



جامعة قاصدي مرباح – ورقلة

كلية: العلوم التطبيقية

شعبة: الهندسة الميكانيكية

تخصص: طاقة

مذكرة مقدمة لاستكمال المتطلبات لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبين: بن يحي محمد & دبلوي فاروق

عنوان المذكرة

تقيم قابلية التوسع لأنظمة الطاقة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة للمباني الحضرية

نوقشت علنيا يوم : 07/06/2026

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

الاسم واللقب	الرتبة العلمية	الصفة
ذكار بوبكر	أستاذ التعليم العالي	رئيساً
شراد نور الدين	أستاذ التعليم العالي	مناقشاً
بلحية حسين	أستاذ محاضر قسم "أ"	مشرفاً

السنة الجامعية: 2025 - 2026



Kasdi Merbah–Ouargla
Faculty of Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Speciality: Energy

Prepared by: Benyahia Mohamed & Deblaoui Farouk

Thesis Title

**Scalability Assessment of On-Grid
PV Systems for Urban Buildings**

Publicly supported on : 07/06/2026

in front of the Jury:

Full Name	Academic Rank	Role
Dekkar Boubaker	Professor	president
Cherrad Noureddine	Professor	Examiner
Belahya Hocine	Professor	Superior

Academic Year:2025 – 2026



شكر و تقدير

الحمد لله رب العالمين. تبارك وتعالى. له الكمال وحده.

والصلاة والسلام على سيدنا محمد نبيه ورسوله الأمين.

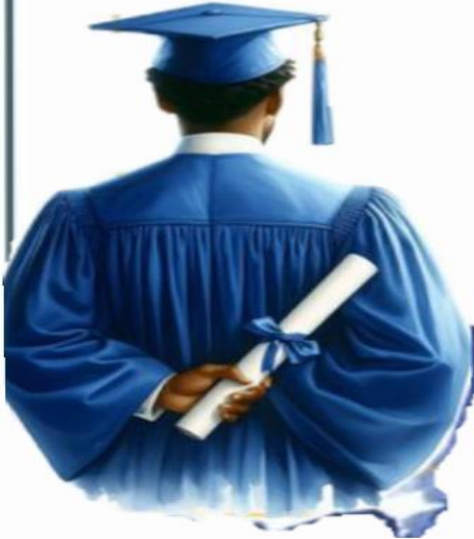
انطلاقاً من باب من لا يشكر الناس لا يشكره الله، نتقدم

بخالص الشكر والتقدير للأستاذ المشرف د. بلحيه حسين على

إرشاداته وتوصياته التي لم يبخل بها علينا يوماً. كما نتقدم

بجزيل الشكر والتقدير إلى أعضاء لجنة المناقشة الموقرة

وجعلها الله في ميزان أعمالهم.





إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أئمة الناس على قلبي،
إلى والديّ الكريمين اللذين كانا سندي ود عمي طوال مسيرتي الدراسية،
حفظهما الله وأطال في عمرهما.
إلى كل أفراد عائلتي الذين شجعوني ووقفوا بجاني في كل الظروف.
إلى أساتذتي الأفاضل الذين قدموا لنا العلم والتوجيه وساهموا في تكويننا
العلمي.
كما أهدي هذا العمل إلى كل زملائي وأصدقائي الذين رافقوني خلال مشوار
الدراسة،
وإلى كل من ساعدني من قريب أو بعيد في إنجاز هذه المذكرة.

د. بلالوي فاروق





إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

"وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحساناً"

أمي وأبي

هما أُملي في الحياة.....

وإلى كل أفراد عائلتي فهم قارب النجاة.....

وإلى كل صديق قريب وبعيد فهم عونِي في الحياة....

أهدي هذا العمل المتواضع لهم جميعاً، أسأل الله أن ينفعنا به في المحيا والممات.....

بن يحيى محمد



الملخص

تتناول هذه الدراسة تقييم أداء وقابلية توسع أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة الكهربائية للمباني الحضرية في الجزائر، مع تحليل جدواها الاقتصادية تحت سيناريوهات دعم الطاقة المختلفة. اعتمدت المنهجية على إجراء محاكاة ديناميكية زمنية مستمرة على مدار سنة كاملة (8736 ساعة) باستخدام برنامج "ترانسيس"، وشملت الدراسة ثلاث مناطق مناخية متباينة لتغطية التنوع الجغرافي الجزائري: الجزائر العاصمة (شمال)، الجلفة (هضاب - عليا شبه جافة) وورقلة (جنوب صحراوي جاف) وذلك تحت حمل استهلاك منزلي سنوي مرجعي موحد قدر بـ 19,059.95 كيلوواط ساعي.

أظهرت نتائج المحاكاة التقنية تبايناً طردياً في المورد الإشعاعي حيث سجلت منطقة ورقلة أعلى إجمالي إشعاع شمسي سنوي بقيمة 8,847,438 كيلوواط/م² وبمتوسط ساعي بلغ 1,012.64 كيلوواط/م²، تليها الجلفة، ثم الجزائر العاصمة كأدنى قيم إشعاعية بـ 7,764,384 كيلوواط/م². وبناءً على هذه المعطيات، جرى تقييم سعة النظام عبر سيناريوهين للتوسع:

السيناريو الأول (سعة 10.92 كيلوواط / 24 لوحاً): أظهرت المؤشرات الفنية قدرة النظام على تغطية الاستهلاك الذاتي بكفاءة، حيث تراوح الإنتاج السنوي بين 18,518 كيلوواط ساعي (الجزائر العاصمة) و20,027.8 كيلوواط ساعي (الجلفة). من الناحية الاقتصادية، حقق هذا السيناريو جدوى مقبولة في ظل التعرفة المدعومة الحالية بفترة استرداد رأس مال مخصومة (DPP) تراوحت بين 8 إلى 9 سنوات، وصافي قيمة حالية (NPV) إيجابي تجاوز 1.9 مليون دج، بينما ارتفعت فترة الاسترداد إلى 24 سنة في حال رفع الدعم، مما يشير إلى حساسية السعات الصغيرة للسياسات السعرية.

السيناريو الثاني (سعة 18.20 كيلوواط / 40 لوحاً): استهدف هذا السيناريو الإنتاج المكثف وضخ الفائض في الشبكة، حيث بلغ الإنتاج ذروته في الجلفة بـ 33,379.71 كيلوواط ساعي. أثبت التحليل المالي أن الأنظمة الأكبر سعة تمتلك حصانة اقتصادية ضد تحولات الدعم؛ إذ استقرت فترة الاسترداد بين 6 إلى 7 سنوات في الحالة المدعومة، ولم تتجاوز 8 سنوات عند رفع الدعم بالكامل، مما يجعله الخيار الاستثماري الأكثر استدامة وموثوقية.

كما كشف تحليل الأداء الحراري أن الإجهاد الناتج عن درجات الحرارة المرتفعة صيفاً في منطقة ورقلة يتسبب في انخفاض نسبي في كفاءة الألواح مقارنة بمناخ الجلفة المعتدل. تخلص الدراسة إلى أن التوسع الممنهج في الأنظمة الكهروضوئية الحضرية يمثل حلاً تقنياً واقتصادياً واعداً لتقليل فاتورة المستهلك، وتخفيف الأحمال الذروية عن الشبكة الكهربائية الوطنية.

الكلمات المفتاحية: الأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة، محاكاة TRNSYS، قابلية التوسع، الأداء الطاقوي، الجدوى الاقتصادية، فترة استرداد رأس المال المخصومة.

Abstract

This study evaluates the operational performance and scalability of grid-connected residential photovoltaic (PV) systems in urban Algeria, alongside a rigorous economic feasibility assessment under shifting energy subsidy scenarios. The methodology utilizes dynamic hourly simulations conducted via TRNSYS software over an annual cycle of 8,736 hours. To account for geographic and climatic diversity, three distinct Algerian provinces were modeled—Algiers (coastal), Djelfa (highlands), and Ouargla (saharan)—under a standardized baseline residential load of 19,059.95 kWh/year.

Technical assessments demonstrated a proportional variance in solar resource availability. Ouargla exhibited the highest cumulative annual solar radiation at 8,847,438 kJ/m² with an hourly average of 1,012.64 kJ/m².h, followed by Djelfa, while Algiers yielded the lowest resource capacity at 7,764,384 kJ/m². Based on these radiation profiles, two system scaling configurations were evaluated:

Scenario 1 (10.92 kWp / 24 Panels): Optimized for self-consumption, this configuration generated between 18,518 kWh/year (Algiers) and 20,027.8 kWh/year (Djelfa). Economically, it proved viable under current subsidized tariffs, yielding a Discounted Payback Period (DPP) of 8 to 9 years and a positive Net Present Value (NPV) exceeding 1.9 million DZD. However, eliminating subsidies extended the DPP drastically to 24 years, highlighting the financial vulnerability of smaller-scale applications to pricing policy shifts.

Scenario 2 (18.20 kWp / 40 Panels): Designed for intensive generation and grid injection, annual output peaked in Djelfa at 33,379.71 kWh. Financial sensitivity analyses indicated that higher-capacity configurations exhibit robust economic resilience; the DPP ranged from 6 to 7 years under subsidized conditions and only escalated to 8 years upon complete subsidy deregulation, marking it as the optimal long-term sustainable investment.

Furthermore, thermal performance analysis indicated that summer ambient temperature spikes in Ouargla induce non-negligible efficiency degradation compared to the more temperate climate of Djelfa. This study concludes that the strategic scaling of urban grid-connected PV systems offers a highly viable techno-economic pathway to lower consumer expenditures and mitigate peak load stress on the national electrical grid.

Keywords: Grid-Connected PV, TRNSYS Simulation, Scalability, Energy Performance, Economic Feasibility, Discounted Payback Period (DPP).

I.....	شكر و تقدير
VI	إهداء
IV.....	الملخص
V.....	فهرس العناوين
IX.....	قائمة الاشكال
X.....	قائمة الجداول
1.....	مقدمة
4.....	الفصل الأول:الاطار المفاهيمي والنظري لانظمة الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة
5.....	مقدمة
5.....	1. الطاقات المتجددة
5.....	1.1 مفهوم ومبدأ النظام الشمسي
5.....	1.1.1 مفهوم الطاقة الشمسية :
6.....	2.1.1 إمكانات الطاقة الشمسية في الجزائر:
6.....	3.1.1 استخدامات الطاقة الشمسية:
7.....	2. الإشعاع الشمسي وأنواعه :
7.....	1.2 مفهوم الاشعاع الشمسي :
7.....	2.2 انواع الإشعاع الشمسي :
8.....	3.2 أهمية الطاقة الشمسية في الجزائر:
8.....	4.2 الوضع الطاقوي في الجزائر:
8.....	3 الخلايا الشمسية (الخلية الكهروضوئية) :
9.....	1.3 النظام الكهروضوئي :
10.....	4 النظام المرتبط بالشبكة
10.....	1.4 مفهوم النظام المرتبط بالشبكة :
10.....	2.4 طريقة عمل النظام :
10.....	3.4 مكونات نظام :
10.....	4.4 دور العاكس (INVERTER) في النظام:
11.....	5.4 كيفية تخزين الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة :
12.....	6.4 فوائد استخدام النظام الشمسي المتصل بالشبكة :
12.....	7.4 مميزات وعيوب الانظمة المرتبطة بالشبكة:

فهرس العناوين

5 مفهوم قابلية التوسع في الأنظمة الكهروضوئية :	12
1.5 تعريف قابلية التوسع :	12
2.5 أهمية قابلية التوسع في الأنظمة الكهروضوئية :	12
3.5 العوامل المؤثرة على قابلية التوسع :	13
4.5 علاقة قابلية التوسع بالنظام المرتبط بالشبكة :	13
6 برنامج "ترانسييس" :	13
1.6 الاصناف :	14
7 خاتمة الفصل :	16
الفصل الثاني:الاطار المنهجي للدراسة الاقتصادية.	18
1. مقدمة :	19
2. تقديم منطقة الدراسة.	19
2.1 معايير اختيار الولايات المدروسة.	19
2.2 الخصائص المناخية للولايات.	19
3. وصف الحمل الكهربائي للمبنى المرجعي.	20
1.3 مبدأ التوحيد.	20
2.3 توزيع الاستهلاك اليومي.	20
3.3 الاستهلاك السنوي الإجمالي.	20
4. مواصفات النظام الكهروضوئي المدروس.	21
4.1 اختيار اللوح الشمسي.	21
4.2 سيناريوهات النظام.	22
4.3 تكلفة الاستثمار الإجمالية.	22
4. الاطار المنهجي للدراسة الاقتصادية:	23
1.4 الاستهلاك الأقصى الثابت :	23
2.4 الفروض المساندة:	23
3. المؤشرات الاقتصادية المعتمدة في الدراسة :	24
4. الإطار القانوني والتحفيزي.	25
5. خاتمة الفصل.	26
الفصل الثالث: المحاكات والنتائج.	27
1 المقدمة:	28
1.2 مخطط بناء نظام المحاكاة :	28

2.2 وصف الحمل المنزلي الموحد :	29
3.2 تمت الدراسة على 3 ولايات:	30
1.3.2 تحليل الأداء الطاقوي لنظام.....	31
الجزائر العاصمة:	31
ولاية الجلفة :	34
2.3.2 تحليل الأداء الطاقوي لنظام في الجلفة تحت حالتين مختلفتين:	35
ولاية ورقلة:	37
3.3.2 تحليل الأداء الطاقوي لنظام تحت حالتين مختلفتين :	38
3 مناقشة النتائج العامة:	41
الجزء الثاني : الدراسة الاقتصادية للنظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة :	42
1. استهلاك الطاقة و التبادل مع الشبكة :	43
2 الدراسة الاقتصادية للنظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة :	43
3 المعطيات الأساسية للدراسة:	43
1.3 الحالة الاولى الاعتماد التام على الشبكة بدون نظام كهروضوئي:	44
2.3 الحالة الثانية: (نظام 24 لوخا).....	44
خاتمة	49
قائمة المراجع	52

قائمة الأشكال

- شكل 1 المتوسط السنوي لشدة الإشعاع الشمسي في بلد الجزائر (كيلوواط ساعة / م² يوم). [3]..... 6
- شكل 2 توليد الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية [4]..... 6
- شكل 3 استغلال الطاقة الشمسية في تدفئة المنازل [4]..... 7
- شكل 4 تصوير جوي لمحطة طاقة شمسية في الصحراء الجزائرية، يبرز الإمكانات الإشعاعية العالية في الوسط الحضري الصحراوي. [5]..... 8
- شكل 5 مكونات لنظام الخلايا الكهروضوئية [8]..... 9
- شكل 6 مخطط تفصيلي يبين تدفق الطاقة في نظام [8]..... 11
- شكل 7 مخطط تدفق و تخزين الطاقة في نظام [8]..... 11
- شكل 8 واجهة تشغيل البرنامج "ترانسيس"..... 13
- شكل 9 مدخلات الصنف b103..... 14
- شكل 10 مخرجات الصنف 103B..... 15
- شكل 11 خلية شمسية ذات قدرة 455 وات..... 22
- شكل 12 مخطط نظام المحاكاة المتكامل..... 28
- شكل 13 منحني استهلاك المنزل اليومي المعتمد في المحاكاة..... 29
- شكل 14 منحني استهلاك المنزل السنوي الموزع على شهور السنة..... 30
- شكل 15 منحني الإشعاع الشمسي السنوي في ولاية الجزائر العاصمة محاكاة (8736 ساعة)..... 31
- شكل 16 محاكاة سنوية لنسبة استهلاك وإنتاج الطاقة ودرجة الحرارة..... 32
- شكل 17 محاكاة سنوية لنسبة استهلاك وإنتاج الطاقة ودرجة الحرارة..... 33
- شكل 18 توزيع الإشعاع الشمسي السنوي في ولاية الجلفة..... 34
- شكل 19 محاكاة سنوية لنسبة استهلاك وإنتاج الطاقة ودرجة الحرارة..... 35
- شكل 20 نسبة استهلاك وإنتاج الطاقة السنوي لسعة 40 لوح..... 36
- شكل 21 توزيع الإشعاع الشمسي السنوي..... 38
- شكل 22 محاكاة سنوية لنسبة استهلاك وإنتاج الطاقة ودرجة الحرارة..... 39
- شكل 23 نسبة استهلاك وإنتاج الطاقة السنوي..... 40

قائمة الجداول

9.....	جدول 1 انواع الانظمة الكهروضوئية
19.....	جدول 2 الخصائص المناخية للولايات المدروسة
20.....	جدول 3 توزيع الاستهلاك اليومي للمبنى المرجعي.....
20.....	جدول 4 الاستهلاك السنوي للمبنى المرجعي
21.....	جدول 5 مواصفات اللوح الشمسي المعتمد
22.....	جدول 6 سيناريوهات النظام الكهروضوئي
25.....	جدول 7 الإطار القانوني والتحفيزي لاستغلال الطاقة الشمسية في الجزائر
33.....	جدول 8 نسبة استقرار النظام
36.....	جدول 9 نسبة استقرار النظام
41.....	جدول 10 نسبة استقرار النظام
42.....	جدول 11 التكلفة الاجمالية للنظام الكهروضوئي
44.....	جدول 12 الحالة الأولى (الحالة المرجعية) :
45.....	جدول 13 المؤشرات الاقتصادية للنظام 24 لوح :
46.....	جدول 14 المؤشرات الاقتصادية للنظام 40 لوح :

المقدمة العامة

المقدمة العامة:

تُعدّ الطاقة من أهم المقومات الأساسية التي يعتمد عليها الإنسان في مختلف مجالات الحياة، إذ ترتبط ارتباطاً مباشراً بالتطور الاقتصادي والاجتماعي والعلمي وقد أصبحت الحاجة إلى الطاقة في تزايد مستمر نتيجة النمو السكاني والتوسع الصناعي والتطور التكنولوجي الذي يشهده العالم في العصر الحديث. تُعدّ الطاقة الكهربائية من أكثر أنواع الطاقة استعمالاً بسبب دورها الكبير في تشغيل الأجهزة والمعدات وتلبية مختلف الاحتياجات اليومية في القطاعات الصناعية والزراعية والخدمية والمنزلية. إعتدت معظم دول العالم خلال فترات طويلة على مصادر الطاقة التقليدية مثل البترول والغاز الطبيعي والفحم من أجل إنتاج الكهرباء وتغطية الطلب المتزايد عليها وقد ساهمت هذه المصادر في تحقيق تطور صناعي واقتصادي كبير، غير أن الاستغلال المستمر لها أدى إلى ظهور العديد من المشكلات البيئية، من بينها تلوث الهواء وارتفاع نسبة الغازات المسببة للاحتباس الحراري. كما أصبحت مسألة نضوب هذه الموارد من التحديات التي دفعت العديد من الدول إلى البحث عن مصادر بديلة للطاقة تكون أكثر استدامة وأقل تأثيراً على البيئة. أدى هذا التوجه إلى الاهتمام بالطاقات المتجددة باعتبارها أحد الحلول المناسبة لمواجهة مشكلات الطاقة التقليدية وتمتاز هذه الطاقات بكونها مصادر نظيفة ومتجددة يمكن استغلالها بصورة مستمرة دون التعرض لخطر النفاد وتتنوع مصادر الطاقة المتجددة بين الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية وغيرها، غير أن الطاقة الشمسية تُعدّ من أكثر المصادر انتشاراً واستعمالاً نظراً لتوفرها وسهولة استغلالها في مختلف مناطق العالم. تمتلك الجزائر مؤهلات طبيعية مهمة في مجال استغلال الطاقة الشمسية بسبب موقعها الجغرافي واتساع مساحتها الصحراوية التي تستقبل كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي طوال أيام السنة وقد جعلت هذه الإمكانيات من الطاقة الشمسية خياراً مناسباً للمساهمة في إنتاج الكهرباء وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، إضافة إلى دورها في تخفيف الضغط على الشبكة الوطنية للكهرباء. يُعدّ النظام الشمسي الكهروضوئي المرتبط بالشبكة الكهربائية من أبرز التطبيقات الحديثة للطاقة الشمسية، إذ يعتمد على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة الألواح الكهروضوئية مع ربط النظام مباشرة بالشبكة الكهربائية. يسمح هذا النظام باستعمال الكهرباء المنتجة لتغطية جزء من الاستهلاك الكهربائي مع إمكانية ضخ الفائض في الشبكة الكهربائية. كما يتميز بسهولة التشغيل وقلة تكاليف الصيانة مقارنة ببعض الأنظمة الأخرى. في ظل التزايد المستمر في الطلب على الكهرباء يبرز تساؤل مهم يتمثل في مدى قدرة الأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة الكهربائية على تحقيق تغطية فعالة للاستهلاك الكهربائي المنزلي وتقليل الضغط على الشبكة الوطنية. فهل يمكن لهذا النوع من الأنظمة أن يوفر حلاً عملياً واقتصادياً يساهم في تحسين استغلال الطاقة الكهربائية داخل القطاع السكني؟

تنطلق هذه الدراسة من مجموعة من الفرضيات التي سيتم التحقق منها من خلال المحاكاة وتحليل النتائج وتتمثل أهم هذه الفرضيات في أن ارتفاع شدة الإشعاع الشمسي يؤدي إلى زيادة كمية الطاقة الكهربائية المنتجة وأن زيادة عدد الألواح الشمسية تساهم في رفع نسبة تغطية الاستهلاك الكهربائي المنزلي. كما تفترض الدراسة إمكانية تحقيق جدوى اقتصادية مقبولة للنظام على المدى البعيد، في حين قد تتأثر فعالية النظام باختلاف الظروف المناخية وارتفاع التكلفة الأولية للتجهيزات.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أداء نظام شمسي كهروضوئي مرتبط بالشبكة الكهربائية من الناحية التقنية والاقتصادية من خلال دراسة كمية الطاقة المنتجة والطاقة المحقونة في الشبكة الكهربائية ومدى تغطية الاستهلاك الكهربائي المنزلي. كما تهدف إلى تقييم الجدوى الاقتصادية للنظام بالاعتماد على بعض المؤشرات المتعلقة بالتكلفة وفترة استرداد رأس المال. أُجريت هذه الدراسة على ثلاث ولايات جزائرية هي الجزائر العاصمة والجلفة وورقلة من أجل مقارنة أداء النظام باختلاف الظروف المناخية ومستويات الإشعاع الشمسي وقد تم الاعتماد على برنامج المحاكاة «ترانسيس» لدراسة تأثير عدد الألواح الشمسية على كمية الطاقة المنتجة والطاقة المحقونة في الشبكة الكهربائية وأظهرت النتائج وجود تفاوت في أداء النظام بين الولايات المدروسة، حيث سجلت المناطق ذات الإشعاع الشمسي المرتفع إنتاجاً أكبر للطاقة الكهربائية مقارنة بالمناطق الأخرى.

