي فيتم نقل الاستطاعة الفائضة الى الشبكة الوطنية في حال كان النظام متصل بالشبكة
- اذا كان يوجد عجز في الطاقة الكهربائية المتجددة الناتجة عن PV في تغذية الحمل فيتم تغطية العجز بالطاقة عن طريق الطاقة الكيميائية للهيدروجين المخزنة في خزان الهيدروجين من خلال نظام FC
- عندما يصبح مستوى الهيدروجين في الخزان أقل من المستوى الأدنى المسموح به يتم سد النقص في الطاقة الكهربائية المطلوبة لتغذية الحمل من الشبكة العامة في حال كان النظام متصل بالشبكة أو من مولدات الديزل .

3-3 الوصف الرياضي للنظام الهجين المقترح

يتكون النظام الهجين المقترح من محطة الطاقة الكهروضوئية PV ، خلايا الوقود FC ، العاكس ، خزان الهيدروجين ، محلل الماء الكهربائي يوضح بالشكل (3-3) :



الشكل (3-3) النموذج الرياضي للنظام المقترح و مكونات النظام

❖ **النموذج الكهروضوئي :**

الطاقة الكهربائية المولدة من سلسلة من الخلايا الكهروضوئية

يتم التعبير عن الخلايا الكهروضوئية على النحو التالي :

$$P_{pv}(t) = N_{pv} \times A_{pv} \times n_{pv} \times G_{(t)} \quad (1)$$

N_{pv} : عدد الوحدات الكهروضوئية .

A_{pv} : مساحة الوحدة الكهروضوئية.

n_{pv} : كفاءة النظام الكهروضوئي.

$G_{(t)}$: كثافة الشعاع الشمسي.

$$n_{pv}(t) = n_r \times n_t \times \left[1 - \beta_T \times (T_c(t) - 25) - \beta_T \times G(t) \times \left(\frac{T_{nom} - 20}{800}\right) \times (1 - n_r \times n_t)\right] \quad (2)$$

n_r : الكفاءة المرجعية ، و هي القيمة القياسية أو المثالية المستهدفة للكفاءة .

n_t : كفاءة نظام تتبع نقطة الاستطاعة الأعظمية (MPPT) ، و هي النسبة الفعلية التي يحققها الجهاز في استخلاص أقصى طاقة من الألواح الشمسية .

β_T : معامل درجة الحرارة .

T_c : درجة حرارة الخلية الحالية.

T_{nom} : درجة حرارة الخلية الاسمية.

❖ **المحلل الكهربائي و خزان الهيدروجين و خلايا الوقود**

يستخدم المحلل الكهربائي لتحليل جزيئات الماء الى الهيدروجين و الاوكسجين من خلال تدفق التيار المباشر من قطب الى الاخر، و في معظم المحللات الكهربائية يتم جمع الهيدروجين عند ضغط 30bar ، ولكن يتم توفير الهيدروجين الى FC عند ضغط منخفض قدره 30bar .

هناك طريقتان لتخزين الهيدروجين المنتج، في معظم الدراسات يتم نقل الهيدروجين الناتج مباشرة الى خزان الهيدروجين بينما في دراسات أخرى يتم رفع الضغط الى 200bar بمساعدة الضاغط، و السبب في ذلك هو زيادة الطاقة المخزنة في الخزان، حيث تم استخدام الخزان لتقليل الطاقة التي يستهلكها الضاغط قدر الامكان لأنه لن يتم استخدامه كل الوقت. في هذه الدراسة يتم نقل الهيدروجين المجمع مباشرة الى خزان الهيدروجين عند ضغط 30bar .

يمكن التعبير عن النموذج الرياضي للمحلل الكهربائي على النحو التالي :

$$P_{Elect-tank} = P_{ren-Elect} \times n_{Elect} \quad (3)$$

$P_{ren-Elect}$: هي الطاقة الكهربائية الناتجة عن الطاقة الكهروضوئية نحو المحلل الكهربائي للماء

n_{Elect} : مردود المحلل الكهربائي

$P_{Elect-tank}$: الطاقة التي يتم توفيرها لخزان الهيدروجين من المحلل الكهربائي للماء

يمكن تخزين هذه الطاقة الكهربائية داخل خزان $E_{tank}(t)$ على النحو التالي :

$$E_{tank}(t) = E_{tank}(t-1) + \left(P_{Elect-tank}(t) - \frac{P_{tank-FC}(t)}{n_{storage}}\right) \times \Delta t \quad (4)$$

$E_{tank}(t-1)$: الطاقة الكهربائية المخزنة داخل خزان غاز الهيدروجين في الفترة السابقة

$P_{tank-FC}(t)$: تدفق الطاقة من خزان الهيدروجين الى خلايا الوقود

$n_{storage}$: مردود خزان غاز الهيدروجين 95%

Δt : فواصل زمنية بين نقاط المحاكاة 1h

الطاقة الكهربائية المتراكمة في خزان الهيدروجين يتم حساب الغاز كدالة لكتلة الهيدروجين على النحو التالي :

$$M_{tank\ (t)} = \frac{E_{tank}(t)}{HHV_{H2}} \qquad (5)$$

HHV_{H2} : قيمة تسخين غاز الهيدروجين تؤخذ عادة $39.7\frac{\mathrm{KWh}}{\mathrm{m^2}}$ [11] .

$M_{tank\ (t)}$: كتلة الهيدروجين داخل الخزان

يجب أن تكون كمية الهيدروجين في أي وقت اثناء تشغيل النظام المقترح بين الحد الأقصى المسموح به $(M_{tank,max})$ و الحد الأدنى $(M_{tank,min})$:

$$M_{tank,min} \le M_{tank}(t) \le M_{tank,max} \qquad (6)$$

$$E_B = P_{ren} - \frac{P_{load}}{\eta_{inv}} \qquad (7)$$

و هنا نناقش حالتين :

1_ في حال كانت

$$P_{ren} > \frac{P_{load}}{\eta_{inv}} \quad \text{يكون} : \qquad (8)$$

$$E_{tank}(t) = E_{tank}(t-1) \times \eta_{storage} + P_{ELEC}(t) \qquad (9)$$

$$M_{tank\ (t)} = \frac{E_{tank}(t)}{HHV_{H2}}$$

2_ في حال كانت $P_{ren} < \frac{P_{load}}{\eta_{inv}}$ يكون : (10)

$$E_{tank}(t) = \left[E_{tank}(t-1) \times \eta_{storage}\right] - \frac{P_{FC}(t)}{\eta_{FC}} \qquad (11)$$

$$M_{tank\ (t)} = \frac{E_{tank}(t)}{HHV_{H2}}$$

يتم صياغة كفاءة تحويل الطاقة PEMFC على النحو الآتي :

$$P_{Fc-inv} = P_{tank-Fc} \times n_{Fc} \qquad (12)$$

n_{Fc} : 50%

$$P_{tank-Fc} = M_{tank.i} \times HHV_{H2} \qquad (13)$$

❖ نموذج الانفرتر (Inverter)

يتم استخدام الجهاز الالكتروني العاكس DC/AC لتوفير التيار المتردد للمستهلكين .

