

The Islamic University-Gaza  
Research and Postgraduate Affairs  
Faculty of Engineering  
Master of Architecture



الجامعة الإسلامية - غزة  
شئون البحث العلمي والدراسات العليا  
كلية الهندسة  
ماجستير هندسة معمارية

الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني وأثرها على التصميم

المعماري للمباني العامة

(مباني المدارس في قطاع غزة كحالة دراسية)

**Building-integrated Photovoltaic and their Impact on  
Public Buildings Envelope Design  
(School Buildings in the Gaza Strip as a Case Study)**

إعداد الباحثة

عبير سليم محمد فليفل

إشراف

الأستاذ الدكتور / عمر سعيد عصفور

قدم هذا البحث استكمالاً لمُتطلبات الحصول على درجة الماجستير  
في الهندسة المعمارية بكلية الهندسة في الجامعة الإسلامية بغزة

ربيع الآخر/1439هـ، ديسمبر/2017م

## إقرار

أنا الموقع أدناه مقدم الرسالة التي تحمل العنوان:

### الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى وأثرها على التصميم المعماري للمباني العامة

(مباني المدارس في قطاع غزة كحالة دراسية)

### Building-integrated Photovoltaic and their Impact on Public Buildings Envelope Design

(School Buildings in the Gaza Strip as a Case Study)

أقر بأن ما اشتملت عليه هذه الرسالة إنما هو نتاج جهدي الخاص، باستثناء ما تمت الإشارة إليه حيثما ورد، وأن هذه الرسالة ككل أو أي جزء منها لم يقدم من قبل الآخرين لنيل درجة أو لقب علمي أو بحثي لدى أي مؤسسة تعليمية أو بحثية أخرى. وأن حقوق النشر محفوظة للجامعة الإسلامية غزة - فلسطين

### Declaration

I hereby certify that this submission is the result of my own work, except where otherwise acknowledged, and that this thesis (or any part of it) has not been submitted for a higher degree or quantification to any other university or institution. All copyrights are reserved to Islamic University – Gaza strip Palestine

Student's name:	عبير سليم محمد فليفل	اسم الطالب:
Signature:	عبير سليم محمد فليفل	التوقيع:
Date:	2018/01/10	التاريخ:



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جامعة الإسلامية بغزة  
The Islamic University of Gaza

هاتف داخلي 1150

عمادة البحث العلمي والدراسات العليا

الرقم: ج س غ /35/

Date: 2017/12/27 التاريخ:

## نتيجة الحكم على أطروحة ماجستير

بناءً على عمادة البحث العلمي والدراسات العليا بالجامعة الإسلامية بغزة على تشكيل لجنة الحكم على أطروحة الباحثة/ عبير سليم محمد فليفل لنيل درجة الماجستير في كلية الهندسة

قسم الهندسة المعمارية و موضوعها:

**الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني وأثرها على التصميم العماري للمباني العامة - مباني المدارس في قطاع غزة كحالة دراسية**

**Building-integrated Photovoltaics and their Impact on Public Buildings Envelope Design (School Buildings in the Gaza Strip as a Case Study)**

وبعد المناقشة التي تمت اليوم السبت 09 ربيع الثاني 1439هـ، الموافق 30/12/2017م الساعة العاشرة صباحاً، اجتمعت لجنة الحكم على الأطروحة والمكونة من:

- أ.د. عمر سعيد عصافور مشرفاً و رئيساً  
أ.د. محمد علي الكحلوت مناقشاً داخلياً  
د. حسام الدين محمد داود مناقشاً خارجياً

وبعد المداولة أوصت اللجنة بمنح الباحثة درجة الماجستير في كلية الهندسة / قسم الهندسة المعمارية.

واللجنة إذ تمنحها هذه الدرجة فإنها توصي بها بتقوى الله ولزوم طاعته وأن تسخر علمها في خدمة دينها ووطنهما.