قُسمت هذه المذكرة إلى ثلاثة فصول : الفصل الأول الجانب النظري المتعلق بالطاقة والطاقات المتجددة والطاقة الشمسية والأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة الكهربائية. الفصل الثاني فقد خُصص للدراسة النظرية الخاصة بالمحاكاة إضافة إلى

عرض القوانين والمعادلات المستعملة في دراسة الجانب الاقتصادي والإطار القانوني المرتبط بالنظام المدروس. الفصل الثالث
لدراسة المحاكاة وتحليل النتائج ومناقشتها.

الفصل الأول

الاطار المفاهيمي والنظري لأنظمة الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة

مقدمة

تعتبر الطاقة الكهربائية من الركائز الأساسية التي تقوم عليها التنمية الاقتصادية والاجتماعية، حيث تلعب دوراً محورياً في دعم القطاعات الصناعية والسكنية و مع تزايد الطلب على الطاقة والمخاوف البيئية الناتجة عن الاعتماد على المصادر التقليدية مثل النفط والفحم، أصبح من الضروري التوجه نحو مصادر طاقة بديلة ومتجددة تسهم في تحقيق التنمية المستدامة تأتي الطاقة الشمسية كأحد أبرز مصادر الطاقة المتجددة، لما تتميز به من توفر مستمر وتأثير بيئي منخفض، إضافة إلى إمكانية استغلالها في مناطق متعددة، خاصة الصحراوية ذات الإشعاع الشمسي العالي وتُعد الأنظمة الكهروضوئية من أهم التقنيات التي تحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام محلياً أو للربط مع الشبكة الكهربائية .

شهدت السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً بالأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة الكهربائية، لما توفره من كفاءة عالية وتقليل الاعتماد على الشبكات التقليدية، مع إمكانية تصدير فائض الطاقة المنتجة. كما شهدت المدن الكبرى تحولات متسارعة في أنماط استهلاك الطاقة العمومية نتيجة النمو الديمغرافي، التوسع السكاني و ارتفاع متطلبات الراحة المعيشية و تعد دولة الجزائر من أبرز النماذج الحضرية في شمال إفريقيا التي تعاني من ضغط متزايد على الشبكة الكهربائية، خاصة خلال فترات الذروة الصيفية بسبب الاعتماد المكثف على أجهزة التكييف، في هذا السياق، برزت أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة كأحد الحلول التقنية الاستراتيجية لتخفيف العبء على الشبكات التقليدية وتعزيز الاستدامة الطاقوية في البيئات الحضرية كما أصبح مفهوم قابلية التوسع ذو أهمية كبيرة، حيث يشير إلى قدرة النظام على زيادة إنتاجيته مستقبلاً دون الحاجة إلى إعادة تصميمه بالكامل، مما يضمن استمرارية وكفاءة النظام على المدى الطويل. [1]

ويهدف هذا الفصل الى تقديم الاساس النظري للدراسة من خلال التطرق الى مفاهيم الطاقة الشمسية. و الخلايا الكهروضوئية. و الانظمة المرتبطة بالشبكة اضافة الى شرح مفهوم قابلية التوسع و العوامل المؤثرة فيه، كما تم التطرق الى مفهوم المحاكاة باعتبارها اداة اساسية لتحليل و دراسة اداة الانظمة الكهروضوئية و تقييم كفاءتها قبل التطبيق الفعلي

1. الطاقات المتجددة

الطاقات المتجددة هي مصادر طبيعية تتجدد باستمرار ولا تنفذ مع مرور الوقت تُستعمل لإنتاج الكهرباء أو الحرارة بطريقة نظيفة تحافظ على البيئة وتقلل من التلوث، تأتي هذه الطاقات من مصادر مختلفة في الطبيعة مثل أشعة الشمس التي تُعد مصدر الطاقة الشمسية وحركة الرياح التي تُستغل في إنتاج طاقة الرياح وكذلك المياه الجارية والسدود التي تُنتج الطاقة المائية، إضافة إلى حرارة باطن الأرض التي تُستعمل في الطاقة الحرارية الأرضية وأيضاً المواد العضوية والنباتات التي تُستخدم في إنتاج طاقة الكتلة الحيوية. [2]

1.1 مفهوم ومبدأ النظام الشمسي

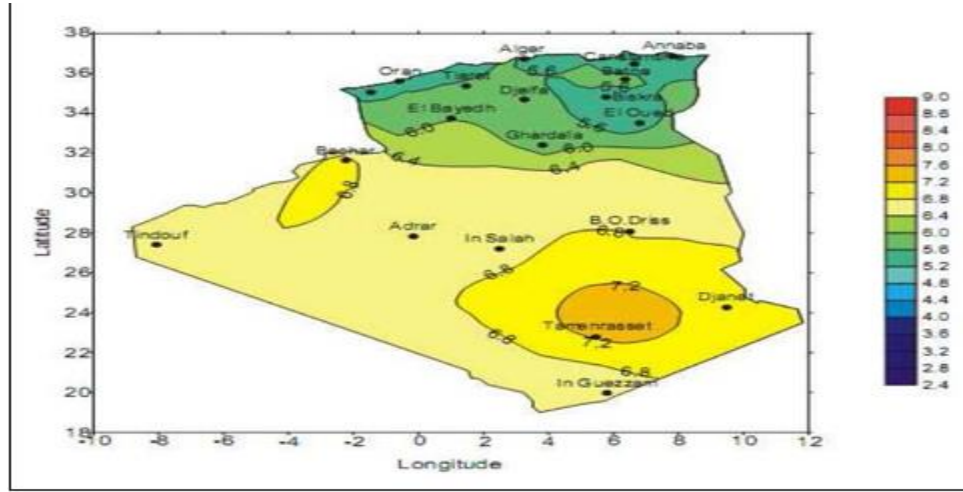
1.1.1 مفهوم الطاقة الشمسية :

الطاقة الشمسية هي الناتجة عن الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس، التي يمكن تحويلها الى أشكال مختلفة من الطاقة مثل الطاقة الحرارية أو الطاقة الكهربائية باستخدام تقنيات متعددة

وتتميز هذه الطاقة بكونها مصدراً متجدداً لا ينضب على المدى البشري، كما أنها متوفرة بكميات كبيرة على سطح الأرض مما يجعلها من أهم البدائل المستقبلية للطاقات التقليدية. [1]

2.1.1 إمكانات الطاقة الشمسية في الجزائر:

تتمتع الجزائر بإمكانات هائلة في مجال الطاقة الشمسية و بفضل مساحتها الشاسعة وموقعها الجغرافي المتميز الموضح في (شكل I.1)، فهي تُعدّ من أغنى حقول الطاقة الشمسية في العالم،" إذ تبلغ كمية الطاقة المُستقبلية لكل متر مربع (5 KW) في معظم أنحاء البلاد، وتصل أحياناً إلى (7KW)، مما يسمح بإشعاع شمسي سنوي يتجاوز (3000 كيلوواط ساعة لكل متر مربع سنوياً على مساحة 2,381,745 كيلومتراً مربعاً). ويتجاوز متوسط الإشعاع الشمسي السنوي في الجزائر 2000 ساعة ليصل إلى 3500 ساعة من ضوء الشمس في الصحراء، التي تُشكّل 5/4 من مساحة أراضيها. [3]. بالتالي تتمتع الجزائر بفضل موقعها الجغرافي بكميات كبيرة من الإشعاع الشمسي.



شكل I.2 المتوسط السنوي لشدة الإشعاع الشمسي في بلد الجزائر (5كيلوواط ساعة / م² يوم). [3]

3.1.1 استخدامات الطاقة الشمسية:

الكهرباء :

يتم تحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية باستعمال الألواح الشمسية الكهروضوئية وتُستخدم هذه الكهرباء في تشغيل المنازل والمؤسسات والمصانع، كما يمكن ربطها بالشبكة الكهربائية أو تخزينها في البطاريات للاستعمال لاحقاً (شكل I.3). [4]



شكل I.4 توليد الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية [4]

التبريد و التدفئة :

تستخدم لتدفئة المنازل في الاماكن الباردة و ايضا يوجد انظمة للتبريد في الاماكن الساخنة كما هو مبين في (شكل 3.I). [4]



شكل 3.I استغلال الطاقة الشمسية في تدفئة المنازل [4]

الإنارة :

تُستعمل الطاقة الشمسية في تشغيل مصابيح الإنارة داخل المنازل وخارجها، مثل إنارة الشوارع والحدائق والمناطق البعيدة التي يصعب توصيل الكهرباء إليها، مما يساعد على تقليل استهلاك الطاقة التقليدية. [4]

الشحن :

يمكن شحن الأجهزة الالكترونية على اختلافها وتنوعها بواسطة الشواحن المعتمدة على الطاقة الشمسية تعتمد الشواحن على تقنية حبس الطاقة الشمسية بداخلها، و يمكن تفريغ تلك الطاقة المحبوسة في اي جهاز كان، فيمكن استخدامها لشحن الهواتف المحمولة، فتلك الشواحن تأتي مع وصلات مختلفة لكي تلائم كافة انواع الاجهزة مهما اختلفت، و من الامثلة على الاجهزة التي تعمل بالطاقة الشمسية الهاتف الخليوي، سماعات الموسيقى، البطاريات القابلة لإعادة الشحن. [4]

2. الإشعاع الشمسي وأنواعه :

1.2 مفهوم الاشعاع الشمسي :

يعرف الاشعاع الشمسي بأنه الطاقة الكهرومغناطيسية، المنبعثة من الشمس و التي تصل الي سطح الارض على شكل ضوء و حرارة حيث يصل الثابت الشمسي خارج الغلاف الجوي الى حوالي (1350 واط / م²)، وتستخدم في انتاج الطاقة الحرارية و الكهربائية، خاصة في الانظمة الكهروضوئية. [5]

2.2 انواع الإشعاع الشمسي :

ينقسم الى

- مباشر: يصل مباشرة من الشمس دون تشتت.
- منتشر: ينتشر عبر الغلاف الجوي والسحب

- منعكس: الاجمالي (مباشر + منتشر + منعكس)

3.2 أهمية الطاقة الشمسية في الجزائر:

تُعدّ الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة في الجزائر، نظرًا لما تتميز به البلاد من موقع جغرافي استراتيجي ومساحة شاسعة ذات مناخ صحراوي يتميز بمعدلات إشعاع شمسي مرتفعة على مدار السنة، حيث تستفيد معظم مناطق الوطن، خاصة المناطق الجنوبية، من أكثر من 3000 ساعة سطوع شمسي سنويًا، قد سجلت الجزائر معدلات إشعاع شمسي سنوي تصل إلى 2263 كيلوواط ساعة/م² في الجنوب، مما يعكس الإمكانيات الكبيرة التي تمتلكها البلاد في مجال استغلال الطاقة الشمسية. تساهم هذه الطاقة في تحقيق الاستقلالية الطاقوية وتقليل الانبعاثات الغازية، كما تسهم في تنويع المزيج الطاقوي الوطني وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية خاصة الغاز الطبيعي. "وقد دعمت هذه المؤهلات إنجاز عدة مشاريع استراتيجية، من بينها محطة (GHARA DJEBILET SOLAR PLANT) بقدرة 160 ميغاواط" والتي تهدف إلى تلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية، خاصة في المناطق الحضرية وتعزيز مسار الانتقال الطاقوي في الجزائر وهو ما يجسده (شكل 4.I). [6]



شكل 4.I تصوير جوي لمحطة طاقة شمسية في الصحراء الجزائرية، يبرز الإمكانيات الإشعاعية العالية في الوسط الحضري الصحراوي. [5]

4.2 الوضع الطاقوي في الجزائر:

- الاعتماد على الشبكة: تعتمد الجزائر حالياً على الغاز الطبيعي بنسبة تزيد عن 98% لتوليد الكهرباء، مع شبكة وطنية مترابطة تغطي معظم المناطق. ومع ذلك تمتلك إمكانيات هائلة للطاقة الشمسية تصل إلى 2000 ميغاواط في مشاريع كهروضوئية موزعة، خاصة في الجنوب الصحراوي.
- أهمية التحول الطاقوي: التحول الطاقوي ضروري لتحقيق الاستدامة، حيث يهدف إلى تنويع المصادر وتقليل الانبعاثات الكربونية بنسبة 27% بحلول 2030. [5]

3 الخلايا الشمسية (الخلية الكهروضوئية) :

تعتبر الخلية الشمسية كجهاز يقوم بتحويل الطاقة الضوئية مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة التأثير الضوئي. وتُعد الخلية الشمسية الأكثر استخدامًا مكونة من بلورة رقيقة من السليكون، ذات مساحة سطح كبيرة نسبيًا قد تصل إلى حوالي 5 ملم × 5 ملم، ويبلغ سمكها حوالي 1000 ميكرومتر أو أكثر. تحتوي الخلية على شوائب من ذرات ذات تكافؤ مختلف، حيث

يحتوي أحد جانبي الخلية على ذرات خماسية التكافؤ (مثل الفسفور) ويُعتبر هذا الجانب من نوع N سالب التكافؤ، أما الجانب الآخر فيحتوي على ذرات ثلاثية التكافؤ (مثل البورون) موجب التكافؤ، الجانب ذو السطح المعرض للأشعة الشمسية يكون عادة رقيق السمك تتضمن الخلية الشمسية أقطاباً كهربائية جيدة التوصيل، حيث يكون أحد أقطابها على سطحها في شكل أسرطة معدنية رقيقة متصلة ببعضها لضمان الاتصال الكهربائي الجيد، بينما يحتوي الجانب الآخر على قاعدة من طبقة معدنية رقيقة تعمل كقطب كهربائي أيضاً. [6]

1.3 النظام الكهروضوئي :

يمثل (شكل 5.I) مكونات النظام الكهروضوئي من

- ألواح شمسية (PV)،
- عاكس (INVERTER)
- اسلاك توصيل
- أنظمة مراقبة، حيث تحول الألواح الإشعاع إلى تيار مستمر.

مبدأ العمل يعتمد على الخلايا الضوئية التي تولد كهرباء عند اصطدام الفوتونات بالسيليكون.



شكل 5.I مكونات لنظام الخلايا الكهروضوئية [8]

1.3 الأنواع الرئيسية:

جدول 1.I يمثل انواع الانظمة الكهروضوئية

جدول 1.I انواع الانظمة الكهروضوئية [7]

النوع	الوصف	التطبيق الرئيسي
نظام شمسي متصل بالشبكة	هي انظمة متصلة بالشبكة الكهربائية العمومية، حيث يتم استهلاك الطاقة المنتجة مباشرة او تصدير الفائض الى الشبكة دون الحاجة الى بطاريات تخزين .	حضري، تجاري
نظام شمسي غير مرتبط بالشبكة	هي انظمة غير مرتبطة بالشبكة الكهربائية، تعتمد على الألواح الشمسية مع بطاريات لتخزين الطاقة و تستخدم عادة في المناطق النائية .	نائي، ريفي

نظام شمسي هجين	هجين مع بطاريات و شبكة	انتقالي، احتياطي
----------------	------------------------	------------------

4 النظام المرتبط بالشبكة

1.4 مفهوم النظام المرتبط بالشبكة :

هو نظام يتم فيه ربط الألواح الشمسية مباشرة مع الشبكة الكهربائية العمومية من خلال عاكس خاص . حيث يتم استهلاك الطاقة المنتجة مباشرة او تصدير الفائض الى الشبكة دون الحاجة الى بطاريات تخزين . [8]

2.4 طريقة عمل النظام :

يعمل النظام بتحويل التيار المستمر إلى متردد عبر العاكس ثم حقنه في الشبكة، مما يسمح بتغذية الاستهلاك المحلي أو بيع الفائض. ومن جهة أخرى يتم استهلاك الطاقة المنتجة محليا أولا، ثم تصدير الفائض الى الشبكة عند انخفاض الانتاج الشمسي .