يتم التعبير عن نموذج العاكس من حيث طاقة الخرج التي يتم تسليمها الى الحمل :

$$P_{inv-Ac} = (P_{FC-inv} + P_{ren-inv}) \times n_{inv} \qquad (14)$$

$P_{ren-inv}$: الطاقة الكهربائية المقدمة للمستهلكين من RES

n_{inv} : كفاءة العاكس و يفترض ان تكون 90%

3-4 صياغة مشكلة الحل الأمثل

- **كلفة الطاقة**

الهدف الرئيسي لمشكلة الحل الأمثل في هذه الدراسة هو تزويد الحمل بالطاقة الكهربائية من النظام الهجين المتجدد المقترح بحد أدنى من COE (وظيفة التكلفة الحالية الصافية NPC) ، و هو مؤشر التكلفة السنوية للنظام ، ($C_{ann-tot}$) التكلفة السنوية للنظام الهجين المقترح يشتمل على الفائدة السنوية للتكلفة الرأسمالية، تكلفة التشغيل و الصيانة (هي أدنى جزء في حالة الأنظمة المتجددة)، وتكلفة الاستبدال، وتكلفة العقوبة لنظام متصل مع الشبكة يجب اضافة مكونان الى التكلفة السنوية تكلفة الطاقة المشتراة من الشبكة ، و تكلفة الطاقة المباعة الى الشبكة .

- التكلفة السنوية للاستبدال لكل نظام فرعي يتم حسابها على النحو الآتي :

$$C_{ann-rep} = C_{rep-i}\frac{(M_{sys} - M_i)}{M_i} \qquad (15)$$

M_{sys} : عمر النظام الهجين بأكمله 25 سنة

عندما يكون عمر النظام الفرعي أقل من عمر المشروع ، يعني أن تكلفة الاستبدال ستكون مشمولة

- صافي التكلفة الحالية NPC (Net Present Cost):

$$NPC = \frac{C_{ann-tot}}{CRF} \qquad (16)$$

$C_{ann-tot}$: التكلفة السنوية للنظام الهجين المقترح

CRF : عامل استرداد رأس المال في النظام

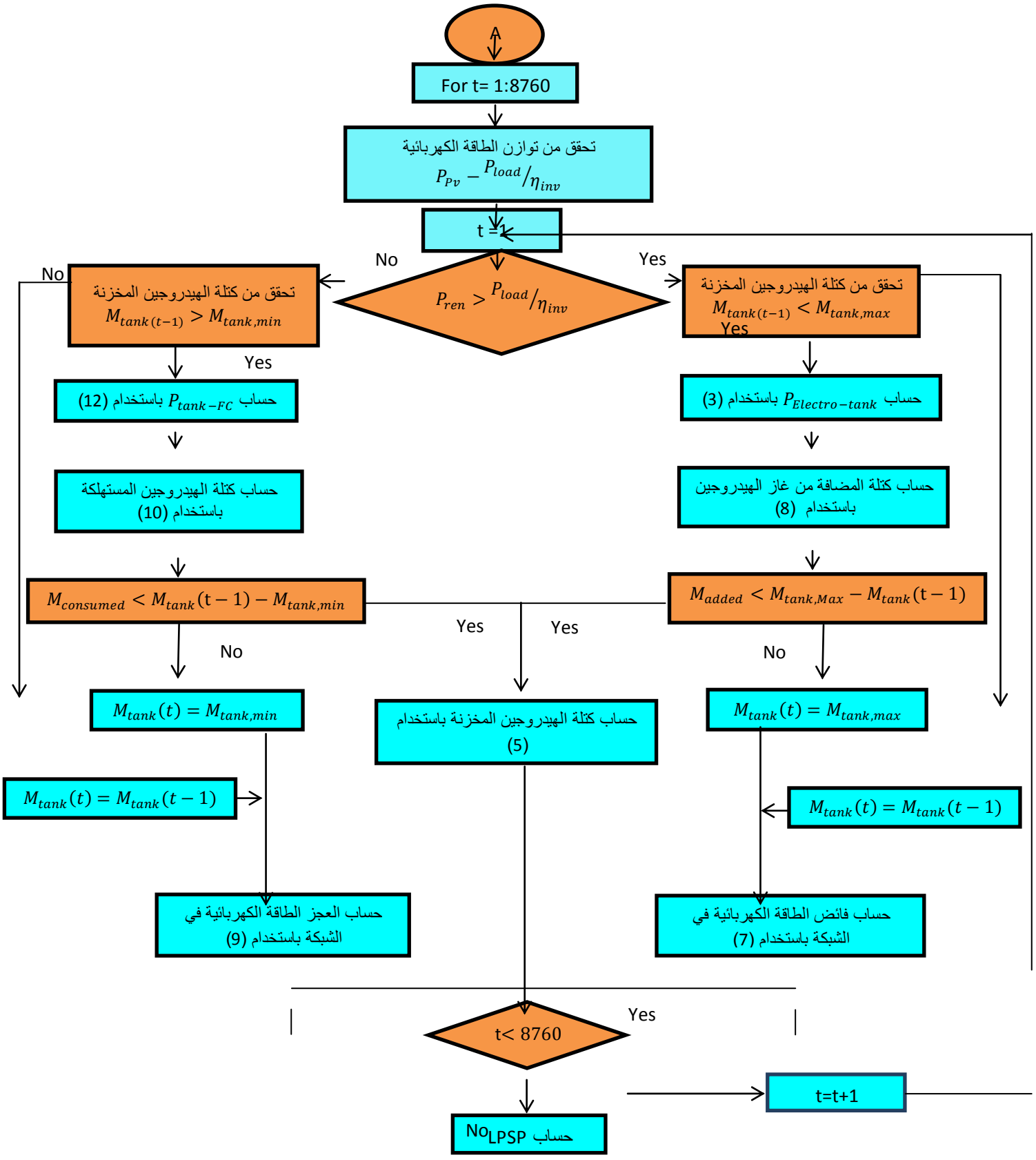
* يتم حساب كلفة الطاقة السنوية COE وفق ما يلي :

$$\text{COE} = \frac{C_{ann-tot}}{\sum_{h=1}^{h=8760} P_{load}} = \frac{NPC \times CRF}{\sum_{h=1}^{h=8760} P_{load}} \qquad (17)$$

* يتم حساب معدل الموثوقية للنظام وفق ما يلي :

$$LPSP = \frac{\sum_{i=1}^{8760}\left[P_{load}(t_i) - \left(P_{PV}(t_i) + P_{FC-inv}(t_i)\right)\right]}{\sum_{i=1}^{8760} P_{load}(t_i)} \qquad (18)$$

يبين الشكل (3-4) المخطط الصندوقي لاستراتيجية تشغيل النظام الهجين المستخدم خلال سنة كاملة اي 8760h حيث يتم ادخال بيانات الاشعاع الشمسي درجة الحرارة و بيانات الطلب على الحمل :



الشكل (3-4): المخطط الصندوقي لاستراتيجية تشغيل نظام الطاقة الهجين PV/FC

3-5 وصف خوارزمية تحسين النظام البيئي الاصطناعي Artificial Ecosystem Optimization (AEO)

الهدف من هذه الخوارزمية هو الحصول على الحل الأمثل و الأفضل عبر محاكاة سلوكيات العناصر في البحث عن الحل الأفضل، و بالتالي فإن أي نظام يعتمد على هذه الخوارزمية سيتشكل في البداية من تجمع عشوائي من الحلول العشوائية و يتم البحث ضمن هذا التجمع عن الحل الأمثل و ذلك عبر تحديث الأجيال.