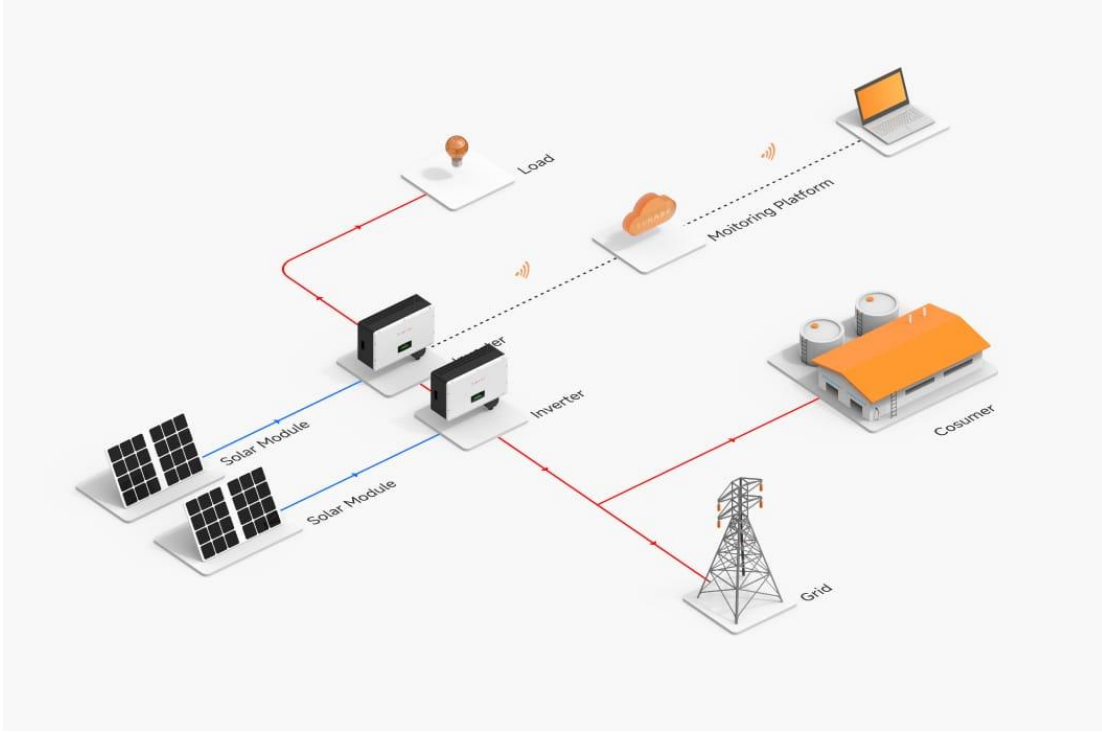
3.4 مكونات نظام :

- **الألواح الشمسية:** تقوم بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية على شكل تيار مستمر (DC) و هي المصدر الأساسي للإنتاج الكهربائي في النظام.
- **العاكس المرتبط بالشبكة:** يقوم بتحويل التيار المستمر (DC) القادم من الألواح الشمسية إلى تيار متناوب (AC) مناسب لاستعمال الأحمال المنزلية ومتوافق مع الشبكة الكهربائية.
- **عداد ثنائي الاتجاه:** يقيس كمية الطاقة المستهلكة من الشبكة وكمية الطاقة المصدرة إليها من النظام الشمسي، أي يعمل في الاتجاهين (سحب وحقن).
- **أجهزة الحماية:** تحمي النظام من الأعطال الكهربائية مثل زيادة التيار، القصر الكهربائي، وارتفاع الجهد، وتضمن سلامة المعدات والمستخدم.
- **الشبكة العمومية:** يستخدم كمصدر دعم عند نقص إنتاج الطاقة الشمسية، كما تستقبل الفائض من الكهرباء المنتجة عند زيادة الإنتاج.
- **الأحمال الكهربائية:** تمثل الأجهزة والمعدات التي تستهلك الكهرباء داخل المبنى مثل الإنارة، المكيفات، الثلاجات، وأجهزة المنزل المختلفة. [8]

4.4 دور العاكس في النظام:

العاكس عنصرا أساسيا في النظام الشمسي المتصل بالشبكة حيث يقوم بتحويل التيار المستمر الناتج عن الألواح الشمسية الى تيار متناوب متوافق مع الشبكة، كما يساهم في تنظيم الجهد والتردد وحماية النظام وتحسين كفاءة

إنتاج الطاقة قبل حقنها في الشبكة أو استعمالها في تغذية الأحمال الكهربائية كما هو موضح في (شكل 6.I).



شكل 6.I مخطط تفصيلي يبين تدفق الطاقة في نظام الكهروضوئي [8]

5.4 كيفية تخزين الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة :

توليد الطاقة المعتمدة على الطاقة الشمسية لا يمكنه توليد الطاقة في المساء فمن هنا كان من الأهمية هو العمل على تخزين هذه الطاقة ، من أجل تخزين الطاقة الكهروضوئية ، يتم التخزين بشكل غير مباشر عبر الشبكة الكهربائية ، عند وجود فائض في الإنتاج تنتج الألواح الشمسية طاقة أكبر من حاجة المنزل يتم إرسال الفائض إلى الشبكة العمومية ، و بالنسبة لعدد ثنائي الاتجاه يقوم بقياس الطاقة المرسلة إلى الشبكة و الطاقة المسحوبة منها ، أما عند نقص الإنتاج ليلاً يتم سحب الكهرباء من الشبكة لتعويض النقص بدل الاعتماد على بطاريات (شكل 7.I) . [4]



شكل 7.I مخطط تدفق و تخزين الطاقة في نظام [8]

6.4 فوائد استخدام النظام الشمسي المتصل بالشبكة:

1. تقليل فاتورة الكهرباء : لأن الطاقة الشمسية تغطي جزءا كبيرا من استهلاك المنزل او المباني
2. بيع الفائض من الطاقة : يمكن ارسال الطاقة الزائدة الى الشبكة العمومية عبر العداد ثنائي الاتجاه و الاستفادة منها حسب نظام الشركة المزودة
3. عدم الحاجة الى بطاريات : مما يقلل التكلفة الاولى و الصيانة مقارنة بالنظام المنفصل
4. كفاءة تشغيل عالية : لأن النظام يعتمد على الشبكة كدعم دائم للطاقة
5. صيانة اقل : لعدم وجود بطاريات تحتاج الى مراقبة و استبدال دوري . [8]

7.4 مميزات و عيوب الانظمة المرتبطة بالشبكة:

المميزات التقنية و الاقتصادية :

- تقليل فاتورة الكهرباء من خلال استغلال الطاقة الشمسية مباشرة.
- إمكانية بيع الفائض من الطاقة إلى الشبكة أو تقليل الاستهلاك الصافي.
- عدم الحاجة إلى بطاريات، مما يقلل التكلفة الأولية والصيانة.
- كفاءة أعلى للنظام مقارنة بالأنظمة المستقلة بسبب غياب خسائر التخزين.
- استمرارية تزويد الطاقة من الشبكة عند عدم توفر الشمس (ليل أو غيوم).

العيوب و التحديات :

- يعتمد كلياً على وجود الشبكة الكهربائية (لا يعمل عند انقطاعها).
- لا يوفر استقلالية طاقة كاملة للمستخدم.
- يتطلب شروط تقنية وقانونية للربط مع الشبكة.
- تقلب أسعار شراء وبيع الكهرباء يؤثر على الجدوى الاقتصادية. [8]

5 مفهوم قابلية التوسع في الأنظمة الكهروضوئية :

1.5 تعريف قابلية التوسع:

يُقصد بقابلية التوسع في الأنظمة الكهروضوئية قدرة النظام الشمسي على زيادة قدرته الإنتاجية مستقبلاً، سواء من خلال إضافة ألواح شمسية جديدة أو رفع القدرة المركبة أو توسيع نطاق تغذية الأحمال الكهربائية، دون الحاجة إلى إعادة تصميم كاملة للنظام أو استبدال جميع مكوناته الأساسية. [9]

2.5 أهمية قابلية التوسع في الأنظمة الكهروضوئية:

تكتسب قابلية التوسع أهمية كبيرة لأنها تساعد على ضمان استمرارية كفاءة النظام على المدى الطويل و تسمح بمواكبة الزيادة المستقبلية في الاستهلاك الكهربائي دون الحاجة إلى إنشاء نظام جديد بالكامل.

كما تساهم في تحسين الجدوى التقنية للنظام وتقليل التكاليف المستقبلية ورفع نسبة الاعتماد على الطاقة الشمسية بدلاً من الطاقة التقليدية، خاصة في المباني السكنية والإدارية التي تشهد تغيراً مستمراً في الأحمال الكهربائية

في الأنظمة المرتبطة بالشبكة، تسمح قابلية التوسع أيضاً بتحسين التفاعل مع الشبكة الكهربائية من خلال زيادة كمية الطاقة المنتجة والمحقونة عند الحاجة، مع الحفاظ على استقرار التشغيل وجودة الطاقة. [9]

3.5 العوامل المؤثرة على قابلية التوسع :

تعتمد قابلية التوسع على عدة عوامل تقنية يجب أخذها بعين الاعتبار أثناء تصميم النظام، ومن أهمها:

- سعة العاكس الكهربائي: يجب أن يكون العاكس قادرًا على تحمل زيادة القدرة المستقبلية أو قابلاً للاستبدال بسهولة.
- المساحة المتاحة لتركيب الألواح: سواء على سطح المبنى أو في المساحات المجاورة.
- قدرة الشبكة الكهربائية المحلية: يجب أن تكون الشبكة قادرة على استقبال الطاقة الزائدة الناتجة عن التوسع.
- طبيعة الأحمال الكهربائية: نوع الأحمال واستقرارها يؤثران على قرار التوسع.
- التصميم الأولي للنظام: كلما كان التصميم الأولي مرناً ومدرّساً، كانت عملية التوسع أسهل وأقل تكلفة [9]

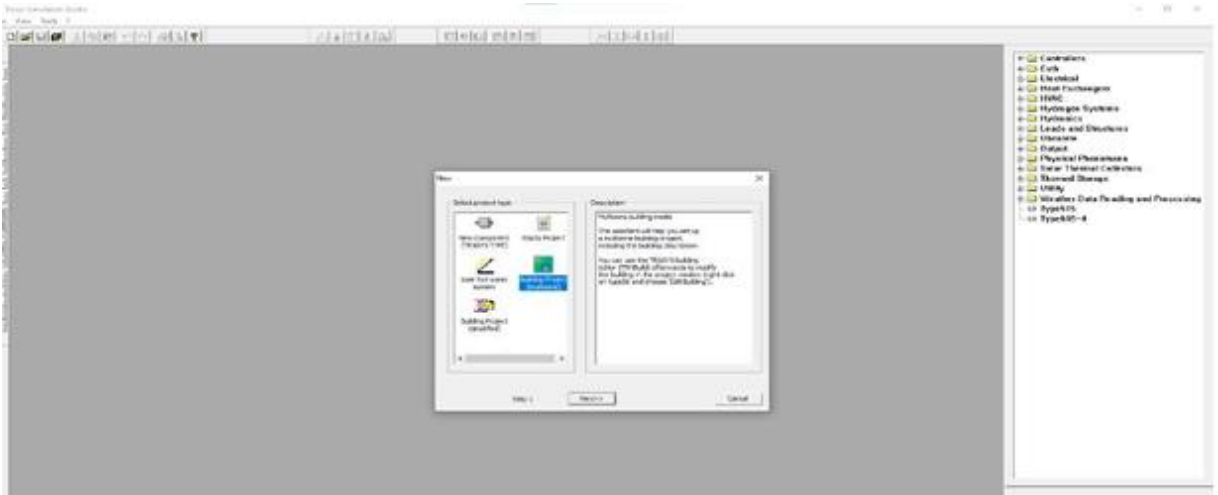
4.5 علاقة قابلية التوسع بالنظام المرتبط بالشبكة :

تُعد الأنظمة المرتبطة بالشبكة أكثر ملاءمة لدراسة قابلية التوسع مقارنة بالأنظمة المعزولة، لأنها لا تعتمد بشكل كامل على البطاريات، مما يجعل عملية التوسع أكثر سهولة وأقل تكلفة.

فعند زيادة عدد الألواح الشمسية أو رفع القدرة المركبة، يمكن للنظام تصدير الفائض مباشرة إلى الشبكة الكهربائية بدلاً من الحاجة إلى تخزينه، مما يُحسن من كفاءة التشغيل ويُقلل من التعقيدات التقنية. كما أن الشبكة الكهربائية نفسها تُعتبر عنصر دعم مهم يسمح للنظام بالحفاظ على استقرار التغذية الكهربائية أثناء فترات انخفاض الإنتاج الشمسي أو أثناء مراحل التوسع التدريجي. ولهذا السبب، تُعد دراسة قابلية التوسع في الأنظمة المرتبطة بالشبكة عنصراً أساسياً في تقييم الأداء طويل المدى للنظام الشمسي، خاصة في المدن الصحراوية مثل ورقلة التي تمتلك إمكانيات شمسية كبيرة تسمح بتطوير هذه الأنظمة مستقبلاً. [7]

6 برنامج "ترانسيس" :

يعتبر برنامج "ترانسيس" المحاكاة للنظام يستخدم في تصميم و تحليل أنظمة الطاقة المتجددة والمباني الذكية و أنظمة التحكم في الإضاءة والتكيف والتبريد ، يتميز البرنامج بقدرته على تحليل الأنظمة المعقدة والتفاعلية وتحديد الأداء الحقيقي للنظام في ظروف مختلفة يتضمن البرنامج مكتبة واسعة من المكونات القياسية التي يمكن استخدامها لبناء نماذج الأنظمة المختلفة حيث يضم (شكل I. 8) واجهة تشغيل البرنامج التي تتيح الوصول الى هذه المكتبة .يتم استخدام البرنامج في العديد من التطبيقات الهندسية والعلمية في مجالات الطاقة والبيئية والمباني والصناعة [10]



شكل I. 8. واجهة تشغيل البرنامج "ترانسيس"

1.6 الاصناف :

• الصنف 15_C (TAYPE 15_C)

يُستخدم الصنف 15 (TYPE15) في برنامج "ترانسيس" لقراءة البيانات المناخية من ملفات الطقس الخارجية مثل درجة الحرارة، الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، والرطوبة، ثم يقوم بمعالجة هذه البيانات واستيفائها عند خطوات زمنية أقل من ساعة. ، ثم يرسل هذه المعطيات إلى باقي مكونات النظام مثل الألواح الشمسية والعاكس والشبكة الكهربائية، مما يساهم في تحسين دقة محاكاة النظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة.

• الصنف 103B (TAYPE103B)

يُستخدم هذا الصنف TAYPE103B في برنامج "ترانسيس" لمحاكاة الأداء الكهربائي للألواح الشمسية الكهروضوئية حيث يحسب القدرة الكهربائية المنتجة وفق ظروف الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. كما يدعم العمل بنظام (تتبع نقطة القدرة القصوى) لتحسين استخراج القدرة القصوى من الألواح وزيادة كفاءة النظام الشمسي المرتبط بالشبكة.

مدخلات ومخرجات الصنف (TAYPE 103B)

كما هو مبين في الشكل 5.I للمدخلات الصنف 103b

(Project16.tpf) Type103b						
Parameter Input Output Comment						
		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Ambient temperature	25	C	More...	☒
2		Beam radiation	0	kJ/hr.m ²	More...	☒
3		Sky diffuse radiation	0	kJ/hr.m ²	More...	☒
4		Ground reflected diffuse radiation	0	kJ/hr.m ²	More...	☒
5		Array slope	30	degrees	More...	☒
6		Incidence angle of beam radiation	0	degrees	More...	☒

شكل 6.I مدخلات الصنف 103b

(Project16.tpf) Type103b

Parameter	Input	Output	Comment
1	☞	☞	Array voltage at maximum power point
2	☞	☞	Array current at maximum power point
3	☞	☞	Array power at maximum power point
4	☞	☞	Array power at maximum power point
5	☞	☞	Fraction of maximum power used
6	☞	☞	Open circuit voltage
7	☞	☞	Short circuit current
8	☞	☞	Array fill factor
9	☞	☞	Array temperature
10	☞	☞	Array efficiency

شكل 10.I مخرجات الصنف 103B

المدخلات :

درجة الحرارة المحيطة (AMBIENT TEMPERATURE)

الإشعاع الشمسي على سطح المصفوفة (TOTAL IRRADIANCE ON ARRAY)

زاوية ميل واتجاه الألواح (TILT AZIMUTH ANGLES)

المخرجات :

القدرة عند نقطة الاستطاعة العظمى (MAXIMUM POWER POINT POWER)

الجهد عند نقطة الاستطاعة العظمى (VOLTAGE AT MPP)

التيار عند نقطة الاستطاعة العظمى (CURRENT AT MPP)

• الصنف 48 (TAYPE48)

الصنف 48 TYPE في برنامج "ترانسييس" مكوّن مسؤولاً عن نمذجة نظام تكييف القدرة في الأنظمة الكهروضوئية، حيث يجمع بين وظيفة المنظم الذي يوزّع الطاقة المستمرة القادمة من الألواح الشمسية نحو الحمل أو نظام التخزين مع التحكم في الفائض منها، ووظيفة العاكس الذي يحوّل الطاقة المستمرة (DC) إلى طاقة متناوبة (AC) قابلة للاستخدام في الأحمال أو لحقنها في الشبكة الكهربائية. ويعمل هذا المكوّن بعدة أوضاع تشغيل، منها وضع بدون بطارية مع تتبع نقطة الاستطاعة العظمى، حيث يتم توجيه الطاقة مباشرة نحو الشبكة دون وجود نظام تخزين.

المدخلات:

القدرة الداخلة (INPUT POWER): القدرة الكهربائية القادمة من جهاز الشحن وهي الطاقة المتوفرة التي يتم إدخالها إلى نظام التحويل أو التنظيم.

قدرة الحمل (LOAD POWER): كمية القدرة الكهربائية التي يطلبها أو يستهلكها الحمل الكهربائي، أي الطاقة اللازمة لتشغيل الأجهزة المرتبطة بالنظام.

المخرجات:

القدرة الداخلة (POWER IN): القدرة الكهربائية القادمة من جهاز الشحن وهي الطاقة التي تدخل إلى نظام التنظيم أو العاكس قبل أي تحويل أو معالجة.

القدرة الخارجة (POWER OUT): القدرة الكهربائية التي يتم توجيهها إلى الحمل الكهربائي بعد عملية التحويل، أي الطاقة المفيدة التي يتم استغلالها فعلياً.

القدرة الفائضة (EXCEES POWER): الطاقة المتبادلة مع الشبكة الكهربائية؛ تكون موجبة عند شراء الطاقة من الشبكة وسالبة عند تصدير أو بيع الطاقة إليها.

فوائد القدرة (POWER LOSS): الطاقة المفقودة داخل المنظّم أو العاكس نتيجة عدم الكفاءة في عملية التحويل.

• الصنف 14H (TAYBE 14H)

يُستخدم لإنشاء دالة زمنية متكررة تعتمد على مجموعة من القيم المنفصلة عبر الزمن لتمثيل سلوك متغير دوري. يقوم هذا الصنف بتوليد منحني مستمر من خلال الاستيفاء الخطي بين النقاط المدخلة، مع إعادة تكرار نفس النمط كل مدة زمنية N ساعة. ويتميز بكونه يعمل بوحدات بدون أبعاد، مما يجعله مرناً وملائماً لتمثيل مختلف الإشارات المتغيرة في المحاكاة الديناميكية مثل الأحمال والظروف التشغيلية.

المخرجات:

القيمة المتوسطة للدالة (AVERAGE VALUE): متوسط قيمة المتغير خلال خطوة الزمن في المحاكاة.

القيمة اللحظية للدالة (INSTANTANEOUS VALUE): قيمة المتغير عند نهاية خطوة الزمن مباشرة.

• الصنف 65C (TAYBE 65C)

يُستخدم كأداة لعرض المتغيرات المختارة للنظام بشكل رسومي أثناء سير المحاكاة، مما يسمح بمتابعة سلوك النظام لحظياً والتأكد من أدائه. كما يتيح هذا المكوّن عرض النتائج في نافذة رسم منفصلة على الشاشة، مثل القدرة في درجة الحرارة أو الإشعاع الشمسي في الوقت الحقيقي، بالإضافة إلى تسجيل البيانات تلقائياً في ملف خارجي عند كل خطوة زمنية. وتجدر الإشارة إلى أن الوحدات الفيزيائية مثل (KJ/HR و KG/S و °C) لا يتم تضمينها في ملف الإخراج.

7 خاتمة الفصل :

في هذا الفصل تم التطرق إلى المفاهيم الأساسية المتعلقة بالطاقة الشمسية والأنظمة الكهروضوئية، باعتبارها من أهم الحلول الحديثة لمواجهة الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية وقد تم عرض معلومات حول الطاقة الشمسية و شرح التأثير الكهروضوئي الذي يُعد الأساس العلمي لعمل الخلايا الشمسية، بالإضافة إلى دراسة أنواع الخلايا الكهروضوئية ومكونات النظام الكهروضوئي.

كما تم التطرق إلى النظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة من حيث تعريفه، مكوناته، طريقة عمله وأهم مميزاته وعيوبه، نظراً لكونه محور الدراسة في هذه المذكرة وتم كذلك توضيح مفهوم قابلية التوسع في الأنظمة الكهروضوئية، باعتباره عنصراً مهماً في تقييم مدى إمكانية تطوير النظام مستقبلاً بما يتناسب مع زيادة الأحمال الكهربائية في المباني الحضرية. كما تم أيضاً التطرق إلى اعطاء واجهة أو مبدأ الي ما يتم في الجانب التطبيقي قبل تطبيق فعلها، من خلال تصميم النظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة.

تُظهر هذه المعطيات أن اختيار نظام كهروضوئي مرتبط بالشبكة في منطقة مثل ورقلة و الجزائر و الجلفة يُعد خيارًا مناسبًا من الناحية التقنية، خاصة مع توفر الإشعاع الشمسي المرتفع والإمكانيات المناخية الملائمة.

بعد بناء هذا الأساس النظري، سيتم في الفصل الثاني الانتقال إلى الجانب التطبيقي، من خلال تصميم النظام الكهروضوئي المدروس وتحديد مكوناته وفرضيات الدراسة، لتحليل أداء النظام وتقييم قابلية توسعه.

الفصل الثاني

الاطار المنهجي للدراسة الاقتصادية

1. مقدمة :

أصبح الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة من أهم الحلول لمواجهة مشاكل الاستهلاك المرتفع والتقليل من الضغط على الشبكة الكهربائية. تُعدّ الطاقة الشمسية من أبرز هذه المصادر نظرًا لتوفرها الكبير وقدرتها على إنتاج طاقة نظيفة ومستدامة، خاصة في الجزائر التي تتميز بإمكانيات شمسية معتبرة على مدار السنة.

يهدف هذا الفصل إلى تأسيس الإطار المنهجي للدراسة الاقتصادية للنظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة، من خلال، تقديم منطقة الدراسة وخصائصها المناخية، توصيف حمل الاستهلاك الكهربائي للمبنى المرجعي، شرح المفاهيم الاقتصادية المعتمدة والمعادلات الأساسية، وتحديد مواصفات النظام المدروس.

2. تقديم منطقة الدراسة

2.1 معايير اختيار الولايات المدروسة

تم اختيار ثلاث ولايات جزائرية تمثل بيئات مناخية متباينة، بهدف تقييم أداء الأنظمة الكهروضوئية في ظروف متعددة وإبراز أثر الموقع الجغرافي على الجدوى الاقتصادية:

- **الجزائر العاصمة:** تمثل المنطقة الساحلية ذات المناخ المتوسطي، وتتميز بارتفاع الطلب على الطاقة نتيجة الكثافة السكانية العالية.
- **الجلفة:** تمثل منطقة الهضاب العليا ذات المناخ شبه الجاف، وتحقق توازنًا جيدًا بين شدة الإشعاع الشمسي واعتدال درجات الحرارة.
- **ورقلة:** تمثل المنطقة الصحراوية ذات الإشعاع الشمسي الأعلى، وتُعدّ النموذج الأمثل لاستغلال الطاقة الشمسية في الجزائر.

2.2 الخصائص المناخية للولايات

تُعدّ المعطيات المناخية عاملاً حاسماً في تحديد كفاءة الأنظمة الكهروضوئية. يوضح الجدول 2.II أهم المؤشرات المناخية للولايات المدروسة:

جدول 2.II الخصائص المناخية للولايات المدروسة

الولاية	متوسط درجة الحرارة (C°)	الإشعاع الشمسي السنوي (KWh/m)	ساعات السطوع السنوي (hr)
الجزائر العاصمة	18	2560	1900_1700
الجلفة	20	3000	2200_2000
ورقلة	24	3500	2600_2200

3. وصف الحمل الكهربائي للمبنى المرجعي

1.3 مبدأ التوحيد

لضمان موضوعية المقارنة بين الولايات الثلاث، تم اعتماد مبنى سكني مرجعي موحد يمثل احتياجات عائلة حضرية متوسطة في الجزائر. يبقى نمط استهلاك المبنى الأساسي (إضاءة، تبريد، تسخين، أجهزة كهرو منزلية) ثابتاً بصرف النظر عن الموقع الجغرافي، في حين يتغير ما يُنتجه النظام الكهروضوئي تبعاً للإشعاع الشمسي المحلي لكل منطقة.

2.3 توزيع الاستهلاك اليومي

يوضح الجدول التالي الأجهزة الكهربائية المعتمدة في الحمل المرجعي وتوزيع استهلاكها اليومي:

جدول II. 3 توزيع الاستهلاك اليومي للمبنى المرجعي (تم الحصول عليه من الطاقات التقنية للأجهزة)

نوع الجهاز	العدد	ساعات العمل	الاستهلاك (w)	الاستهلاك اليومي (KWh)	الملاحظة
مصباح موفرة للطاقة	10	12	20	2.40	
تلفاز	1	8	350	1.80	
مكيف / سخان	2	12	1500	36	حمل الذروة
غسالة	1	1	1500	1.50	
ثلاجة	1	15	350	5.25	
مكواة	1	1	1400	1.40	
شحن هاتف	2	2	20	0.08	
مجفف الشعر	1	1	1300	1.30	
حاسوب / ألعاب	2	5	200	2	
احمال إضافية	1	2	240	0.48	
الإجمالي اليومي				52.21	

3.3 الاستهلاك السنوي الإجمالي

بناءً على التوزيع اليومي المُبين في الجدول II. 3 ، يُحسب إجمالي الاستهلاك السنوي للمبنى المرجعي كما يلي في جدول

II.4:

جدول II. 4 الاستهلاك السنوي للمبنى المرجعي (تم الحصول عليها من طرف السوق)

المؤشر	القيمة
الإستهلاك اليومي	52.21 KWh
الإستهلاك السنوي	19059.95 KW /year

الاستهلاك السنوي (KJ)	KJ / year686115.820
-----------------------	---------------------

4. مواصفات النظام الكهروضوئي المدروس

4.1 اختيار اللوح الشمسي

تم اعتماد لوح شمسي المبين في الجدول 5.II بالمواصفات التالية:

جدول 5.II مواصفات اللوح الشمسي المعتمد

الخاصية	القيمة
قدرة اللوح الإسمية	W 455
نوع الخلية	احادي البلورة
الكفاءة النظامية	%21~
معامل درجة الحرارة (pmax)	C°/% 0.35-

حساب عدد الألواح الشمسية التي تنتج طاقة تسد احتياجات المبنى من الطاقة الكهربائية :

$$\text{الاستهلاك اليومي للمبنى} = 52.21 \text{ kWh}$$

ساعات ظهور الشمس في اليوم : 10 ساعات

متوسط عدد الساعات الفعالة: 5.55 ساعة

القدرة اليومية المنتجة من اللوح الواحد: kW0.455

الطاقة اليومية المنتجة من اللوح الواحد:

بما أن اللوح الواحد ينتج (0.455 kW) ، باعتبار عدد الساعات الفعالة 5.55 ساعة، فإن الطاقة اليومية المنتجة من اللوح الواحد تساوي:

$$\text{الطاقة اليومية المنتجة للوح الواحد} = \text{قدرة اللوح} \times \text{عدد الساعات الفعالة}$$

$$\text{kWh / day} 2.52525 = 0.455 \times 5.55$$

عدد الألواح اللازمة:

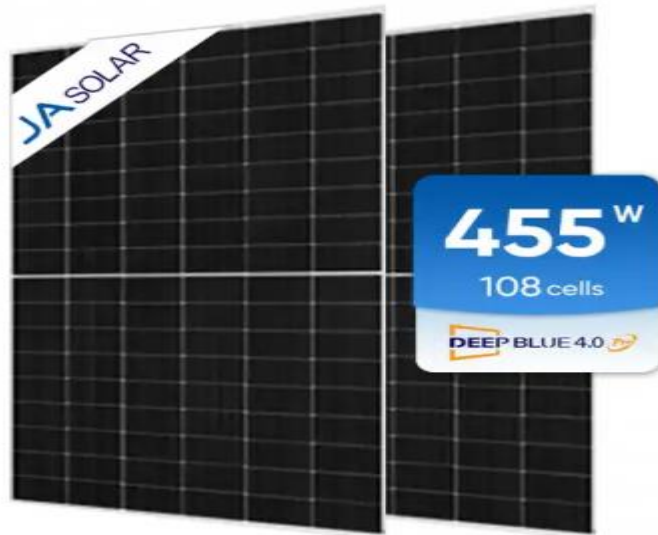
الحساب لتقريب عدد الألواح والباقي يكمله برنامج "ترانسيس"

العدد النظري للألواح اللازمة هو:

عدد الألواح = الاستهلاك اليومي للمنزل ÷ الطاقة اليومية المنتجة للوح الواحد

$$52.21 \div 2.52525 = 20.67 \approx 21$$

وبالتالي فإن عدد الألواح المطلوبة لسد احتياجات المبني من الطاقة 21 لوحة. ولكننا اعتمدنا وضع 24 لوح من الألواح الموضحة في (شكل 11.II) لتعويض خسائر النظام وضمان تغطية كافية للحمل.



شكل 11.II خلية شمسية ذات قدرة 455 وات.

4.2 سيناريوهات النظام

تم دراسة سيناريوين للنظام بهدف تقييم أثر زيادة القدرة المركبة على الأداء الطاقوي والاقتصادي انظر (جدول 6.II):

جدول 6.II سيناريوهات النظام الكهروضوئي

السيناريو	عدد الألواح	القدرة الإجمالية (kW)	الهدف
السيناريو الأول	24 لوح	10.92	تغطية الإستهلاك الذاتي
السيناريو الثاني	40 لوح	18.20	تحقيق فائض و حقنه في الشبكة

4.3 تكلفة الاستثمار الإجمالية

يوضح الجدول 6.II التالي التكلفة الإجمالية لكل سيناريو مع تفصيل عناصر الاستثمار:

جدول 6.II التكلفة الإجمالية للنظام الكهروضوئي

عنصر الإستثمار	نظام 24 لوح (دج)	نظام 40 لوح (دج)
الألواح الشمسية	672000	1120000
العاكس الكهربائي	250000	300000
هياكل الثبيت	120000	180000
الحماية الكهربائية	108000	120000
التركيب و الصيانة	150000	180000
المجموع الإجمالي	1300.000	1900.000

4. الاطار المنهجي للدراسة الاقتصادية

• فرضيات المحاكات

استندت الدراسة إلى جملة من الفروض الأساسية والمساندة، على النحو الآتي:

1.4 الاستهلاك الأقصى الثابت

افتترضت الدراسة ثبات الاستهلاك اليومي عند قيمة قصوى مقدارها 52.21 كيلوواط/ساعة، وُعُمِّت هذه القيمة على مدار أيام السنة كاملة (365 يوماً) دون تمييز فصلي. ويستند هذا الاختيار إلى غابيتين رئيسيتين:

- اعتماد مبدأ "السيناريو الحذر" في نمذجة الحمل الكهربائي، إذ جرى تثبيت الاستهلاك اليومي عند 52.21 kWh، ضماناً لأن يكون النظام المصمَّم قادراً على تغطية ذروة الاستهلاك في أشد الأيام طلباً على الطاقة.
- أن تمثل النتائج الاقتصادية الحد الأدنى المضمون للأداء، بحيث لا يكون الواقع الفعلي في أغلب الأحوال أسوأ مما تسفر عنه المحاكاة، مما يعزز ثقة المستثمر ويطمئنه إلى جدوى المشروع.

2.4 الفرضيات

تتوزع الفروض المساندة التي قامت عليها الدراسة على النحو التالي

اعتماد تسعيرتين للكهرباء طوال مدة الدراسة هما:

- السعر المدعوم وفق نظام الشرائح (الاشطر) المعمول به

جدول 7.II يمثل تعريفه الكهرباء وفق نظام الاشطر في كل التراب الجزائري

جدول 7.II تعريفه الكهرباء وفق نظام الاشطر

الشطر	من	إلى	السعر دج/kWh	الاستهلاك المحتسب	القيمة (دج)
الشطر 1	0	125	1.779	125	222.375
الشطر 2	126	250	4.178	125	522.25
الشطر 3	251	1000	4.812	750	3609
الشطر 4	1001	999999	5.479	3698.9	20266.2731

"تثبيت أسعار بيع الطاقة إلى الشبكة عند قيمة 15.94 ديناراً جزائرياً لكل كيلوواط/ساعة طوال السنوات الخمس الأولى، استناداً إلى ما نص عليه المرسوم التنفيذي رقم 21-431". [12]

(السعر غير المدعوم 16 دج لعدم وجود ارقام معلنة تم اختيار هذا السعر وفق التصريحات الرسمية في الندوات الصحفية لوزارة الطاقة).

اعتماد معدل التضخم المرجعي نسبته 3%، [12]

تحديد العمر الافتراضي للنظام بخمس وعشرين سنة (25 سنة)، وهو المعيار القياسي المعتمد للألواح الشمسية أحادية البلورة.

عدم الأخذ بالتدهور التدريجي في كفاءة الألواح الشمسية مع الزمن، تبسيطاً للنموذج وإبقاءً على الحد الأدنى المضمون للأداء.

إدراج تكاليف الصيانة ضمن التكلفة الأولية الإجمالية، وعدم إضافتها في الحسابات السنوية.

3. المؤشرات الاقتصادية المعتمدة في الدراسة

تُستخرج قيم الطاقة المستوردة والمصدرة مباشرة من نتائج المحاكاة الديناميكية بالبرنامج "ترانسيس"، المفصلة في الفصل الثالث.

صافي القيمة الحالية (NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

- CF_t : التدفق النقدي السنوي (التوفير السنوي)
- r : معدل الخصم = معدل التضخم = 3%
- N : العمر الافتراضي للنظام = 25 سنة
- t : الترتيب الزمني للسنة التي يتم حساب تدفقها المالي
- C_0 : تكلفة الاستثمار الأولية

إذا كانت :

- NPV أكبر من الصفر المشروع مربحاً
- NPV أصغر من الصفر المشروع غير مجد اقتصادياً

صافي التدفق النقدي السنوي (CF_t)

$$CF_t = Cost_{Ref} + (Revenue_{Sell} - Cost_{Buy})$$

- $Cost_{Ref}$: الفاتورة المرجعية وهي التكلفة السنوية التي كانت تدفع قبل تركيب النظام
- $Revenue_{Sell}$: العائد المالي المحقق من بيع الفائض لشبكة
- $Cost_{Buy}$: التكلفة المالية لتغطية العجز بالشراء من الشبكة

معدل العائد الداخلي (IRR)

$$\sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - C_0 = 0$$

- CF_t : التدفق النقدي السنوي (التوفير السنوي)
- C_0 : تكلفة الاستثمار الأولية

كلما ارتفعت قيمة IRR زادت جاذبية المشروع و تحسنت القدرة على استرجاع المال .

مؤشر الربحية (PI)

$$PI = \frac{NPV + C_0}{C_0}$$

PI اكبر من 1 المشروع مربح

PI اقل من 1 المشروع غير مربح

العائد على الاستثمار (ROI)

$$ROI = \frac{NPV}{C_0} \times 100\%$$

يعطي نسبة الربح مقارنة برأس المال المستثمر .

فترة استرداد رأس المال المخصصة (DPP)

تكلفة الاستثمار / التدفق النقدي السنوي = DPP

عدد السنوات اللازمة لاسترجاع تكلفة المشروع .

4. الإطار القانوني والتحفيزي

تتدرج الخيارات التقنية المعتمدة في هذا المشروع ضمن منظومة تشريعية وطنية داعمة تُشكّل بيئة مواتية للاستثمار في الطاقة الشمسية الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة، وتتضمن ثلاثة مستويات:

جدول 8.II يمثل الإطار القانوني والتحفيزي المعتمد لاستغلال الطاقة الشمسية في كل التراب الجزائري

جدول 8.II الإطار القانوني والتحفيزي لاستغلال الطاقة الشمسية في الجزائر

المستوي	النص القانوني و المضمون
التأطير القانوني	القانون رقم 02-01 (2002): يُرسي مبدأ الولوج الحر للشبكة الوطنية. القرار الوزاري (أفريل 2021): يضبط معايير الربط ومواصفات الحقن. [11]
التحفيز المالي	المرسوم التنفيذي 13-218 المعدل بـ 21-431: يُتيح تعريفة شراء تفضيلية للطاقة المحقونة تُراجع دورياً من قبل لجنة ضبط الكهرباء والغاز [13].
حوافز الاستثمار	قانون المالية 2024 وقانون الاستثمار 22-18: إعفاء جمركي على معدات الطاقة المتجددة، وتطبيق معدل TVA مخفض (9% بدل 19%)، فضلاً عن إعفاءات ضريبية لمشاريع ورقلة تمتد بين 5 و 10 سنوات. [14]

5. خاتمة

توصلنا في هذا الفصل الى الأليات المنهجية الضرورية للانتقال إلى الجانب التطبيقي، من خلال تحديد منطقة الدراسة وخصائصها المناخية، توصيف الحمل الكهربائي للمبنى المرجعي وتقديم مواصفات النظام الكهروضوئي بسيناريوهات مختلفة، فضلاً عن شرح المفاهيم والمعادلات الاقتصادية المعتمدة والإطار القانوني الداعم.

تُشير المعطيات المجمعة إلى أن المناطق المدروسة — لا سيما ورقلة والجلفة — تتوفر على إمكانيات شمسية مؤهلة تجعل الاستثمار في الأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة خياراً تقنياً واقتصادياً مجدياً. أما النتائج الكمية التفصيلية المستخرجة من برنامج المحاكاة "ترانسييس" وتحليلها المقارن، فتُرد في الفصل الثالث.

الفصل الثالث

المحاكات و النتائج

1 المقدمة

يقدم هذا الفصل دراسة وتحليل نتائج النظام الشمسي المدروس من خلال محاكاة أداء المنظومة في عدة ولايات جزائرية، وذلك بهدف تقييم مدى قدرتها على تلبية احتياجات الاستهلاك الكهربائي المنزلي وتقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية التقليدية. كما تم التركيز على دراسة تأثير عدد الألواح الشمسية والإشعاع الشمسي على كمية الطاقة المنتجة، إضافة إلى تحليل الجانب الاقتصادي للنظام من خلال حساب التكلفة، فترة استرداد رأس المال وبعض المؤشرات الاقتصادية المهمة. وقد سمحت هذه الدراسة بإبراز أهمية استغلال الطاقة الشمسية في الجزائر، خاصة مع توفر معدلات إشعاع شمسي مرتفعة في العديد من المناطق، مما يجعل هذا النوع من الأنظمة حلاً مناسباً لتخفيف الضغط على الشبكة الكهربائية وتحقيق توفير اقتصادي على المدى الطويل.