سنقوم بتدريب عناصر لنخلق عنصر فريد و ننشئ دالة حسب العناصر الموجودة

AEO هي خوارزمية تحسين مستوحاة من الطبيعة، مستوحاة من تدفق الطاقة في نظام بيئي على الأرض. يمكن التعبير عن النظام البيئي على أنه مجموعة من الكائنات الحية التي تعيش في مساحة معينة ويصف النظام البيئي العلاقات بينها.

يحاكي AEO ثلاثة سلوكيات فريدة للكائنات الحية، والتي تشمل ثلاث مراحل، الإنتاج والاستهلاك والتحلل.

في المرحلة الأولى (المنتجين)، لا تحتاج إلى الحصول على الطاقة من الآخرين

حيث أن معظم المنتجين هم أي نوع من النباتات الخضراء .

في المرحلة الثانية (المستهلكين)، يتم تمثيل الحيوانات كمستهلكين، حيث لا يمكنهم صنع طعامهم. تحصل هذه الحيوانات على العناصر الغذائية من منتج أو مستهلكين آخرين.

المرحلة الأخيرة هي المتحللات، حيث تتغذى على كلا المنتجين (النباتات الميتة) أو المستهلكين (نفايات الكائنات الحية)

1_ المنتج :

في هذه المرحلة يتم انتاج فرد جديد بشكل عشوائي بين فردا بدأ بشكل عشوائي في مساحة البحث (Xrand) و أفضل فرد (Xn) ، أسوء فرد (المنتج) يتم تحديثها بواسطة الحدود العليا و المنخفضة لمساحة البحث و أفضل فرد (محلل) هذا الفرد المحدث يرشد الأفراد الاخرون عن مناطق مختلفة . هذا السلوك يشارك في التوازن بين البحث الاستكشافي و الاستغلالي.

يمكن التعبير عن النموذج الرياضي لهذه المرحلة على النحو التالي :

$$\chi_1(t+1) = (1-a)\chi_m(t) + a\chi_{rand}(t) \qquad (1)$$

$$a = (1 - tMax.Iter)k_1 \qquad (2)$$

$$x_{rand} = k(UP - LW) + LW \qquad (3)$$

k_1 : رقم عشوائي بين $[0,1]$

$Max.Iter$: الحد الأقصى لعدد التكرارات

a : المعامل المستخدم للترجيح الخطي

m : عدد السكان

LW و UP : الحدود الدنيا والحدود العليا

k : ناقل عشوائي بين $[0,1]$

2_ مستهلك :

يسمح الاستهلاك للخوارزمية بتحديث حلول الأفراد فيما يتعلق إما بالحل الذي يقدمه حل الفرد المختار عشوائيًا بمستوى طاقة أعلى، أو عملية الإنتاج، أو كليهما. يمكن أن يعزز استكشاف الخوارزمية .

تُستخدم رحلة Levy لتعزيز مستوى الاستكشاف وتقليد آلية البحث عن الطعام للعديد من الحيوانات. يمكن وصف رحلة Levy على النحو التالي :

$$C = \frac{1}{2}\ \frac{v_1}{|v_2|} \qquad (4)$$

$$v_1 N(0,1),\ v_2 N(0,1) \qquad (5)$$

$N(0,1)$: يمثل التوزيع الطبيعي

سيساعد عامل الاستهلاك هذا كل مستهلك على الحصول على الطعام باستخدام استراتيجيات صيد مختلفة .

هناك ثلاثة أنواع من المستهلكين على النحو التالي:

* نوع العاشب، الذي يأكل المنتجين والمستهلكين فقط.
* نوع آكل اللحوم، الذي يأكل فقط المستهلكين الذين لديهم مستوى طاقة أعلى.
* نوع الحيوانات آكلة اللحوم، الذي يأكل المستهلكين الآخرين الذين لديهم مستويات طاقة أعلى و/أو المنتجين.

بناءً على اختيار عشوائي، يمكن تصنيف المستهلك كواحد من الأنواع الثلاثة المذكورة. يمكن تمثيل النموذج الرياضي للمستهلك، عند اختياره كنوع من الحيوانات العاشبة، على النحو التالي:

نوع العاشب، الذي يأكل المنتجين والمستهلكين فقط.

نوع آكل اللحوم، الذي يأكل فقط المستهلكين الذين لديهم مستوى طاقة أعلى.

نوع الحيوانات آكلة اللحوم، الذي يأكل المستهلكين الآخرين الذين لديهم مستويات طاقة أعلى و/أو المنتجين.

بناءً على اختيار عشوائي، يمكن تصنيف المستهلك كواحد من الأنواع الثلاثة المذكورة. يمكن تمثيل النموذج الرياضي للمستهلك، عند اختياره كنوع من الحيوانات العاشبة، على النحو التالي:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + C.\left(x_i(t) - x_1(t)\right),\ forall\ i\ \epsilon\ (2,\dots,n) \qquad (6)$$

* يمكن التعبير عن النموذج الرياضي للمستهلك، عند اختياره كنوع لاحم (آكلة اللحوم)، كما يلي :

$$\begin{cases} x_i(t+1) = x_i(t) + C.\left(x_i(t) - x_j(t)\right),\ forall\ i\ \epsilon\ (3,\dots,n) \\ suchthat \qquad\qquad j = randi(\{2i-1\}) \end{cases} \qquad (7)$$

يمكن التعبير عن النموذج الرياضي للمستهلك، عند اختياره كنوع متعدد التغذية (آكل لكل شيء) ، كما يلي :

$$\begin{cases} x_i(t+1) = x_i(t) + C.\left(r_2(x_i(t) - x_j(t)\right) + (1-r_2)(x_i(t) - x_j(t))),\ i\ \epsilon\ (3,\dots,n) \\ suchthat \qquad\qquad j = randi(\{2i-1\}) \end{cases} \qquad (8)$$

3_ المحلل :

* تتيح عملية التحليل لخوارزمية AEO تحديث حلول الأفراد بناءً على أفضل حل في المجتمع عبر ثلاثة معاملات تحليل، والتي تشمل العامل D و متغيران للوزن e و h. يعمل هذا التحليل على تعزيز خاصية الاستغلال (الاستغلال المحلي) لخوارزمية AEO .