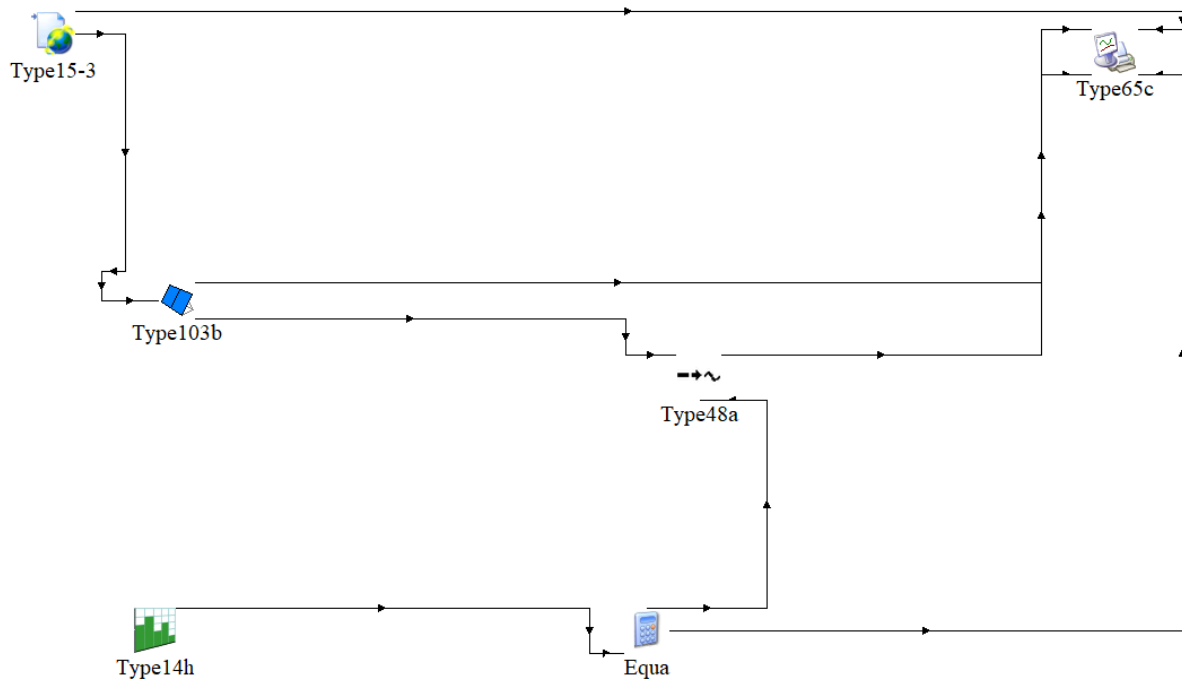
2 . الجزء الأول: نمذجة نظام المحاكاة ووصف الحمل المنزلي

يمثل هذا الجزء عملية المحاكاة، حيث يتم فيه تحديد "الطرف الثابت" وهو استهلاك المبنى، و"نظام الإدارة" وهو مخطط "ترانسيس"، قبل الانتقال لمتغيرات الموقع الجغرافي.

1.2 مخطط بناء نظام المحاكاة

تم بناء النموذج الافتراضي في بيئة ("ترانسيس") الموضح في (شكل 12.III) عبر ربط المكونات البرمجية التي تعكس الخصائص الفيزيائية للألواح والعاكس.

يوضح الشكل أدناه هيكلية تدفق الطاقة وكيفية تفاعل النظام مع البيانات المناخية اللحظية.

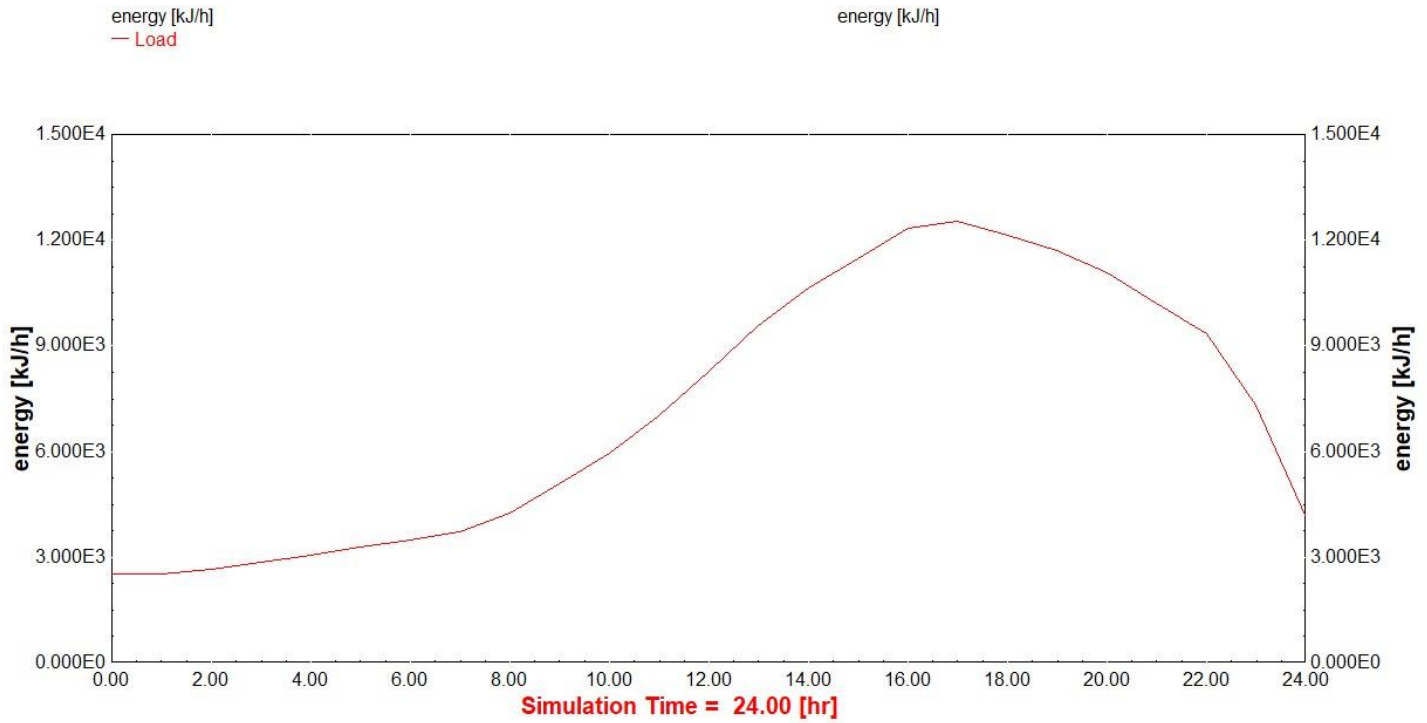


شكل 12.III مخطط نظام المحاكاة المتكامل

2.2 وصف الحمل المنزلي الموحد

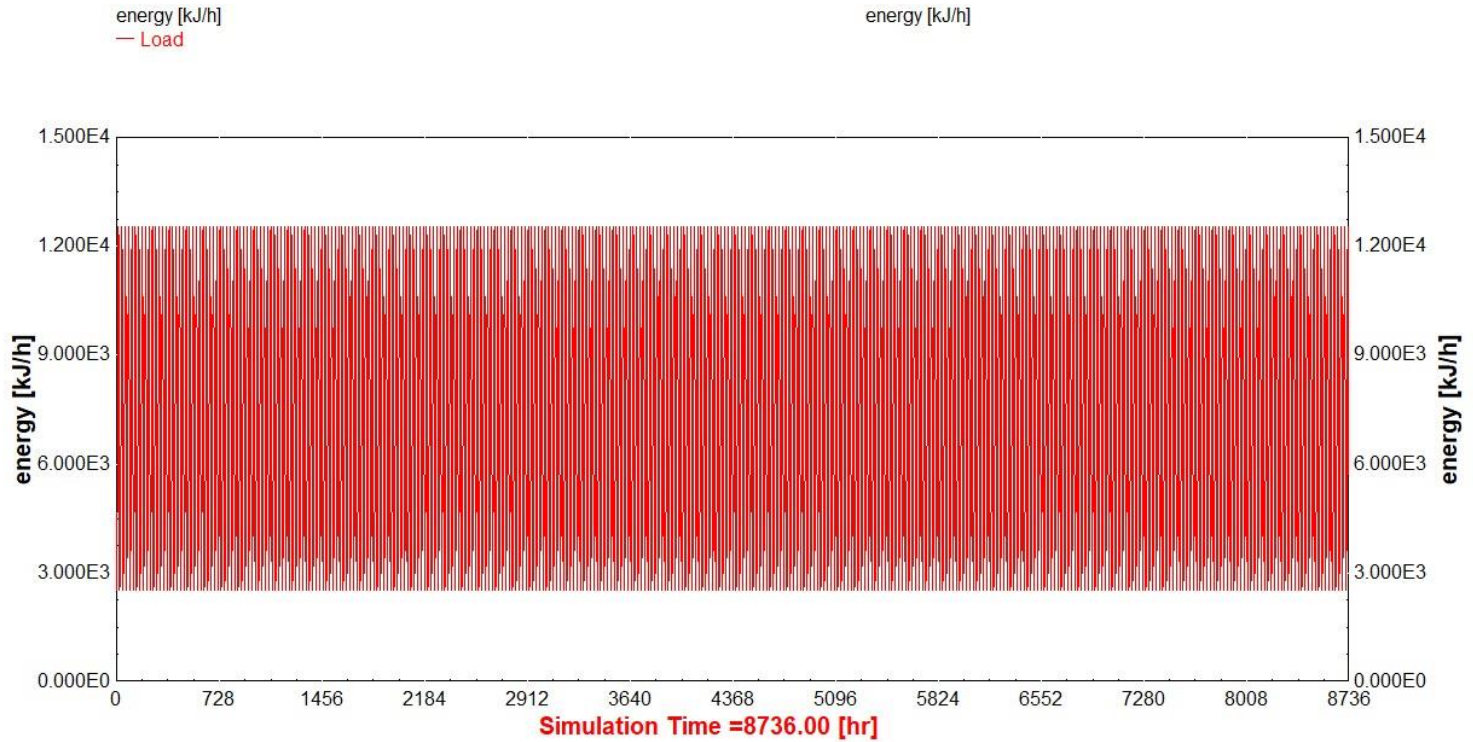
لضمان موضوعية المقارنة بين المناطق الثلاث، تم توحيد نمط الاستهلاك بناءً على احتياجات عائلة حضرية متوسطة في الجزائر، ليكون هو "المعيار المرجعي" الثابت للدراسة". يستند هذا التوحيد إلى أخذ أعلى قيمة يستهلكها المبنى وتثبيتها على مدار السنة ونتيجة لذلك يُعتمد نفس مخطط الحمل في المناطق الجنوبية (ورقلة، الجلفة) وفي المنطقة الشمالية (الجزائر العاصمة)، إذ أن الاستهلاك المنزلي الأساسي من إضاءة وأجهزة كهرو منزلية وتبريد او وتسخين يبقى ثابتاً بصرف النظر عن الموقع الجغرافي، في حين يتغير ما يُنتجه النظام الكهروضوئي تبعاً للإشعاع الشمسي المحلي لكل منطقة .

أ. التوزيع الساعي للحمل : أظهرت النمذجة أن الحمل اليومي المطلوب يبلغ 52.21 kW، يتوزع هذا الاستهلاك على مدار اليوم ليعكس فترات الذروة والنشاط المنزلي.



شكل 13.III منحنى استهلاك المنزل اليومي المعتمد في المحاكاة

ب. التوزيع السنوي للحمل : بناءً على المحاكاة الممتدة لسنة كاملة، بلغ إجمالي الطلب السنوي (19,059.95 kWh) ما يعادل (68,615,820 kJ) يوضح المنحنى السنوي التغيرات الفصلية التي ستحدد لاحقاً "ميزان الطاقة" في كل منطقة



شكل 14.III منحنى استهلاك المنزل السنوي الموزع على شهور السنة

3.2 تمت الدراسة على 3 ولايات

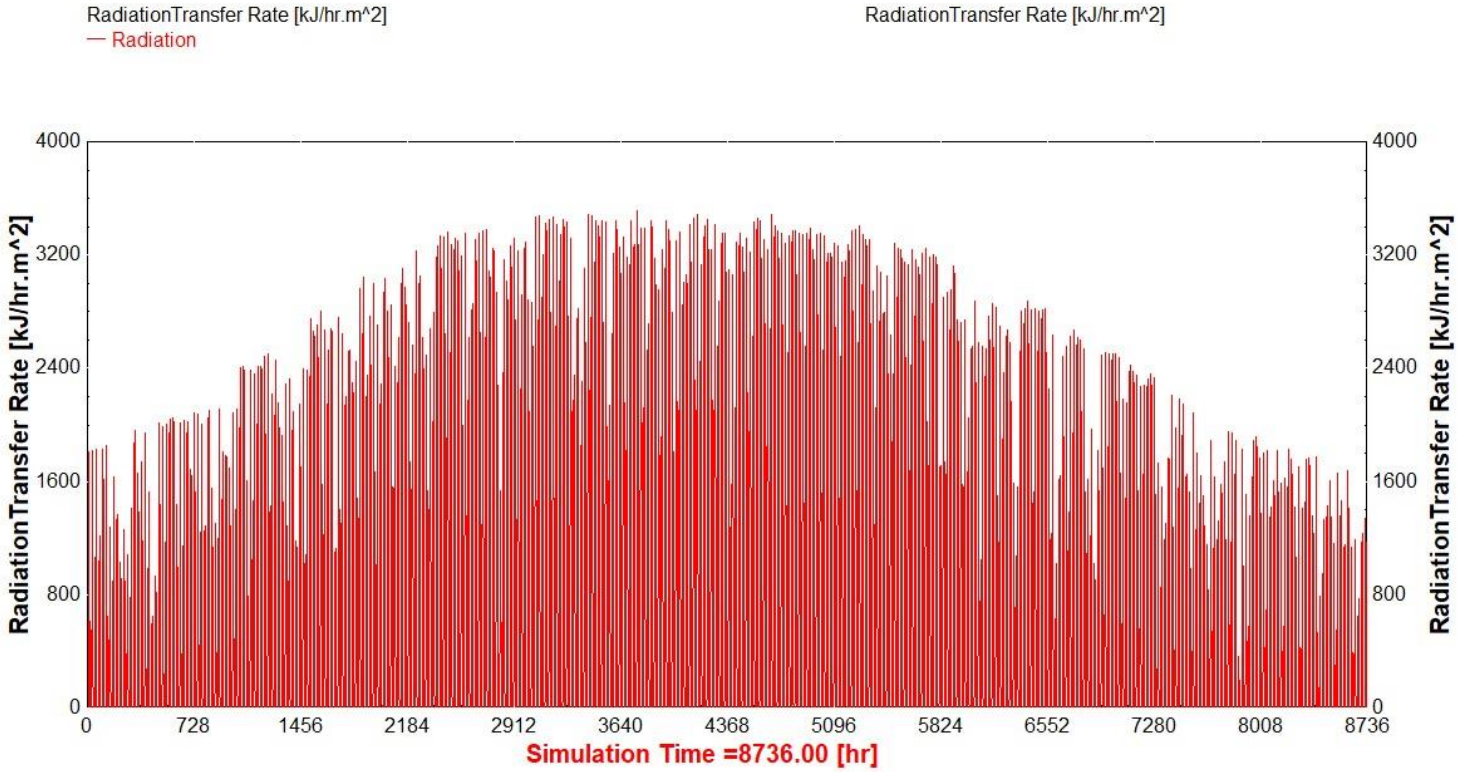
1. الجزائر العاصمة:

- ✓ وصف البيئة المناخية ومورد الإشعاع (حالة ولاية الجزائر العاصمة) : تُعتبر ولاية الجزائر العاصمة نموذجاً للمناطق الساحلية ذات المناخ المتوسطي المعتدل. يوضح الشكل توزيع الإشعاع الشمسي السنوي .
- ✓ تحليل المورد الطاقوي:

أظهرت نتائج المحاكاة أن إجمالي الإشعاع السنوي بلغ $7764384.35 \text{ kJ/m}^2$.

- ✓ الكثافة الإشعاعية:

سجل متوسط الإشعاع الساعي قيمة قدرها 888.68 kJ/h.m^2 ، مما يعكس طابع المناخ المتوسطي بتفاوتاته الموسمي الواضح بين فصل الصيف المشمس وفصل الشتاء الأكثر غيوماً وأمطاراً. غير أن هذا المستوى الإشعاعي يبقى كافياً لضمان استمرارية تشغيل النظام الكهروضوئي خلال ساعات النهار على مدار فصول السنة.



شكل 15.III منحنى الإشعاع الشمسي السنوي في ولاية الجزائر العاصمة محاكاة (8736 ساعة)

التحليل :

يبين منحنى الإشعاع الشمسي السنوي لولاية الجزائر العاصمة تغير شدة الإشعاع خلال أشهر السنة، حيث ترتفع قيم الإشعاع تدريجياً بداية من فصل الربيع لتبلغ أعلى مستوياتها خلال فصل الصيف، خاصة في شهري جوان وجويلية، نتيجة زيادة ساعات السطوع الشمسي وارتفاع زاوية سقوط الأشعة الشمسية.

أما خلال فصل الشتاء، فتسجل القيم انخفاضاً ملحوظاً بسبب قصر مدة النهار وكثرة الغيوم والرطوبة الجوية. وتشير هذه النتائج إلى أن الجزائر تمتلك مورداً شمسياً متوسطاً يسمح باستغلال الانظمة الكهروضوئية .

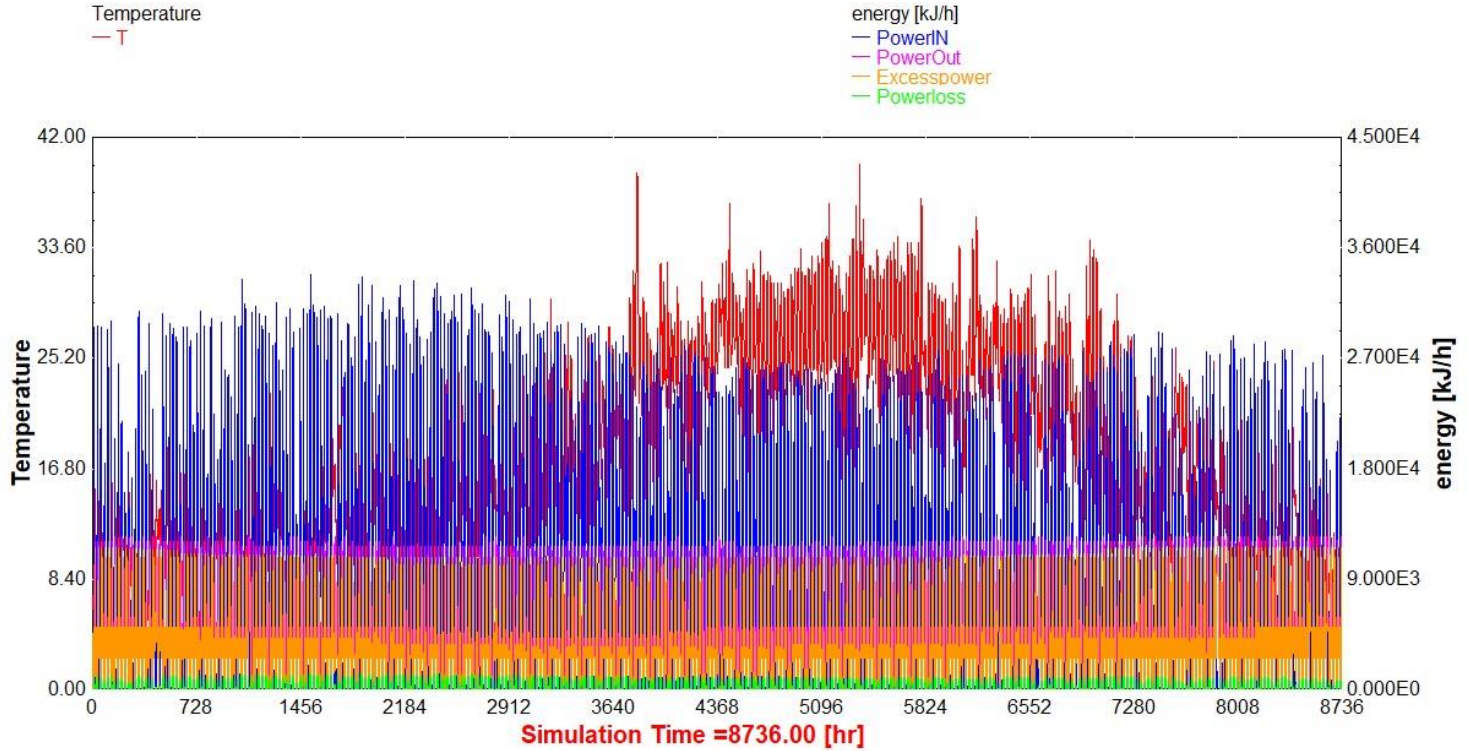
1.3.2 تحليل الأداء الطاقوي لنظام

الجزائر العاصمة:

تمت دراسة سلوك النظام من خلال حالتين لمصفوفة الألواح ومقارنتهما بالحمل المرجعي للمبنى (بدون نظام كهروضوئي) والبالغ 19059.95 kW .

❖ الحالة الأولى: مصفوفة 24 لوح

يعرض (شكل 16.III) نتائج المحاكاة السنوية لتدفقات الطاقة وحرارة الألواح لهذه الحالة في مناخ العاصمة



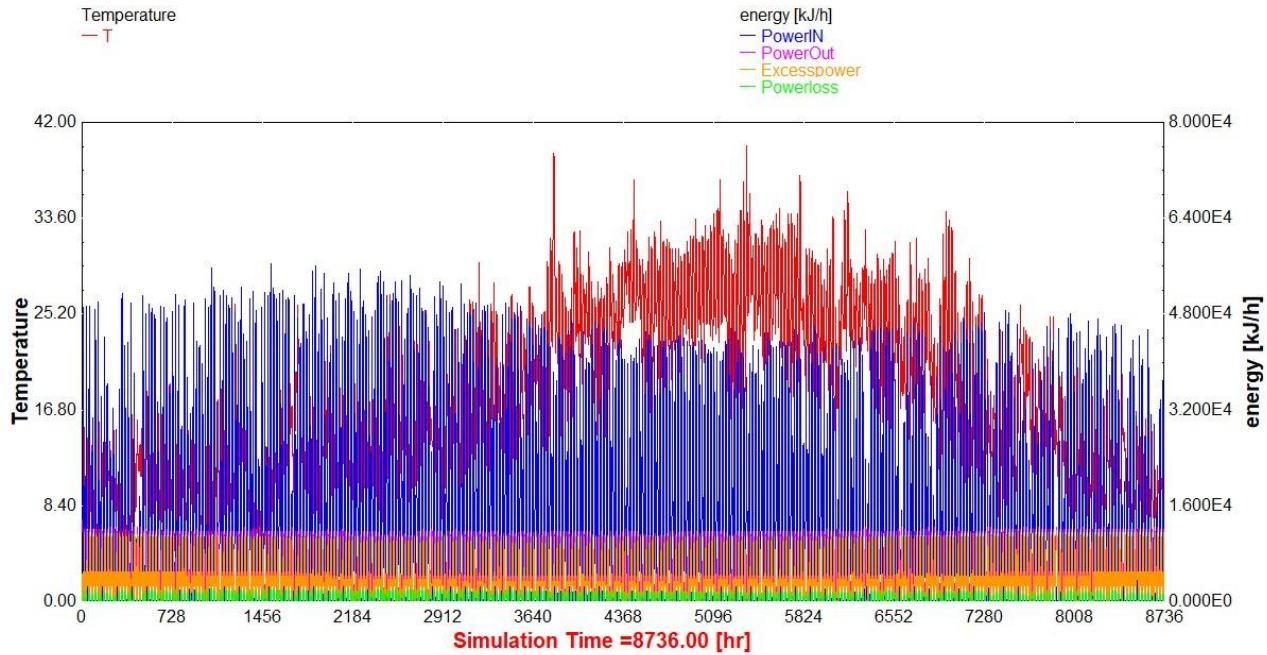
شكل 16.III محاكاة سنوية لنسبة استهلاك وإنتاج الطاقة ودرجة الحرارة

• التحليل والتعليق:

نلاحظ منحنى الإنتاج والاستهلاك أن النظام الكهروضوئي المكون من 24 لوح يحقق أفضل أداء خلال فصل الصيف، حيث ترتفع كمية الطاقة المنتجة نتيجة زيادة الإشعاع الشمسي وعدد ساعات السطوع. ورغم هذا الارتفاع، يبقى منحنى الاستهلاك أعلى من منحنى الإنتاج خلال معظم أشهر السنة، مما يدل على أن النظام غير كاف لتغطية الحمل الكهربائي الكامل للمبنى بسبب انخفاض الإشعاع الشمسي وكثرة الغيوم والرطوبة، وهو ما يؤدي إلى زيادة الاعتماد على الشبكة الكهربائية.

❖ الحالة الثانية: مصفوفة 40 لوح (الإنتاج المكثف) :

تم رفع سعة النظام لتقييم قدرته على تجاوز العجز المسجل في الحالة الأولى وتحقيق فائض طاقي للضخ في الشبكة.



شكل 17.III محاكاة سنوية لنسبة استهلاك وإنتاج الطاقة ودرجة الحرارة

• التحليل والتعليق:

يبين منحنى الإنتاج والاستهلاك أن زيادة عدد الألواح إلى 40 لوح ساهمت في تحسين الأداء العام للنظام الكهروضوئي، حيث ارتفعت كمية الطاقة المنتجة بشكل واضح وأصبح منحنى الإنتاج أقرب إلى منحنى الاستهلاك خلال أغلب فترات السنة. كما يلاحظ تحسن في الاستقرار الطاقوي خاصة خلال أشهر الصيف. ورغم هذا التحسن، فإن للنظام قد يبقى بحاجة إلى دعم من الشبكة الكهربائية خلال بعض فترات الشتوية نتيجة الانخفاض الإشعاع الشمسي.

2.3.2. تقييم استقرار النظام والجودة الفنية (الجزائر العاصمة)

جدول 7.III يمثل نسبة استقرار النظام في الحالات الثلاث لولاية الجزائر

جدول 7.III نسبة استقرار النظام

المعيار التقني السنوي	الحالة المرجعية	الحالة الأولى (نظام 24 لوح)	الحالة الثانية (نظام 40 لوح)
اجمالي الاستهلاك السنوي kWh	19059.95	19059.95	19059.95
اجمالي الانتاج السنوي kWh	0	18518	30763.16
صافي التبادل السنوي مع الشبكة kWh	0	-1282.66	10472.68
اجمالي الضياعات سنوية للعاكس kWh	0	740.72	1230.52
الطاقة المستوردة من الشبكة kWh	19059.95	9573.06	8919.25
الطاقة المصدرة kWh	0	8290.39	19391.94

مناقشة النتائج (الجزائر) :

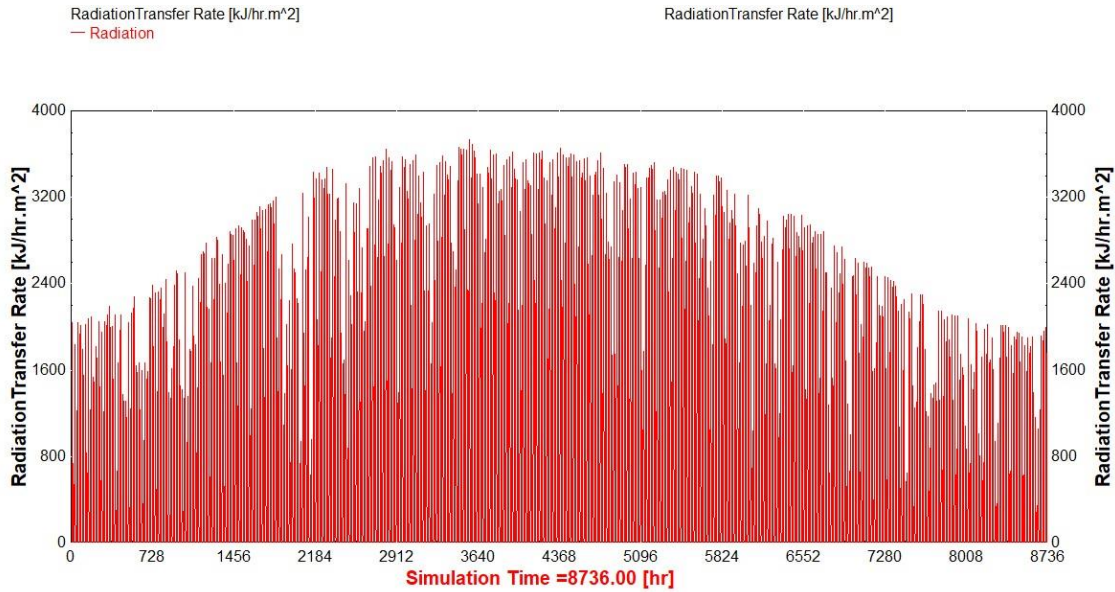
- أثر المناخ: تؤكد النتائج أن مناخ الجزائر لا يدعم استقرار جهد النظام وذلك بسبب قلة عدد ساعات سطوع الاشعاع وسمائها التي تكون مليئة بالغيوم في عدة ايام من السنة
- استقرارية الحقن: في حالة 40 لوح، يوفر النظام فائضاً طاقوياً كبيراً يمكن استغلاله في دعم الشبكة المحلية، خاصة في فصول الذروة الربيعية والخريفية.

ولاية الجلفة :

✓ وصف البيئة المناخية ومورد الإشعاع (حالة ولاية الجلفة) :

تعتبر ولاية الجلفة عينة مرجعية لمناطق الهضاب العليا ذات المناخ القاري والارتفاع الملحوظ عن سطح البحر. يوضح (شكل 18.III) توزيع الإشعاع الشمسي السنوي

- ❖ تحليل المورد الطاقوي: أظهرت نتائج المحاكاة أن إجمالي الإشعاع السنوي بلغ $(8080810.16 \text{ kJ/m}^2)$
- ❖ الكثافة الإشعاعية: سجل متوسط الإشعاع السنوي قيمة قدرها (924.90 kJ/m^2) ، مما يشير إلى توفر مورد طاقي مستقر يتأثر إيجاباً بانخفاض درجات الحرارة السائدة في المنطقة مقارنة بالمناطق الصحراوية، مما يعزز كفاءة الأداء اللحظي للنظام.



شكل 18.III توزيع الإشعاع الشمسي السنوي في ولاية الجلفة .

التحليل:

يوضح منحنى الإشعاع الشمسي لولاية الجلفة أن الولاية تستفيد من مستويات إشعاع مرتفعة نسبياً ، وذلك بفضل موقعها الجغرافي وطبيعتها شبه الصحراوية.

ويظهر المنحنى استقراراً جيداً للإشعاع خلال معظم أشهر السنة، مع تسجيل أعلى القيم خلال فصل الصيف.

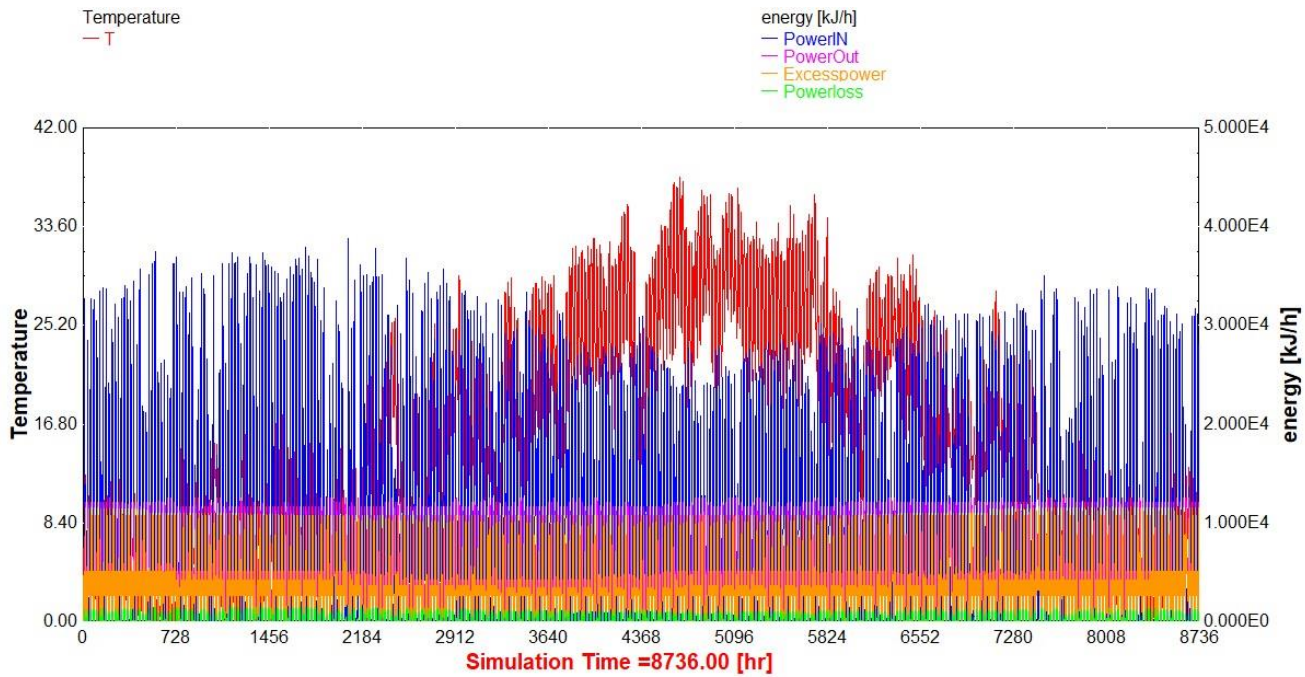
وتعد هذه الظروف المناخية ملائمة جداً لاستغلال الأنظمة الكهروضوئية وتحقيق إنتاج كهربائي مرتفع

2.3.2 تحليل الأداء الطاقوي لنظام (On-Grid) في الجلفة تحت حالتين مختلفتين

تمت دراسة سلوك النظام من خلال حالتين لمصفوفة الألواح ومقارنتهما بالحمل المرجعي الثابت للمبنى

❖ الحالة الأولى: مصفوفة 24 لوح (توازن الإنتاج والاستهلاك):

يعرض (شكل 19.III) نتائج المحاكاة السنوية لتدفقات الطاقة وحرارة الألواح لهذه الحالة، حيث تم رصد التوافق بين القدرة المولدة ونمط استهلاك المنزل في بيئة الجلفة.



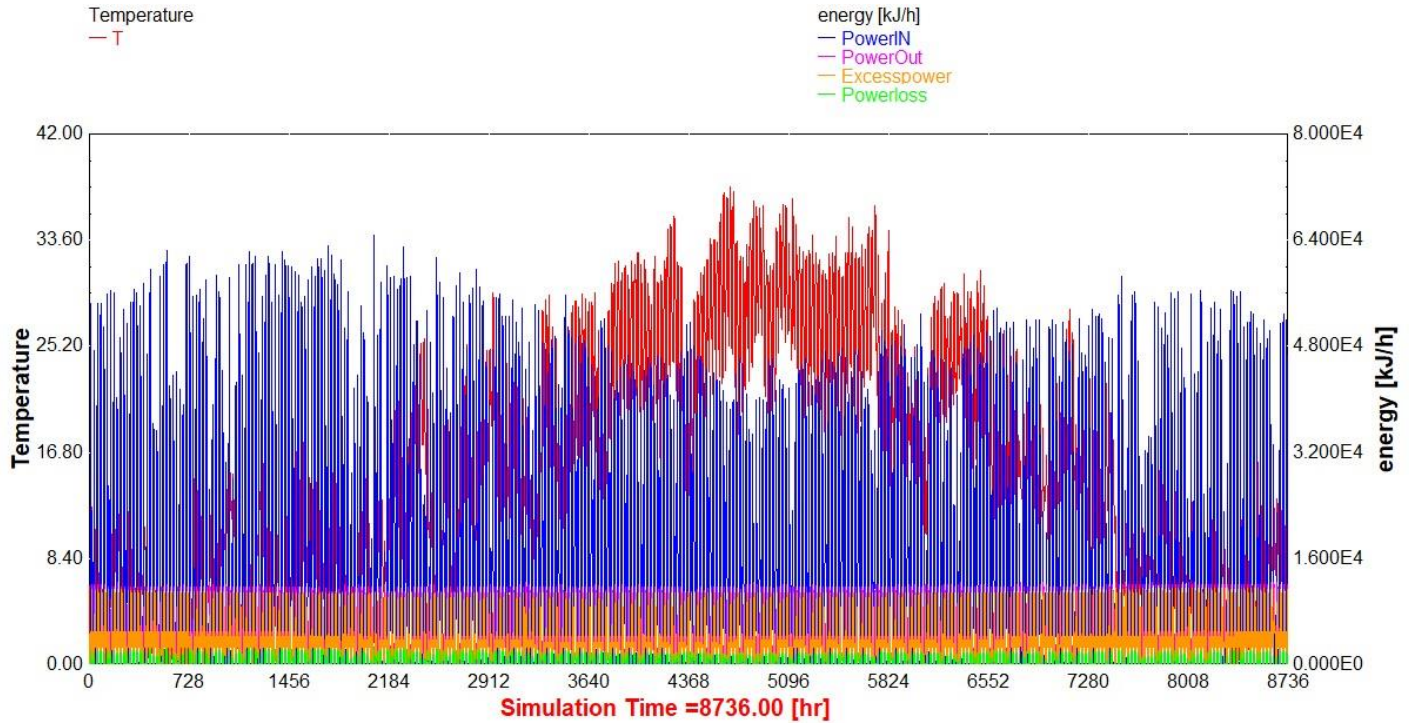
شكل 19.III يمثل محاكاة سنوية لنسبة استهلاك وإنتاج الطاقة ودرجة الحرارة

• التحليل والتعليق :

نلاحظ منحنى الإنتاج والاستهلاك أن النظام الكهروضوئي يحقق أفضل أداء خلال فصل الصيف، خاصة في فصل الربيع والصيف، حيث يصل الإنتاج إلى الذروة نتيجة ارتفاع الإشعاع الشمسي وطول مدة السطوع اليومي. وخلال هذه الفترة يقترب منحنى الإنتاج بشكل واضح من منحنى الاستهلاك، مما يدل على أن النظام يغطي جزءاً كبيراً من الحمل الكهربائي للمبنى ويظهر المنحنى أيضاً أن الانتاج يقترب من الاستهلاك خلال معظم أشهر السنة، وهو ما يعني أن نظام 24 لوحاً يعد كاف لتحقيق التغطية الكاملة للحمل الكهربائي.

الحالة الثانية: مصفوفة 40 لوح (الإنتاج المكثف والضخ في الشبكة)

تم في هذه الحالة رفع سعة النظام لتقييم أثر الزيادة الإنتاجية في بيئة تتميز ببرودة نسبية وإشعاع مرتفع، ويوضح (شكل 20.III) السلوك الطاقوي لهذا السيناريو.



شكل 20.III نسبة استهلاك وإنتاج الطاقة السنوي لسعة 40 لوح

• التحليل والتعليق:

نلاحظ ان زيادة عدد الألواح إلى قفزة نوعية في الطاقة المصدرة للشبكة ويعزى ذلك إلى انخفاض الإجهاد الحراري على المصفوفة بفضل اعتدال درجات الحرارة المحيطة، مما يسمح للألواح بالعمل في ظروف تشغيلية أقرب إلى المعايير القياسية.

تقييم استقرار النظام والجدوى الفنية (الجلفة)

جدول 8.III يمثل نسبة استقرار النظام في الحالات الثلاث لولاية الجلفة

جدول 8.III نسبة استقرار النظام

المعيار التقني السنوي	الحالة المرجعية	الحالة الأولى (نظام 24لوح)	الحالة الثانية (نظام 40لوح)
اجمالي الاستهلاك السنوي kWh	19059.95	19059.95	19059.95
اجمالي الانتاج السنوي kWh	0	20027.82	33379.71

صافي التبادل السنوي مع الشبكة kWh	0	166.76	12984.57
اجمالي الضياعات سنوية للعاكس kWh	0	801.11	1335.18
الطاقة المستوردة من الشبكة kWh	19059.95	9518.61	8869.04
الطاقة المصدرة kWh	0	9685.37	21853.60

مناقشة النتائج (الجلفة) :

- أثر المناخ: تؤكد النتائج أن مناخ الجلفة يدعم استقرار جهد النظام بفضل التوازن بين شدة الإشعاع واعتدال الحرارة، مما يقلل من الحاجة لتهوية إضافية .
- استقرارية الحقن: في حالة 40 لوح، يوفر النظام فائضاً طاقياً كبيراً يمكن استغلاله في دعم الشبكة المحلية، خاصة في فصول الذروة الربيعية والخريفية.