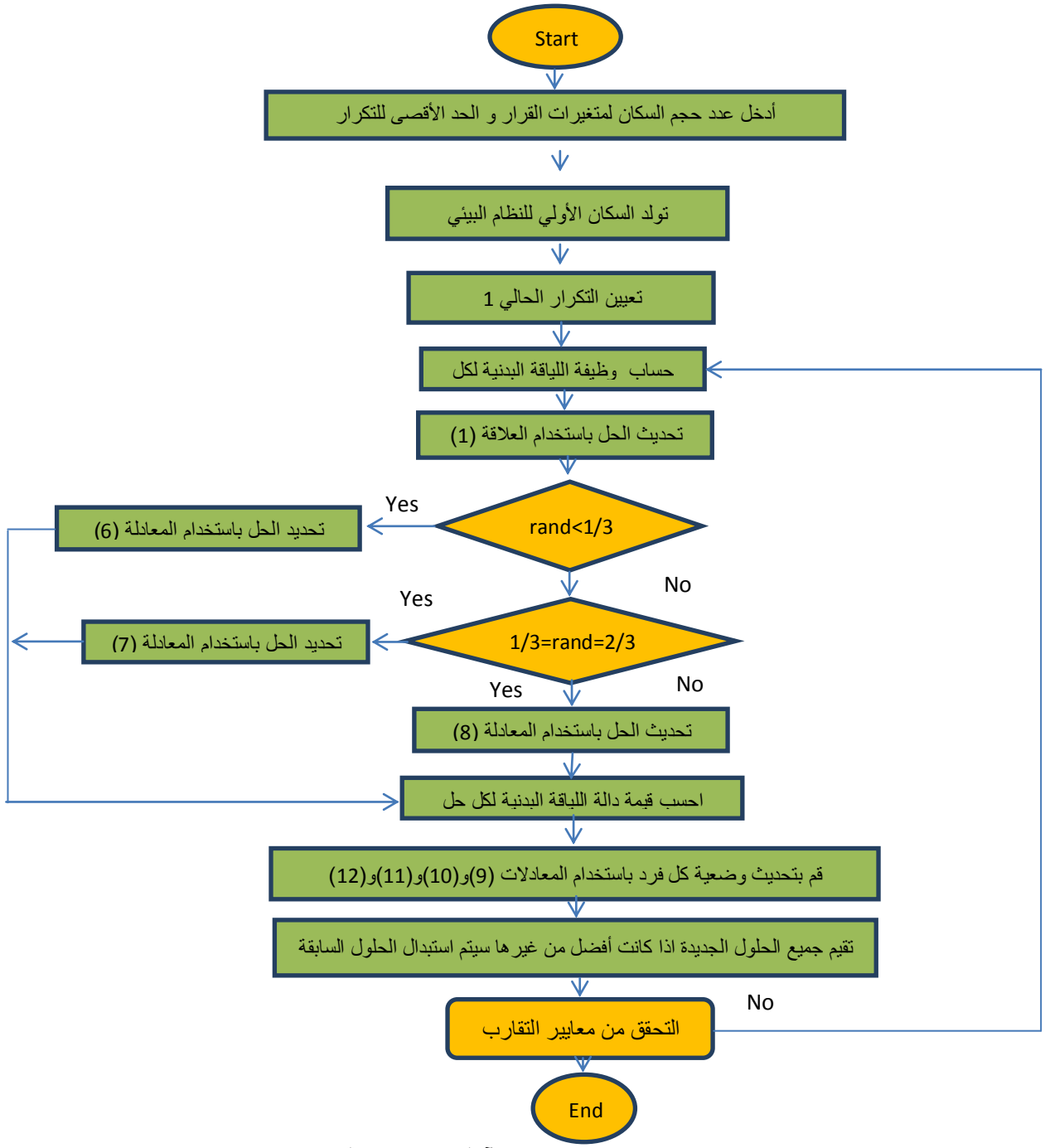
يمكن تحديث موضع الفرد x_i في المجموعة اعتمادًا على المحلل x_n وباستخدام عامل موضع التحلل D ومتغيرين للوزن e و h وفقًا للتعبير التالي :

$$x_i(t+1) = x_n(t) + D.\left(e.x_n(t) - h.x_j(t)\right),,\ i = 1,\dots,n \qquad (9)$$

$$D = 3u \qquad (10)$$

$$e = r_3.randi([12]) - 1 \qquad (11)$$

$$h = 2.r_3 - 1 \qquad (12)$$



الشكل (3–5): المخطط الصندوقي لآلية عمل خوارزمية AEO

يبدأ المخطط الصندوقي لخوارزمية AEO (**الشكل (3–5)**) بإدخال حجم السكان وعدد المتغيرات والحد الأقصى للتكرارات، ثم يتمّ توليد مجموعة حلول ابتدائية عشوائية وتقييمها بحساب دالة اللياقة، وبعد تعيين التكرار الأول تبدأ مرحلة المنتج حيث يتم تحديث أسوأ حل اعتمادًا على أفضل حل وحل عشوائي وفق العلاقة (1) لتحقيق التوازن بين الاستكشاف والاستغلال، ثم تنتقل الخوارزمية إلى مرحلة المستهلك حيث يتم توليد عدد عشوائي rand وبناءً عليه يتم اختيار نوع المستهلك وتحديث الحلول باستخدام إحدى المعادلات (6) أو (7) أو (8) لزيادة قدرة

الخوارزمية على الاستكشاف، وبعد ذلك يتم حساب دالة اللياقة للحلول الجديدة، ثم تأتي مرحلة المحلل التي يتم فيها تحديث مواقع الأفراد بالاعتماد على أفضل حل باستخدام معادلات التحلل (9) و(10) و(11) و(12) لتعزيز الاستغلال وتحسين جودة الحلول، وفي النهاية يتم تقييم الحلول الجديدة واستبدال القديمة إذا كانت أفضل، ثم يتم التحقق من شرط التوقف، فإذا لم يتحقق يتم تكرار هذه الخطوات بشكل متتابع حتى الوصول إلى الحل الأمثل.