ولاية ورقلة:

✓ توصيف البيئة المناخية ومورد الإشعاع (حالة ولاية ورقلة)

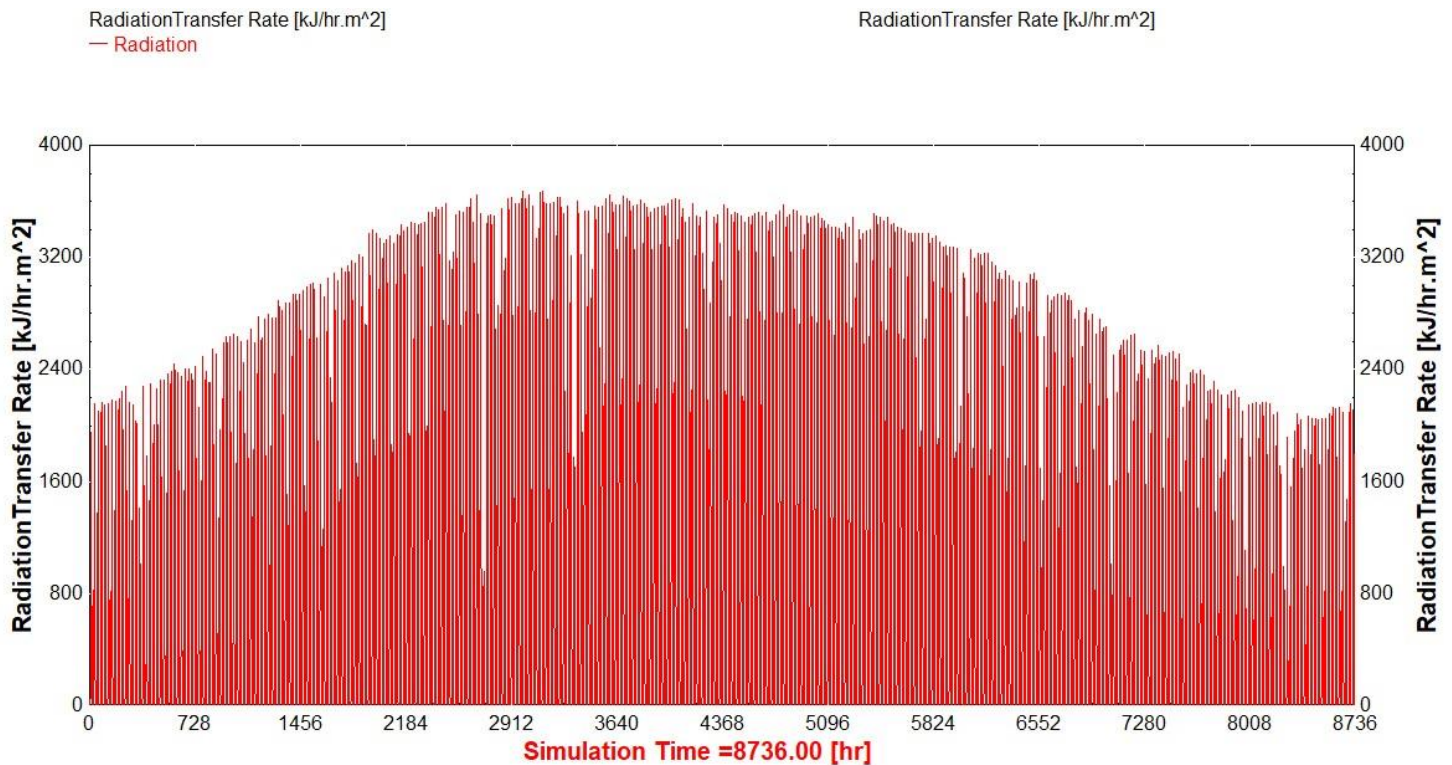
تعتبر ولاية ورقلة عينة مرجعية للمناطق الصحراوية ذات الإشعاع الشمسي المرتفع. يوضح الشكل (1) توزيع الإشعاع الشمسي السنوي.

✓ تحليل المورد الطاقوي:

أظهرت نتائج المحاكاة أن إجمالي الإشعاع السنوي بلغ $(8847438.83 \text{ kJ/m}^2)$

✓ الكثافة الإشعاعية:

سجل متوسط الإشعاع الساعي قيمة قدرها (1012.64 kJ/m^2) ، مما يشير إلى وفرة طاقيية تضمن استمرارية تشغيل النظام خلال ساعات النهار على مدار فصول السنة.



شكل 21.III توزيع الإشعاع الشمسي السنوي

التحليل :

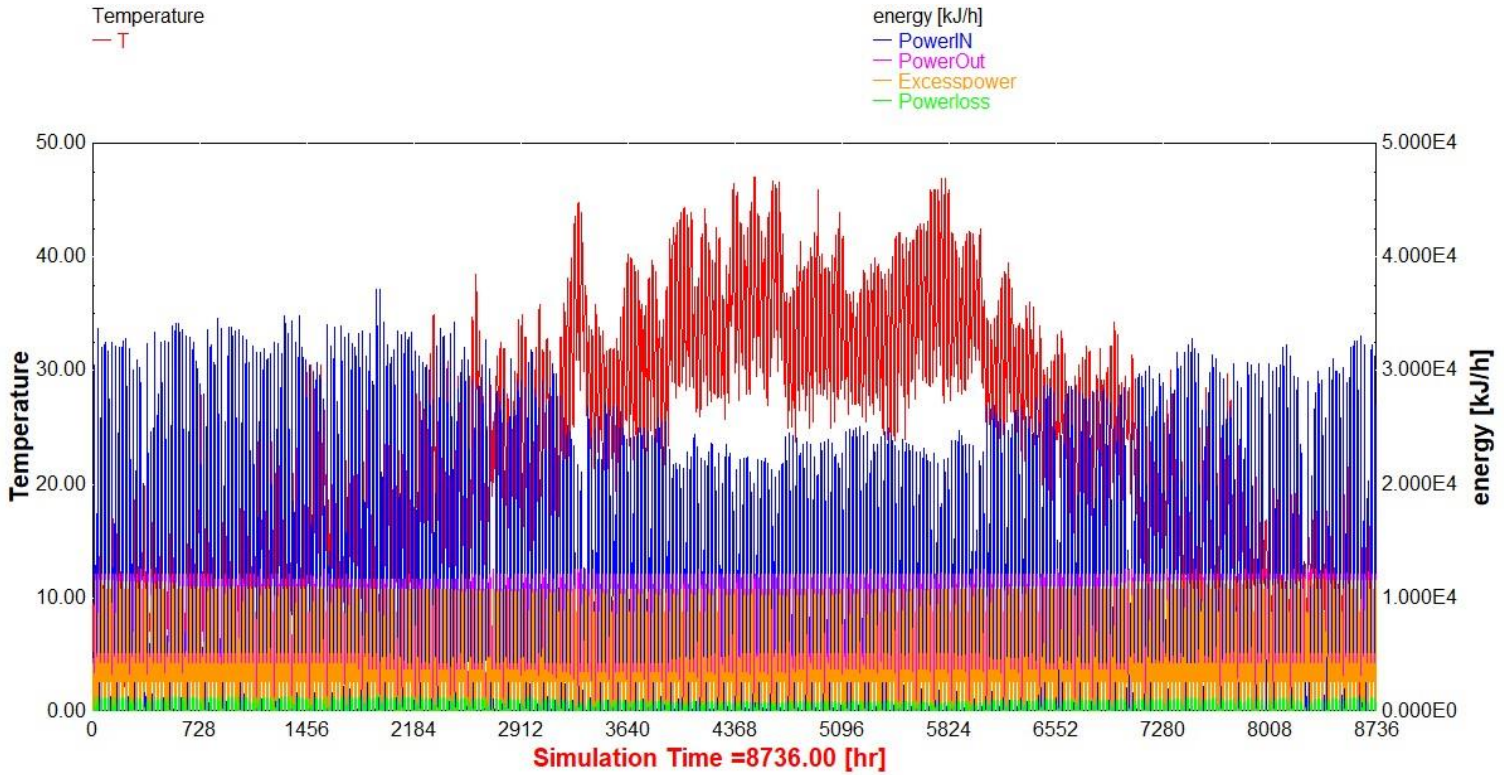
يبين منحنى الإشعاع الشمسي لولاية ورقلة (شكل 21.III) ارتفاعاً كبيراً في قيم الإشعاع طوال أشهر السنة مقارنة بباقي الولايات المدروسة، ويرجع ذلك إلى الموقع الصحراوي للولاية الذي يتميز بصفاء السماء وارتفاع عدد ساعات السطوع الشمسي السنوية. كما نلاحظ أن أعلى قيم الإشعاع تسجل خلال فصل الصيف، خاصة في (شهرَي جوان وجويلية)، بينما تنخفض نسبياً خلال فصل الشتاء دون أن تفقد المنطقة قدرتها الإنتاجية العالية. وتؤكد هذه المعطيات أن ولاية ورقلة تمتلك مؤهلات ممتازة لاستغلال الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتحقيق مردود كهربائي مرتفع.

3.3.2 تحليل الأداء الطاقوي لنظام تحت حالتين مختلفتين

تمت دراسة سلوك النظام من خلال حالتين لمصفوفة الألواح ومقارنتهما بالحمل المرجعي للمبنى (بدون نظام كهروضوئي).

❖ الحالة الأولى : مصفوفة 24 لوح (توازن الإنتاج والاستهلاك) :

يعرض (شكل 22.III) نتائج المحاكاة السنوية لتدفقات الطاقة وحرارة الألواح لهذه الحالة، حيث تم رصد العلاقة بين القدرة المولدة ونمط استهلاك المنزل



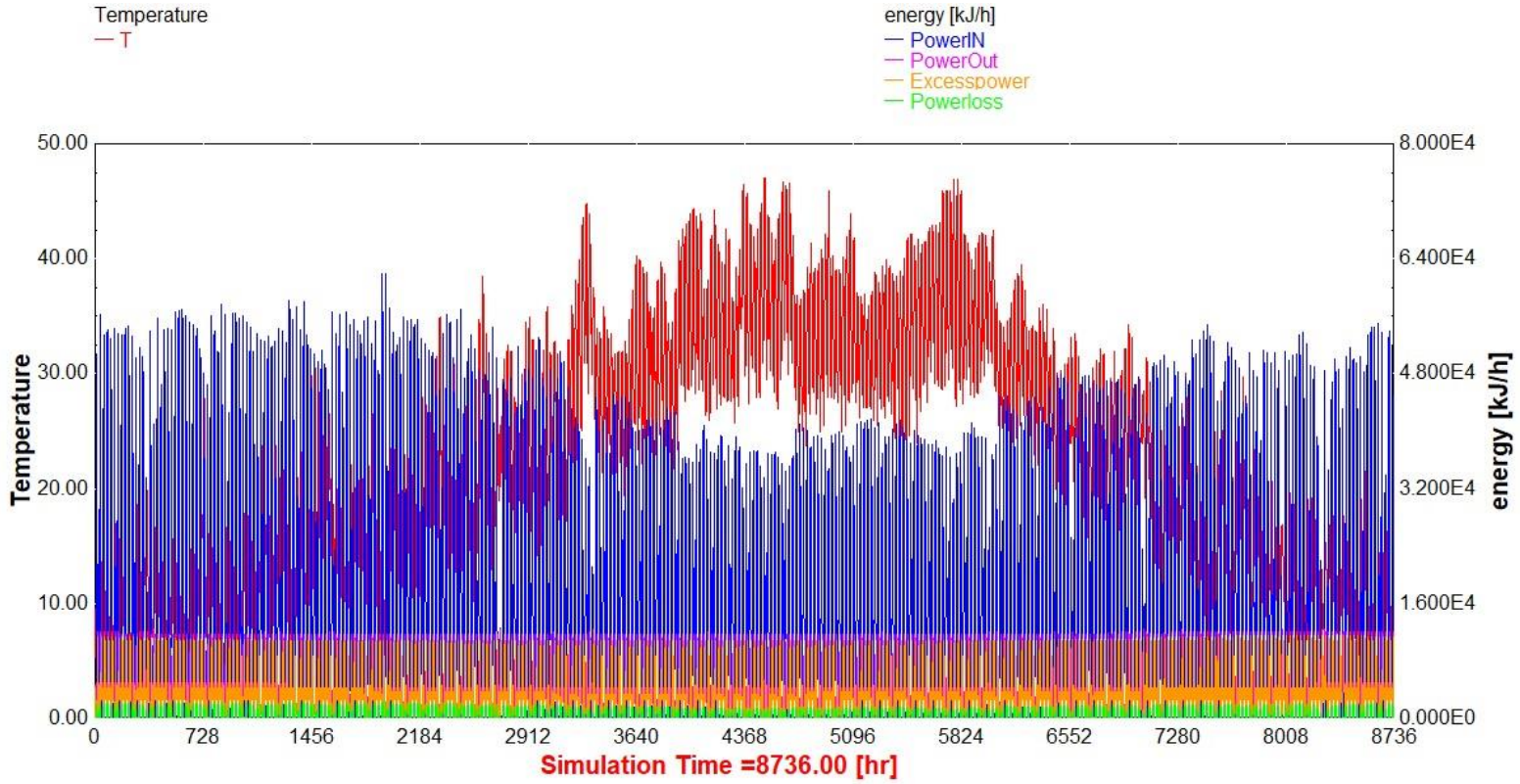
شكل 22.III محاكات سنوية نسبة استهلاك وانتاج الطاقة ودرجة الحرارة.

• التحليل والتعليق:

أظهرت نتائج المحاكاة أن النظام الكهروضوئي المكون من 24 لوحاً بقدرة 455 واط للوح الواحد استطاع تحقيق إنتاج جيد للطاقة الكهربائية في ولاية ورقلة، حيث اقترب منحنى الإنتاج من منحنى الاستهلاك خلال عدة فترات من السنة وذلك راجع لنسبة الإشعاع العالية في هذه المنطقة، كما نلاحظ انخفاض نسبي في إنتاج الطاقة لفصل الصيف ويرجع ذلك إلى ارتفاع درجات الحرارة التي تؤثر على الألواح وكفاءتها. كما أن العجز الطاقوي المسجل كان محدوداً نسبياً مقارنة ببقية الولايات، مما يدل على أن النظام استطاع تغطية نسبة كبيرة من الاستهلاك الكهربائي للمبنى. إلا أن الإنتاج بقي غير كاف لتحقيق اكتفاء ذاتي كامل، خاصة خلال الفترات التي ينخفض فيها الإشعاع لذلك بقي النظام بحاجة إلى دعم جزئي من الشبكة الكهربائية لتغطية العجز خلال بعض الفترات.

❖ الحالة الثانية: مصفوفة 40 لوح (الإنتاج المكثف والضح في الشبكة)

تم في هذه الحالة رفع سعة النظام لتقييم أثر الزيادة الإنتاجية على استقرار التفاعل مع الشبكة، ويوضح (شكل 23.III) السلوك الطاقوي لهذا السيناريو



شكل 23.III نسبة استهلاك وانتاج الطاقة السنوي

• التحليل والتعليق:

نلاحظ من منحنى الإنتاج والاستهلاك أن زيادة عدد الألواح إلى 40 لوح ساهمت بشكل واضح في تحسين أداء النظام الكهربائي، حيث ارتفعت كمية الطاقة المنتجة وأصبح منحنى الإنتاج أقرب إلى منحنى الاستهلاك طوال السنة.

كما نلاحظ تسجيل فائض أكبر نتيجة الاستفادة من الإشعاع الشمسي المرتفع بالمنطقة.

وأظهرت النتائج السنوية فرقاً طاقوياً كبيراً، مما يدل على أن زيادة عدد الألواح تؤدي إلى تحسين قدرة النظام على تغطية الطلب الكهربائي وتقليل النقص الطاقوي.

وتبرز هذه النتائج فعالية الأنظمة الكهروضوئية في المناطق الصحراوية، حيث تسمح الظروف المناخية الممتازة بتحقيق إنتاجية عالية واستقرار أفضل للمنظومة الكهربائية.

تقييم استقرار النظام والجدوى الفنية (ورقلة)

جدول III. 9. نسبة استقرار النظام.

المعيار التقني السنوي	الحالة المرجعية	الحالة الأولى (نظام 24 لوح)	الحالة الثانية (نظام 40 لوح)
اجمالي الاستهلاك السنوي kWh	19059.95	19059.95	19059.95
اجمالي الانتاج السنوي kWh	0	19904.99	33174.99
صافي التبادل السنوي مع الشبكة kWh	0	48.84	12788.03
اجمالي الضياعات سنوية للعاكس kWh	0	796.2	1326.99
الطاقة المستوردة من الشبكة kWh	19059.95	9471.60	8894.46
الطاقة المصدرة kWh	0	9520.44	21682.50

مناقشة النتائج

. أثر الإجهاد الحراري: تؤكد النتائج أن الخسائر ترتبط طردياً مع حجم المصفوفة ودرجة الحرارة في بيئة ورقلة؛ مما يستوجب مراعاة تهوية النظام للحفاظ على استقرار الجهد .

. استقرارية الحقن: في حالة 40 لوح، يتطلب الفائض الضخم دراسة قدرة استيعاب المحولات المحلية لتفادي مشاكل ارتفاع الجهد اللحظي .

3 مناقشة النتائج العامة

✓ مدي استقرار النظام

- في ورقلة : يظهر النظام استقراراً إنتاجياً عالياً، لكن استقرار المكونات (العاكس والألواح) مهدد بالإجهاد الحراري الناتج عن درجات الحرارة القياسية، مما يتطلب أنظمة تبريد طبيعية أو قسرية مع ذلك يبقى النظام فعال.
- في الجلفة : سجلت النتائج أفضل مؤشرات الاستقرار؛ حيث تحقق توازناً بين شدة الإشعاع وكفاءة التحويل الطاقوي نتيجة اعتدال درجات الحرارة ، مما يقلل من تذبذب الجهد اللحظي.
- في الجزائر: النظام مستقر جداً من الناحية التشغيلية (عمر افتراضي أطول للمعدات)، لكنه غير مستقر من الناحية التمويلية للحمل ، حيث يظل المبنى معتمداً على الشبكة لتغطية العجز في فصول الشتاء.

➤ تحليل الحقن والتبادل مع الشبكة :

- نظام 24 لوح : يمثل الحل الأمثل لولايتي ورقلة والجلفة لتحقيق "التعادل الطاقوي السنوي" دون إجهاد الشبكة بفائض ضخم لكنه ليس الخيار الأمثل لتحقيق ربح جيد.
- نظام 40 لوح : في الجزائر العاصمة، يعتبر هذا النظام مبرراً تقنياً للوصول إلى الاكتفاء الذاتي، بينما يمثل في ورقلة ضغطاً تقنياً قد يؤدي إلى مشاكل في ارتفاع الجهد عند نقاط الحقن نتيجة الفائض الهائل

الجزء الثاني : الدراسة الاقتصادية للنظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة

❖ مواصفات النظام :

تم اعتماد ألواح شمسية بقدرة:

○ قدرة اللوح الواحد : 455 واط

➤ نظام 24 لوح

○ نظام 24 لوح = $455 * 24 = 10.92$ كيلوواط .

➤ نظام 40 لوح

○ نظام 40 لوح = $455 * 40 = 18.2$ كيلوواط .

تكلفة الاستثمار:

تم اعتماد سعر اللوح الواحد: 28000 دج

تكلفة الألواح الشمسية :

➤ نظام 24 لوح

$28000 * 24 = 672000$ دج

➤ نظام 40 لوح

$28000 * 40 = 1120000$ دج

التكلفة الإجمالية للنظام

جدول 10.III التكلفة الإجمالية للنظام الكهروضوئي

العنصر	24 لوح (دج)	40 لوح (دج)
الألواح الشمسية	672000	1120000
العاكس الكهربائي	250000	300000
هياكل التثبيت	120000	180000
الحماية الكهربائية	108000	120000
التركيب و الصيانة	150000	180000
المجموع	1300000	1900000

1. استهلاك الطاقة و التبادل مع الشبكة

يعتمد النظام المرتبط بالشبكة على استهلاك الطاقة المنتجة مباشرة خلال ساعات النهار، بينما يتم سحب الطاقة من الشبكة الكهربائية خلال الليل أو عند انخفاض الإشعاع الشمسي.

كما يسمح النظام بضخ فائض الطاقة نحو الشبكة عند تجاوز الإنتاج لحاجة المبنى، خاصة في الأيام التي تعرف ارتفاعاً في الإشعاع الشمسي.