6-3 تابع الهدف (Objective function)

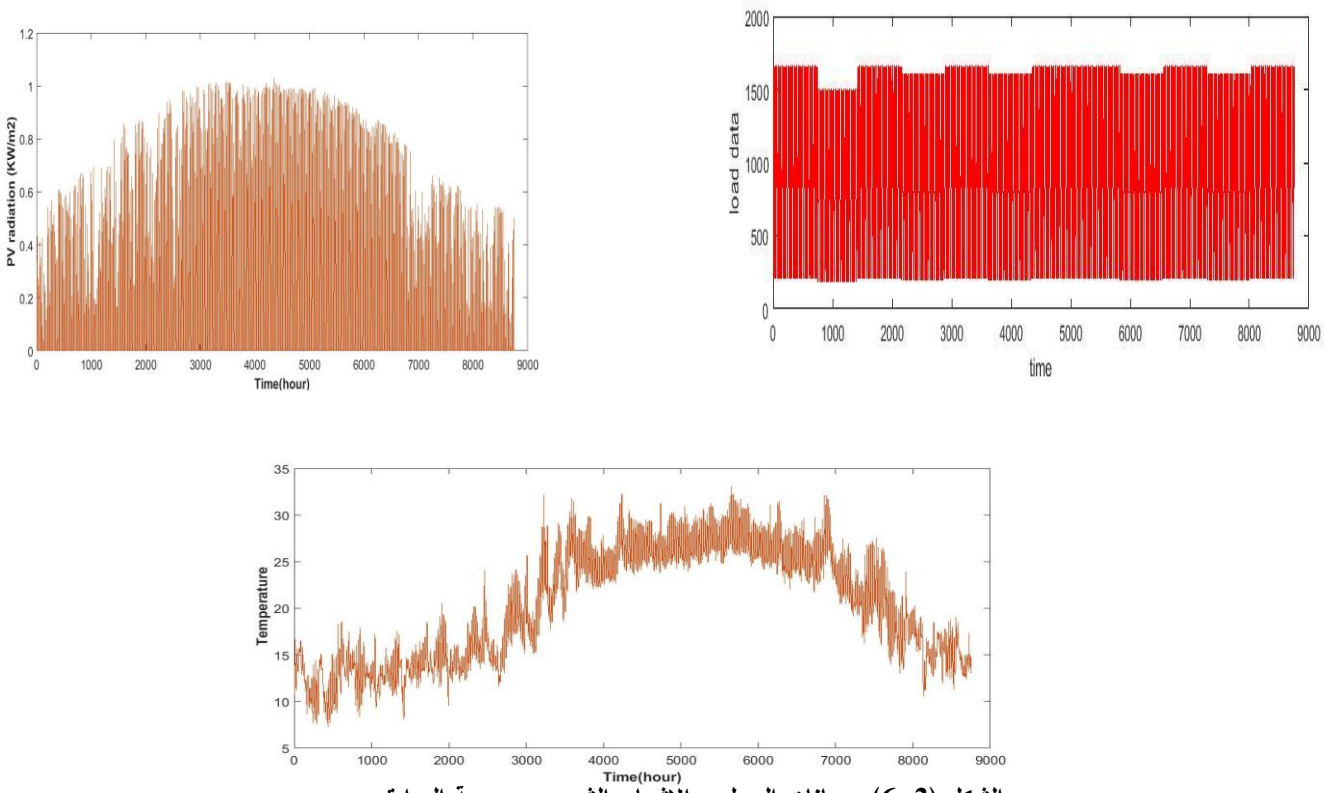
يتم في هذه الدراسة استخدام مكونات النظام (PV/FC) بشكل منفصل عن الشبكة ، ويتم تقديم تابع الهدف في العلاقة (19) مما يضمن التقليل الى الحد الأدنى من COE و LPSP و تقليل متوسط الاستطاعة المهدورة .

$$minf = \min(\lambda_1 COE + \lambda_2 P_{dum} + \lambda_3 LPSP) \qquad (19)$$

يتم تحديد λ_3 وλ_2 وλ_1 بناء على مبدأ التجربة و الخطأ حتى للوصول الى القيم المثلى. يتم تطبيق خوارزمية AEO لتوليد التصميم الأمثل للتكوينات المقترحة باعتماد ما يلي من القيود :

$$LPSP \leq \beta_L$$
$$M_{tank,min} \leq M_{tank} \leq M_{tank,max}$$
$$P_{dummy}(t) \leq P_{dummy,Max}$$
$$P_{FC-inv}(t) \leq P_{FC,Max}$$

- تم باستخدام برنامج RetScreen الحصول على البيانات المطلوبة و التي هي درجة الحرارة، والاشعاع الشمسي، و تم تحويل البيانات مع بيانات الحمل التي تم الحصول عليها من المعمل الى مصفوفة ليسهل التعامل معها ضمن برنامج الماتلاب .
- يوضح الشكل (3-6) رسم بياني يبين فيه بينات الحمل و الاشعاع الشمسي و درجة الحرارة :



الشكل (3-6): بيانات الحمل و الاشعاع الشمسي و درجة الحرارة

جدول (3–6) يبين لنا مواصفات وتكاليف مكونات النظام المدروس [11]

المكونات	PV modules	Electrolyzer	Hydrogen tank	FC	Inverter
Capital cost (US$/unit)	200	1200	1000	2300	800
Replacement cost(US$/unit)	_	900	700	1700	750
O&M cost (US$/unit–year)	5	25	15	175	8
Life span (year)	25	20	20	5	15
Efficiency (%)	21	60	97	50	95

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة التصميم الأمثل للنظام الهجين المقترح، تم التحقق من صحة دقة تقنية AEO المقترحة . يمثل الحجم الأمثل في الوظائف الموضوعية المقدمة في العلاقة (19) . و متغيرات التحسين هي عدد الوحدات الكهروضوئية (N_{PV}) ،القيمة المقدرة للمحلل الكهربائي $(P_{elect-rated})$ ، كتلة خزان غاز الهيدروجين $(M_{tank,max})$ ، القيمة المقدرة لقدرة خلايا الوقود $(P_{FC-rated})$ ، القيمة المقدرة لقدرة العاكس $(P_{inv-rated})$.

4–النتائج والمناقشة:

- تم تحديد الحدود الدنيا و الحدود العليا لمتغيرات النظام :

$$[N_{pv}, P_{ELEC}, M_{tank}, P_{FC}]$$

1b=[5000, 1000 , 300 ,1000]

Ub=[9000 , 5000 , 3000 , 2000]

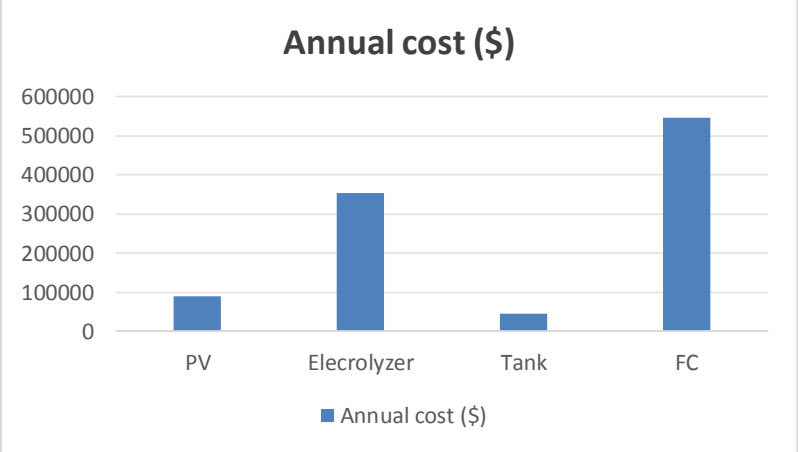
Dim = 4

الجدول (4–1): نتائج مكونات النظام بالاعتماد على خوارزمية AEO لأجل نظام PV/FC الهجين المنفصل عن الشبكة

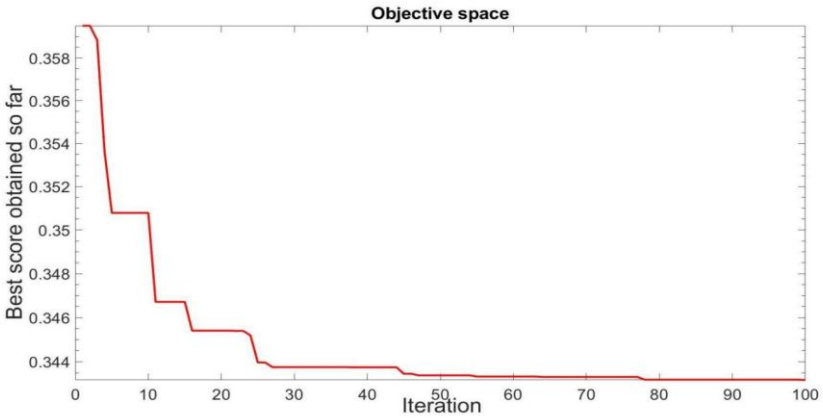
Best fitness function	0.3673
PV(units)	7500
Electrolyzer (KW)	2.0211×10^3
Hydrogen tank (Kg)	318.6199
Fuel cell (KW)	515.2108
DC/AC converter (KW)	2×10^3
$P_{Tot_{Pv}}$ (KW)	1.3144×10^7
$P_{Tot_{Load}}$ (KW)	8.0888×10^6
COE ($/KWh)	0.1358
C_{ann_tot} ($)	1098100
LPSP	0.4063
P_{dummy} $(KW\text{h})$	204220
P_{dum}	0.2525
Cs ($/KWh)	0.2
Cgs ($)	40844

تبين نتائج تشغيل الخوارزمية في الجدول (4−1) أن أفضل حل هو0.3673 حيث تم استخدام 7500 لوح شمسي، و محلل كهربائي باستطاعة 2.0211×10^3 KW، و خزان هيدروجين بسعة 318.6199 Kg و خلايا وقود باستطاعة 515.2108 KW ، و بلغ انتاج الطاقة من النظام الشمسي خلال سنة 1.3144×10^7KW، و بلغ الحمل الاجمالي خلال سنة $8.0888 \times 10^6 KW$ و كلفة النظام الاجمالية 1098100$ ، و بلغت قيمة الطاقة الفائضة 204220 KW، و كان معدل الموثوقية 0.4063 ، و كلفة الطاقة 0.1358$/KWh .

حسب استراتيجية تشغيل النظام ، فإن التغذية الأساسية للمعمل هي من النظام الشمسي و الفائض عن الحمل سيتم توجيهه إلى المحلل الكهربائي من أجل إنتاج الهيدروجين و تخزينه في خزان الهيدروجين من أجل استخدامه وتحويله إلى طاقة كهربائية عن طريق خلايا الوقود في أوقات العجز (أوقات الليل و الأيام الغائمة) ، و بسبب أزمة النفط و الغاز في المنطقة بسبب الظروف الإقليمية و برنامج التقنين الكهربائي الغير منتظم لا يمكن الاعتماد على الشبكة الوطنية في تغذية المعمل في أوقات العجز، هذا ما يجعلنا نحتاج إلى استخدام عدد كبير من الألواح الشمسية ، حيث تم اعتماد بناء على نتائج الخوارزمية المستخدمة 7500 لوح شمسي من أجل استخدام الفائض من الطاقة الشمسية في تغذية المحلل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين و تخزينه في خزان الهيدروجين من أجل استخدامه في تغذية المعمل في أوقات انعدام الاشعاع الشمسي، والأيام الغائمة عن طريق خلايا الوقود ، وكانت النتيجة أن COE=0.1358$/KWh أي ما يعادل 1765 ليرة سورية حيث أن كلفة الكيلو واط الصناعي من الشبكة الوطنية هو 1800 ليرة سورية، و هذا ما يبرهن أن النظام المدروس مجدي اقتصاديا بالإضافة إلى أهمية المعمل الاقتصادية و توفيره لمئات فرص العمل .

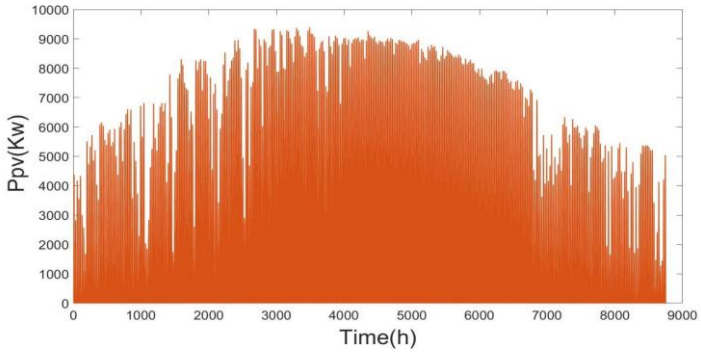


الشكل (4−1): الكلفة الإجمالية لكل مكون من مكونات النظام



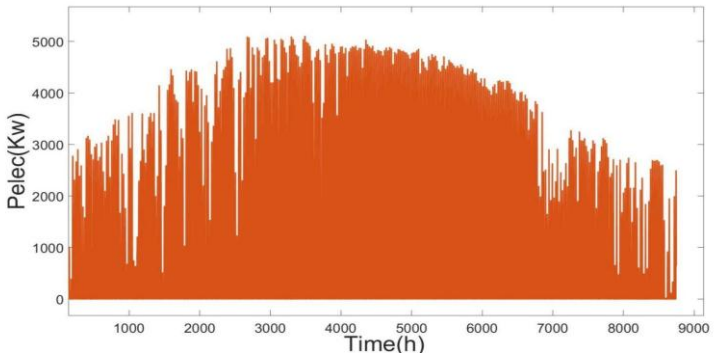
الشكل ((4–2)): الحل الأفضل بالاعتماد على خوارزمية AEO لأجل نظام PV/FC الهجين المنفصل عن الشبكة

يشير هذا السلوك إلى كفاءة الخوارزمية في استكشاف الحلول وتحسينها نحو أمثلية عملية، مع تحقيق تحسن واضح في معيار الأداء بنسبة تصل إلى حوالي 4%. يعكس ذلك قدرة الخوارزمية على تحسين إدارة الطاقة الهجينة بين المصدر الشمسي المتغير وتخزين الهيدروجين المستقر، مما يحقق توازناً فعالاً في تلبية الحمل الكهربائي.