وقد أظهرت النتائج أن:

نظام 24 لوحاً يساهم أساساً في تخفيض الطاقة المسحوبة من الشبكة.

نظام 40 لوحاً يسمح بتحقيق فائض طاقي، خاصة في ورقة، يمكن ضخه أو بيعه للشبكة الكهربائية.

2 الدراسة الاقتصادية للنظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة

تعد الأنظمة الكهروضوئية من أهم الحلول الحديثة التي تساهم في التوجه نحو الطاقة النظيفة و تقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية التقليدية المولدة عن طريق الوقود الأحفوري، خاصة في ظل التزايد المستمر للطلب على الطاقة. ولا يقتصر دور هذه الأنظمة على الجانب التقني فقط، بل يمتد ليشمل الجانب الاقتصادي والبيئي، حيث يمكن للمستخدم تقليل فاتورة الكهرباء والمساهمة في استقرار الشبكة أوقات العجز والذروة بل وتحقيق عوائد مالية من خلال بيع فائض الطاقة المنتجة.

يهدف هذا الفصل إلى دراسة الجدوى الاقتصادية لنظام كهروضوئي منزلي في ثلاث ولايات جزائرية، وهي: الجزائر العاصمة، الجلفة، وورقلة. كما يركز على تحليل تأثير عدد الألواح الشمسية (24 و 40 لوح) إضافة إلى دراسة حالتين مختلفتين للتسعير (مدعم و غير مدعم) وذلك بهدف تحديد مدة استرجاع رأس المال وتقييم مردودية الاستثمار

3 المعطيات الأساسية للدراسة

تم اعتماد مجموعة من الفرضيات الأساسية لضمان توحيد المقارنة بين الحالات المختلفة، وهي كالتالي:

- الاستهلاك السنوي للطاقة : 19059.95 kWh
- سعر شراء الكهرباء قبل تركيب النظام : نظام الاشر
- سعر بيع الكهرباء للشبكة: 15.94 دج/ك.و.س
- سعر شراء الكهرباء بعد تركيب النظام
- الحالة المدعمة : نظام الاشر
- الحالة غير المدعمة : 16 دج/ك.و.س
- تكلفة الاستثمار
- نظام 24 لوح : 1,300,000 دج
- نظام 40 لوح : 1,900,000 دج

وبالتالي فإن التكلفة السنوية قبل تركيب النظام الكهروضوئي هي : 98479.5924 دج

1.3 الحالة الاولى الاعتماد التام على الشبكة بدون نظام كهرو ضوئي
تمثل هذه الحالة اعتماد نظام الاستهلاك على الشبكة الكهربائية لتغطية جميع احتياجاته

جدول 11.III الحالة الأولى (الحالة المرجعية) :

الولاية	الاستهلاك السنوي <i>kWh</i>	الطاقة المأخوذة من الشبكة <i>kWh</i>	الطاقة المصدرة الى الشبكة <i>kWh</i>	الكلفة المدعمة دج
الجزائر العاصمة	19059.95	19059.95	0	98479.5924
الجلفة	19059.95	19059.95	0	98479.5924
ورقلة	19059.95	19059.95	0	98479.5924

ملاحظة تحليلية

تُظهر هذه الحالة أن الكلفة متساوية في الولايات الثلاث، لأن الحمل المنزلي ثابت ولا يوجد نظام طاقة كهروضوئية

2.3 الحالة الثانية: (نظام 24 لوْحًا)

في هذه الحالة يتم اعتماد نظام كهروضوئي مكوّن من 24 لوْحًا، مع بقاء الشبكة كمصدر تكميلي خلال أوقات العجز، إضافة إلى بيع الفائض من الطاقة إلى الشبكة بالسعر التحفيزي.

جدول 12.III المؤشرات الاقتصادية للنظام 24 لوح

الولاية المؤشر	الجزائر العاصمة	الجلفة	ورقلة
الانتاج السني <i>kwh</i>	18518.0005	20027.827	19904.993
الطاقة المصدرة للشبكة <i>kwh</i>	8290.392	9685.374	9520.442
الطاقة المستوردة من الشبكة <i>kwh</i>	9573.062	9518.6105	9471.5989
السعر	مدعم	غير مدعم	مدعم
التوفير السنوي دج	185131.2429	77459.4488	207615.2826
<i>NPV</i> (دج)	1923717.27	48812.82	2315234.50
<i>IRR</i> (%)	14	3	16
<i>PI</i>	2.479	1.037	2.7809
<i>ROI</i> (%)	147.97	3.754	178.09
<i>DPP</i> (سنة)	9	24	8

تحليل نتائج الجدول الأول (نظام 24 لوحاً)

من القراءة التحليلية للمؤشرات المالية نلاحظ ما يلي:

تظهر النتائج تبايناً حاداً بين حالي السعر المدعم وغير المدعم لجميع الولايات. في الحالة المدعمة، يحقق النظام جدوى مالية مقبولة جداً؛ حيث تتراوح فترات الاسترداد المخصصة (DPP) بين 8 إلى 9 سنوات، مع تسجيل صافي قيمة حالية (NPV) موجب ومريح يتجاوز 1.9 مليون دينار جزائري في الجزائر العاصمة ويقترب من 2.3 مليون دينار في الجلفة وورقلة.

بالمقابل عند الانتقال إلى حالة السعر الموحد (غير المدعم)، تنهار المؤشرات الاقتصادية بشكل حاد حيث تفتقر فترة الاسترداد إلى 17 سنة في الجلفة وورقلة وتصل إلى 24 سنة في الجزائر العاصمة، وهو رقم يقترب من نهاية العمر الافتراضي للألواح (25 سنة).

استنتاج:

نظام 24 لوحاً يعتمد اعتماداً كلياً على السياسة الجمركية الحالية لشركة الكهرباء. هو مشروع مجدٍ واقتصادي للمواطن في ظل النظام المدعم الحالي، لكن يصبح غير مجدي استثمارياً وعالي المخاطر إذا رُفِع الدعم واعتمد السعر الموحد.

الحالة الثالثة: 40 لوح

في هذه الحالة يتم اعتماد نظام كهرو ضوئي مكوّن من 40 لوحاً، مع بقاء الشبكة كمصدر تكميلي خلال أوقات العجز، إضافة إلى بيع الفائض من الطاقة إلى الشبكة بالسعر التحفيزي.

جدول 13.III المؤشرات الاقتصادية للنظام 40 لوح

الولاية		الجزائر العاصمة		الجلفة		ورقلة	
المؤشر							
الانتاج السنوي <i>kwh</i>		30763.17		33379.71		33174.99	
الطاقة المصدرة للشبكة <i>kwh</i>		19391.9		21853.6		21682.5	
الطاقة المستوردة من الشبكة <i>kwh</i>		8919.254		8869.042		8894.465	
السعر		مدعم		غير مدعم		مدعم	
التوفير السنوي دج		365067.3765		264878.4144		401692.4544	
<i>NPV</i> (دج)		4456972.144		2712366.95		5094730.035	
<i>IRR</i> (%)		19		13		21	
<i>PI</i>		4.4284		3.0864		4.9190	
<i>ROI</i> (%)		342.844		208.643		391.9023	
<i>DPP</i> (سنة)		6		9		8	

تحليل نتائج الجدول الثاني (نظام 40 لوحاً)

من القراءة التحليلية للمؤشرات المالية نلاحظ ما يلي:

تقارب فترات الاسترداد بين الحالة المدعومة وغير المدعومة. في ولاية الجلفة مثلاً، يسترد المشروع رأس ماله في 6 سنوات (في المدعم) ويرتفع إلى 8 سنوات فقط (في غير المدعم) وفي ورقلة يستغرق 7 سنوات (في المدعم) ويرتفع إلى 8 سنوات (في غير المدعم).

هذا الانحراف الطفيف جداً يثبت أن الأنظمة الكبيرة تمتلك "حصانة ذاتية" ضد تغييرات السياسة الجمركية لرفع الدعم.

استنتاج

نظام 40 لوحاً هو الخيار الاستثماري الأمثل والأكثر استدامة. حجم الطاقة الضخمة المصدرة للشبكة بسعر البيع الثابت يمنح المشروع جدوى اقتصادية فائقة وسريعة الاسترداد، ويجعله خياراً آمناً ومربحاً للمستثمر بغض النظر عن تغيير سياسات الدعم الحكومي.

عند وضع نتائج النظامين (24 ضد 40 لوحاً) في المقارنة لولايات الدراسة (الجزائر، الجلفة، ورقلة)

الحجم يحدد طبيعة الأرباح: الأنظمة الصغيرة (24 لوحاً) تعمل بآلية "الدفاع" أي حماية المستهلك من فواتير الأضرار العليا لشركة الكهرباء، بينما الأنظمة الكبيرة (40 لوحاً) تعمل بآلية "الهجوم الاستثماري"؛ حيث يصبح بيع الفائض الضخم هو المحرك الأساسي للأرباح الصافية التراكمية، مما يرفع العائد على الاستثمار (ROI) ليتجاوز حاجز الـ 170% على مدار 25 سنة.

4 خاتمة

من خلال هذه الدراسة الاقتصادية للنظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة، تبين أن الأداء الطاقوي والاقتصادي للنظام يتأثر بشكل مباشر بكل من الحرارة والإشعاع الشمسي والقدرة المركبة للألواح الشمسية. وقد أظهرت النتائج أن ولاية جلفة حققت أفضل مردود طاقوي واقتصادي مقارنة بكل من الجزائر العاصمة و ورقلة، نتيجة ارتفاع الإشعاع الشمسي طوال السنة وحرارتها المعتدلة خاصة في فصل الصيف.

كما بينت الدراسة أن زيادة عدد الألواح من 24 إلى 40 لوحاً ساهمت في رفع كمية الطاقة المنتجة وتقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية، إضافة إلى تحقيق فائض طاقوي يمكن ضخه نحو الشبكة، مما انعكس إيجابياً على المردودية الاقتصادية للنظام. كذلك أظهر الدعم الحكومي دوراً مهماً في تخفيض التكلفة الابتدائية وتقليص فترة استرجاع رأس المال، وهو ما يعزز إمكانية تعميم الأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة في الجزائر.

وعليه، يمكن اعتبار الاستثمار في الطاقة الشمسية حلاً فعالاً لتحقيق الاستقلالية الطاقوية وتقليل استهلاك الطاقة التقليدية كما تساهم في استقرار الشبكة وتلبية عجزها في أوقات الذروة خاصة في المناطق الجنوبية ذات الإمكانيات الشمسية المرتفعة.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة:

انطلقت هذه الدراسة من تساؤل جوهري يرتبط بواقع الجزائر الطاقوي: هل تستطيع الأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة أن تشكل استثماراً مجدياً تقنياً واقتصادياً للمستهلك المنزلي، في ظل تباين الإشعاع الشمسي بين المناطق وتفاوت القدرة المركبة؟ وقد جاءت الإجابة من خلال محاكاة سنوية دقيقة ببرنامج "ترانسيس" لثلاث ولايات تمثل بيئات مناخية متباينة —الجزائر العاصمة، الجلفة، وورقلة —مع سيناريوهين للقدرة المركبة 24لوحاً و 40لوحاً ومنظومة تقييم اقتصادي مبنية على خمسة مؤشرات مالية معيارية وفق آلية تسعير نظام الأشرطة.

على الصعيد التقني، أثبتت المحاكاة أن الإمكانيات الشمسية تتفاوت تفاوتاً جوهرياً بين الولايات: سجلت ورقلة أعلى إجمالي إشعاع سنوي بـ $8,847,438 \text{ kJ/m}^2$ وكثافة إشعاعية بلغت $1,012.64 \text{ kJ/h.m}^2$ ، تليها الجلفة بـ $8,080,810 \text{ kJ/m}^2$ و 924.90 kJ/h.m^2 ، فيما سجلت الجزائر العاصمة القيم الأدنى بـ $7,764,384 \text{ kJ/m}^2$ و 888.68 kJ/h.m^2 وبالنظر إلى الإنتاج الكهربائي، حقق نظام 40لوحاً في الجلفة أعلى إنتاج سنوي إجمالي بـ $33,380 \text{ kW}$ ، في المقابل كشف تحليل الخسائر أن الإجهاد الحراري الصيفي في ورقلة يُخفف نسبياً من كفاءة الألواح مقارنة بالجلفة، مما يفسر تقدّم الجلفة في المؤشرات الاقتصادية و الإنتاج الخام للطاقة.

تكشف هذه الدراسة عن حقيقة تقنية بالغة الأهمية لم تحظَ بما تستحقه من الاهتمام الاعلامي أن الأنظمة الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة تؤدي دوراً أكبر من مجرد توفير الكهرباء لصاحبها. فهي تبلغ ذروة إنتاجها بين الساعة 12:00 و 16:00، وهو نفس التوقيت الذي تبلغ فيه الشبكة الوطنية ذروة أحمالها صيفاً بسبب الاعتماد المكثف على المكيفات. هذا التوافق الزمني يجعل كل منزل مزود بألواح شمسية عنصر دعم طبيعياً للشبكة في لحظة حاجتها الأشد، لا عبئاً إضافياً عليها. ولتقدير الأثر التراكمي إذا رُجبت أنظمة من 40لوحاً في 100منزل بمدينة واحدة، أُضيف إلى الشبكة المحلية ما يزيد على 3.3 GW سنوياً أثناء فترات الذروة، ما يعادل تخفيف حمل محطة توزيع بقدرة 1 إلى 1.6 ميغاواط. وفوق ذلك، فإن الحقن الموزع يرفع الجهد عند نقاط التوزيع المحلية ويُقلص خسائر، بما يحقق استقراراً تشغيلياً حقيقياً لا تعكسه الأرقام الإجمالية وحدها.

وعلى الصعيد الاقتصادي، تتقاطع المؤشرات الخمسة NPV — IRR و PI و ROI — في خلاصة واحدة الاستثمار مجدٍ في الولايات الثلاث وكلا السيناريوهين ضمن منظومة الدعم الحالية. بينما ثمة فارقاً نوعياً جوهرياً بين النظامين 24 لوحاً يعمل بالية الدفاع، إذ يحمي المستهلك من تداعيات الأشرطة العلوية في تعريف الكهرباء ويُقلص الكمية المسحوبة من الشبكة، غير أن جدواه الاقتصادية تبقى رهينة باستمرار الدعم الحكومي؛ فحين يُحتسب بالسعر غير المدعوم 16 دج / kWh ترتفع فترة الاسترداد DPP إلى 24 سنة في الجزائر العاصمة، أي ما يقترب من نهاية العمر الافتراضي للألواح. أما نظام 40لوحاً فيعمل بالية الهجوم الاستثماري؛ إذ يُحوّل الفائض الضخم المصدر للشبكة إلى إيرادات ثابتة يمنح المشروع حصانة ذاتية ضد تغيّر السياسة الجمركية — فالفرق بين الاسترداد DPP المدعوم وغير المدعوم لا يتجاوز 3 سنوات في أسوأ الحالات، وهو ما يجعل هذا السيناريو الخيار الأكثر استقراراً واستدامة على المدى البعيد.

ثمة درسان منهجيان تكشفهما هذه الدراسة بوضوح. الأول أن اعتماد نظام الألواح الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة أعطى صورة اقتصادية جيدة إذ إن المستهلك الذي يستهلك $19,059.95 \text{ kWh}$ سنوياً يدفع فعلاً $98,479.59$ دج في السنة وفق الأشرطة

التصاعدية. وعليه فإن كل كيلوواط ساعة تُنتجها الألواح لا تُوفّر فحسب سعرها في الشطر الأدنى، بل تُنزل المستهلك إلى شطر أقل سعراً في مجمل الفاتورة، مما يُضاعف التوفير الفعلي في الكمية وفي السعر في آن واحد. أما الدرس الثاني فمُنْهَجي بامتياز. إن تثبيت الاستهلاك عند قيمته القصوى 52.21 يوم kWh/ وتعميمها على 365 يوماً دون تمييز فصلي يُشكّل ضماناً للمستثمر بأن الأداء الفعلي لن يكون أسوأ مما كشفتته المحاكاة، مما يعزز مصداقية النتائج المتوصل إليها ويطمئن من يُقدم على هذا الاستثمار. بناءً على ما أسفرت عنه هذه الدراسة، يُوصى بما يلي:

- ◀ تشجيع المواطنين على اعتماد الانظمة الكهروضوئية خاصة نظام 40لوحاً باعتباره الخيار الأكثر أماناً واستدامةً مع سرعة استرداد رأس المال في.
- ◀ منح أولوية تسعيرية تحفيزية أفضل لأصحاب الأنظمة الكبيرة نظراً لدورهم الفعلي في دعم استقرار الشبكة خلال ساعات الذروة الصيفية.
- ◀ إدراج تفصيل الأضرار في الفاتورة الشهرية لسونلغاز، وإطلاق حملة توعوية رقمية تُعرّف المستهلك بكيفية احتساب فاتورته وبالمكسب المزدوج من تركيب الانظمة الكهروضوئية.
- ◀ تبسيط ملف الربط بالشبكة وإنشاء نافذة موحدة لدى شركة الكهرباء لتقريب المواطن منها وتسهيل الاجراءات القانونية.

تنتهي هذه المذكرة بخلاصة واحدة جامعة ان الطاقة الشمسية في الجزائر ليست خياراً مستقبلياً بعيد المنال، بل هي استثمار حاضر ومجدّ اليو. وجدواها تتضاعف متى فهم نظام الأضرار وحُسبت التكاليف الحقيقية. وما يزيد قيمة هذه الجدوى هو أن عوائدها لا تقتصر على المستثمر الفرد، بل تمتد لشهم في تخفيف الضغط على الشبكة الوطنية في ذروتها الصيفية، وترشيد استهلاك الطاقة الأولية، وهو ما يجعل التحوّل الطاقوي المنزلي رهاناً وطنياً بامتياز لا ينقصه سوى الإرادة الاستثمارية والدعم والتحفيز.

قائمة المراجع

قائمة المراجع:

- [1] عبد العزيز شروني، الطاقة الشمسية و تطبيقاتها ، دار الفكر العربي القاهرة 2016
- [2] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (إيرينا). (2022). *توقعات تحولات الطاقة العالمية*. أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة.
- [3] . Fares T, Djeddi A, Nouioua N, editors. Solar energy in Algeria between exploitation policies and export potential. 2019 1st International Conference on Sustainable Renewable Energy Systems and Applications (ICSRESA); 2019: IEEE.
- [4] ديد صفاء —راشدي اميرة - مساهمة لدراسة تأثير تغير المناخ على الطاقة الشمسية و ايجاد الحلول لتخفيف منها في منطقة ورقلة –2021
- [5] برحال (ع) _ ربحي (م) تقييم الفعالية الاقتصادية لمشاريع الطاقة الكهروضوئية في الجزائر ، جامعة ام بواقي _2024 .
- [6] رمضان (ح) _ حوزي (ع) دراسة تحجيم الانظمة الكهروضوئية ، مستودع جامعة قاصدي مرباح (2022) .
- [7] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). (2018). GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: DESIGN AND INSTALLATION GUIDE. IRENA PUBLICATIONS
- [8] Eltawil MA, Zhao Z. Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review. Renewable and sustainable energy reviews. 2010;14(1):112-29
- [9]. understanding solar photovoltaic system performance (2022) U.S. Department of energy .
- [10] Massachusetts Institute of Technology, "Getting Started – TRNSYS," User Manual, Version 18.0, 2017.
- [11] ج.ر.ج.ج، العدد 08، 6 فيفري 2002 — القانون رقم 01-02 المتعلق بالكهرباء وتوزيع الغاز.
- [12] ج.ر.ج.ج، العدد 33، 23 جوان 2013 — المرسوم التنفيذي رقم 13-218.
- [13] ج.ر.ج.ج، العدد 85، 10 نوفمبر 2021 — المرسوم التنفيذي رقم 21-431.
- [14] القانون رقم 22-18 المؤرخ في 24 جويلية 2022 — قانون الاستثمار.