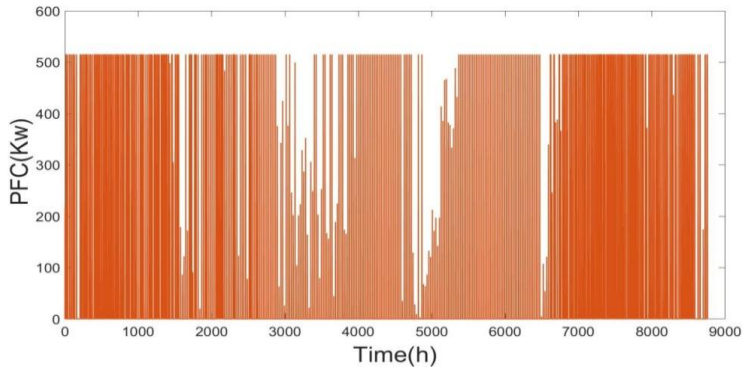
الشكل (4–3): التشغيل السنوي للنظام الشمسي (PV) خلال سنة 8760 ساعة

يُظهر المنحني البياني (الشكل(4–3)) تتبعاً زمنياً لأداء نظام الطاقة الشمسية. نلاحظ أن كلا المنحنيين يبدآن بقيم متقاربة نسبياً، ثم يتجهان صعوداً بشكل ثابت حتى يبلغا ذروتهما عند حوالي 4500h من التشغيل، حيث يسجل القياس الفعلي أعلى قيمة له (8900KW).



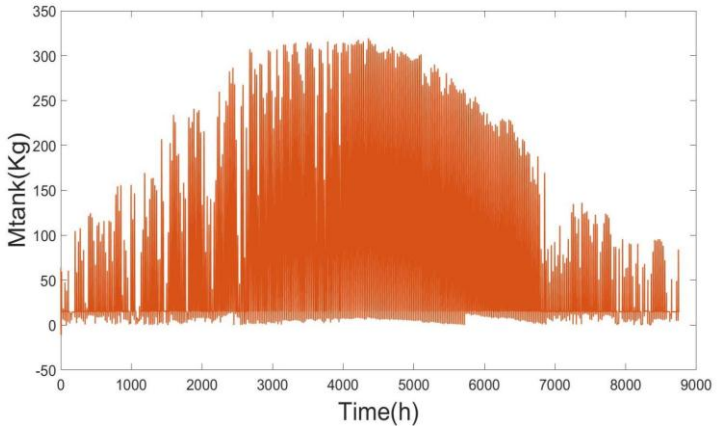
الشكل (4–4): عمل المحلل الكهربائي خلال 8760 ساعة

يظهر منحني أداء المحلل الكهربائي (الشكل(4–4)) نمطاً موسمياً متناغماً، حيث يرتفع استهلاكه للطاقة تدريجياً ليصل إلى ذروته (2000KW) في منتصف الفترة الزمنية، ثم ينخفض بالتدريج حتى نهايتها.



الشكل (4-5) عمل خلايا الوقود خلال 8760 ساعة

يوضح المنحني (الشكل(4-5)) أداء ثابتاً ومستقراً لخلايا الوقود عند 515KW طوال العام، دون أي تذبذب أو تغير. يعكس هذا الثبات المطلق دور خلايا الوقود كمصدر طاقة قاعدي موثوق في النظام الهجين، حيث تُشغّل بشكل متواصل لضمان إمداد مستقر، مما يكمّل التقلبات الطبيعية في الطاقة الشمسية ويُعزز أمن الطاقة الكلي للنظام.



الشكل (4-6): عمل خزان الهيدروجين خلال 8760 ساعة

يبيّن منحني خزان الهيدروجين (الشكل(4-6)) ديناميكية عمل خزان الهيدروجين حيث يزداد المخزون تدريجياً خلال الفترات التي تتوفر بها الطاقة الشمسية، بينما ينخفض في الفترات ذات الإشعاع الشمسي القليل بسبب استخدامه في توليد الكهرباء عبر خلايا الوقود. يحافظ الخزان على مستوى آمن دون الوصول للحالتين القصوى أو الدنيا، مما يعكس كفاءة الخوارزمية في تحقيق توازن مستمر بين الإنتاج الشمسي والاستهلاك.

✧ **جدول التحليل الإحصائي لمدى كفاءة خوارزميةِ AEO في الوصولٌ إلى الحل الأمثل:**

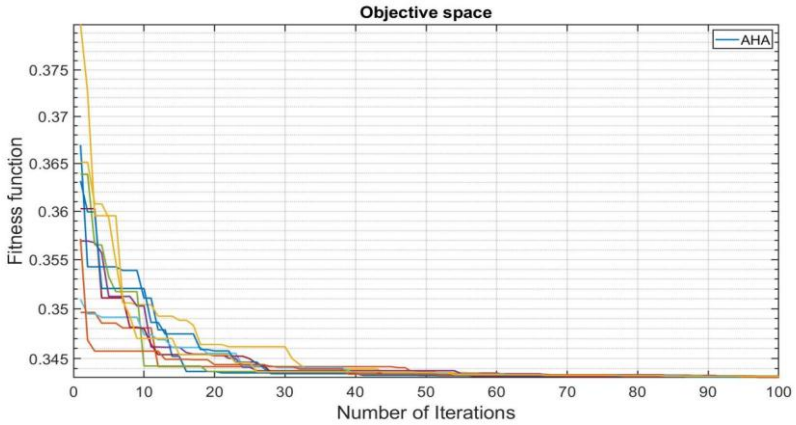
الجدول (4-2): التحليل الإحصائي لمدى كفاءة خوارزميةِ AEO في الوصولٌ إلى الحل الأمثل

Metric	Abbreviation	Value
	Best	0.36730058
	Worst	0.36731519
	Mean	0.36731505
	Median	0.36731507
خطأ نسبي (Relative error)	RE	0.011566343
الخطأ المطلق (Mean absolute error)	MAE	0.000793725
الجذر يعني مربع الخطأ (Root mean squar error)	RMSE	0.000088405

الانحراف المعياري (Standard deviation)	SD	0.003932420
Efficiency	Eff	99.976873

للتحقق من خوارزمية التحسين، تم عرض المؤشرات التي تم تطبيقها لقياس أداء الخوارزمية **الجدول (4–2)** . تظهر النتائج أن نهج التحسين المقترح لديه جذر مقبول لمتوسط الخطأ المربع (RMSE) . علاوة على ذلك ، فإن الانحراف المعياري (STD) يؤكد أن النهج المقترح القائم على خوارزمية AEO لديه استقرار مقبول. علاوة على ذلك ، فإنّ أفضل قيمة دنيا لدالة الهدف هي 0.3673005 . و أسوأ قيمة عليا لتابع الهدف هي 0.367315 .

✧ يبين الشكل (4–7) خاصية التقارب لـ AEO للنظام المدروس



الشكل (4–7): خاصية التقارب لِ AEO للنظام المدروس

يوضح الشكل (4–7) منحنيات التقارب للنهج المقترح تحت تشغيلات مختلفة، حيث يؤكد أنّ النظام لديه منحنيات تقارب جيدة . علاوة على ذلك ، يمكن لتقنيةِ AEO الوصول إلى الحد الأدنى العالمي لدالة الهدف مع سرعة تقارب جيدة .

- تم اجراء محاكاة للنظام الهجين المستخدم لتغذية معمل الغزل ليوم صيفي و يوم شتوي باستخدام البارامترات التالية :

$$[N_{pv}, P_{ELEC}, M_{tank}, P_{FC}]$$

[7500,2021,318.619,515.21]

- **اجراء المحاكاة ليوم صيفي عند الساعة 4378 أي الساعة 10:00 am يوم 1 تموز**

الحمل (KW)	الاشعاع الشمسي $(\frac{KWh}{m^2})$	$M_{tank,4377}$ (Kg)	E_B (KW)	P_{ELEC} (KW)	$E_{tank,4378}$ (KW)	$M_{tank,4378}$ (Kg)
828.1806	1.0118	179.629	3516.86	2021	8911.8616	224.480

- **اجراء محاكاة ليوم شتوي عند الساعة 13 أي الساعة 1:00 pm يوم 1 كانون الثاني**

الحمل (KW)	الاشعاع الشمسي $(\frac{KWh}{m^2})$	$M_{tank,12}$ (Kg)	E_B (KW)	P_{FC} (KW)	$E_{tank,13}$ (KW)	$M_{tank,13}$ (Kg)
1656.4	0.2442	58.0100	−537.09	498.92224	1236	31.1351

5_الاستنتاجات و التوصيات:

في هذه الدراسة تم تنفيذ التصميم الأمثل لمكونات النظام الهجين المقترح خلال عمر 25 سنة للنظام . يتكون هذه النظام المقترح من خلايا كهروضوئية PV ، وخلايا وقود FC ، ومحلل كهربائي، و خزان هيدروجين كنظام تخزين للطاقة و عاكس الذي يسهل تسليم الطاقة التي تم انتاجها كهربائيا للمستهلك .

تمت دراسة النظام الهجين المقترح في حالة أنّه منفصل عن الشبكة لتغذية منشأة صناعية(معمل الغزل) في محافظة اللاذقية، وتم استخدام خوارزمية AEO لحل مشكلة التحسين، وتم إيجاد أفضل القيم المثلى لمكونات النظام المستخدم كما هو موضح بالشكل (4-2) .

تم اختبار خوارزمية AEO على النظام المستخدم عندما يكون منفصلاً عن الشبكة من أجل تقييم فعاليتها، وملاءمتها في حل مشكلة التحسين المدروسة .

تم اجراء محاكاة للنظام، تم الاعتماد على 7500 لوح شمسي و محلل كهربائي باستطاعة 2.0211MW وخلايا وقود باستطاعة 515KW و خزان هيدروجين بسعة 318Kg تم تغطية 60% من الطلب على الحمل بتكلفة اجمالية 1098100$ كما هو موضح بالشكل (4-1)، وقيمة COE هي 0.1358$/KWh و قيمة LPSP هي 0.4 و قيمة Pdum هي 0.2525.

من خلال النتائج واختبار الخوارزمية وتكرارها تبين أن COE=0.1358$/KWh أي ما يعادل 1765 ليرة سورية حيث أن كلفة الكيلو واط الصناعي من الشبكة الوطنية هو 1800 ليرة سورية، و لدينا فائض من الطاقة في كل سنة 204220KW، حيث يمكن بيع الفائض للشبكة و هذا ربح للمشروع .و هذا ما يبرهن أن النظام المدروس مجدي اقتصاديا بالإضافة إلى أهمية المعمل الاقتصادية و توفيره لمئات فرص العمل .

توفر خوارزمية AEO أفضل النتائج بحيث حصلنا على أفضل القيم الدنيا لتابع الهدف و الحد الأدنى لكلفة الطاقة COE ، استنادا الى التصميم الأمثل لمكونات النظام المستخدم وجدنا أن نظام FC لديه أعلى تكلفة رأسمالية و أعلى مستويات تكاليف الصيانة و التشغيل و الاستبدال .

- بالنهاية أثبتت خوارزمية AEO مدى ملاءمتها لحل مشكلة التحسين المدروسة بالإضافة لذلك يمكن استخدام النظام المقترح في مناطق مختلفة و بصدد الدراسة السابقة نوصي بما يلي :

1- دراسة حالة وصل توربين ريحي إلى النظام المدروس و مقارنته مع نظام PV-FC

2- تطبيق الدراسة المقدمة و تنفيذها عمليا.

الرموز المستخدمة: **(4-7)**

DC	Direct Current
AC	Alternative Current
PV	Photovoltaic
FC	Fuel cell
MPPT	Maximum Power Point Tracking
RES	Renewable Energy System
COE	Cost of Energy
AEO	Artificial Ecosystem Optimization
LPSP	Loss off power supply probability
O&M cost	operating and Maintenance costs

References:

[1] A. Singh and P . Baredar and B . Gupta ," Techno-economic feasibility analysis of hydrogen fuel cell and solar photovoltaic hybrid renewable energy system for academic research building",* Elsevier Ltd*, vol. 0196-8904,2017 .

[2] Q. Hassan," Optimisation of solar-hydrogen power system for household applications",* Hydrogen Energy Publications LLC. Published by Elsevier, * vol. 0360-3199,2020.

[3] S. Singh and P . Chauhan and N . Singh," Capacity optimization of grid connected solar/fuel cell energy system using hybrid ABC-PSO algorithm", * Hydrogen Energy Publications LLC. Published by Elsevier *, vol.0360-3199, 2020.

[4] O. Khurshid and S . Saher and A .Qamar, "Power Generation by Hybrid Approach Solar PV/battery Power/hydrogen Generation/fuel Cell",* IEEE * ,vol.978-1-7281-3825-1,19,$31.00 ,2019.

[5] A. Singh and P. Baredar," Techno-economic assessment of a solar PV, fuel cell, and biomass gasifier hybrid energy system",* The Authors. Published by Elsevier * vol.2352-4847, 2016.

[6] S. Bahramara and M.ParsaMoghaddam n and M.Haghifam," Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER",* Elsevier * vol.1364-0321,2016.

[7] A. Rohani and K.Mazlumi and H.Kord," Modeling of a Hybrid Power System for Economic Analysis and Environmental Impact in HOMER",* IEEE * vol. 978-1-4244-6761-7/10/$26.00 ,2010 .

[8] R.López and J.Agustín and J. Contreras, "Optimization of Control Strategies for Stand-Alone Renewable Energy Systems with Hydrogen Storage",* Renewable Energy * vol.10.1016/j.renene.2006.

[9] K. Ettihir and L. Boulon and K. Agbossou," Optimization-based energy management strategy for a fuel cell/battery hybrid power system", *Applied Energy* vol. 163,142–153, 2016.

[10] M, Tiar and A. Betka and S. Drid and S. Abdeddaim and M. Becherif and A. Tabandjat," Optimal energy control of a PV-fuel cell hybrid System,* international journal of hydrogen energy*, vol.1 _1 0,2016.

[11] H.Sultan,A.Menesy,S.Kamal,A.Korashy,S.Almohaimeed,M.Abdel-Akher,"An improved artificial ecosystem optimization algorithm for optimal configuration of a hybrid PV/WT/FC energy system",*ELSEVIER*vol.60,1001-1025, 2021.