والله ولـي التوفيق،

عميد البحث العلمي والدراسات العليا

أ.د. مازن اسماعيل هنية



## الملخص

أدى التطور التكنولوجي إلى زيادة الوسائل التعليمية المعتمدة على الكهرباء وقطاع غزة بالتحديد يعاني من مشكلة النقص في التيار الكهربائي اللازم لمدارسه حيث تتأثر العملية التعليمية سلباً نتيجة لذلك، لذا فإن استخدام الخلايا الكهروضوئية في هذه المباني يمكن أن يعيد إليها الحيوية والنشاط نظراً لما سيوفره من الطاقة الكهربائية الازمة لتشغيل مراقبها، كما أنه ينسجم مع التوجهات الدولية الخاصة باستخدام مصادر الطاقة المتعددة في المبني بأنواعها المختلفة لخلق مبنياً خضراء مستدامة، وبذلك تتمثل المشكلة البحثية في البحث عن السبل التي من شأنها أن تزيد من كفاءة المبني العامة خاصة المدارس في استغلال الطاقة الشمسية عن طريق استخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني.

لذا تهدف هذه الدراسة إلى الوصول إلى حلول تصميمية يتم من خلالها دمج الخلايا الكهروضوئية مع غلاف المبني العامة لتوليد الكهرباء واستخدامها في تشغيل المبني المدرسي في قطاع غزة من خلال اتباع المنهج الوصفي التحليلي ولتحقيق ذلك سيتم دراسة الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني، والاحتياجات التصميمية والتخطيطية الخاصة بمباني المدارس المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة، ودراسة واقع الطاقة وأثرها على تشغيل مبني المدارس في قطاع غزة، والتطرق لحالات دراسية عالمية مشابهة للخلايا المتكاملة مع المبني ومن ثم اقتراح عدة حلول تصميمية لكيفية تكامل الخلايا الكهروضوئية مع تصميم المدارس، واستخدام النماذج المحاسبة لتقدير عدد من بدائل تصميمية من خلال دراسة الإشعاع الشمسي الساقط على عناصر غلاف المبني وفق المعطيات المناخية الخاصة بمدينة فلسطينية مشابهة لمناخ قطاع غزة (يافا)، مع مراعاة أشكال وتوجيهات مختلفة للمبني المدرسي. وقد توصلت الدراسة إلى الدور الفعال للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع عناصر المبني المدرسي وتفاصيله المعمارية من واجهات، وكاسرات، وتغطيات أسقف في توفير الطاقة الكهربائية الازمة لتشغيل المبني المدرسي مع تحقيق تناغم وتناسق مع التشكيل المعماري للمبني، وتوصي الدراسة بضرورة تبني الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع المبني خاصية المدارس، والمبني العامة القائمة والجديدة للوصول إلى مبانٍ خضراء مستدامة ذات تشكيل معماري متميز.

## **Abstract**

The technological development has led to the increase of educational means that depends on electricity supply. In the Gaza Strip, there is currently an ongoing electricity supply shortage which negatively affects the operation of schools. Thus, the use of PV cells in these buildings is expected to overcome this problem and enhance the educational process. Furthermore, it is consistent with the international trends related to the use of renewable energy sources in buildings of different types in order to create green sustainable buildings, thus the research problem investigates the ways to increase the efficiency of public buildings, especially schools to increase the efficiency of public buildings in using solar energy by using Building-Integrated photovoltaic .

The study aims to reach design solutions through which photovoltaic are integrated with the envelope of public buildings to generate electricity and use it in the operation of the school building in the Gaza Strip by following the descriptive analytical approach. In this context, the study reviewed the technical aspects of these systems and their planning and design needs in school buildings related to energy. The study also highlighted the reality of energy sector in Gaza and its impact on the operation of school buildings. The study then proposed several design solutions to integrate photovoltaic cells with the design of schools, and used the computerized modeling to examine them. This has been done through studying the incident solar radiation on different elements of the building envelope according to the climatic data of a similar Palestinian city to Gaza (Jaffa). This has been done taking into account different forms and orientations of the school building,. The study concluded that there is an effective role of PV cells integrated with the school building elements including facades, shading devices, and sheds in providing the electrical energy necessary to operate the examined school buildings, BIPV systems in this regard provide the required power in a way that improves the architectural form. The study recommends the need to adopt BIPV systems in existing and new school buildings, in addition to other types of public buildings to promote the concepts of sustainable and green buildings with a distinctive architectural form.

## الإهادء

إلى أمي بصمت، لأن صمت الكلمات أبلغ أمام فيض فضلها

إلى أبي الذي أطعمنا الحنطة واكتوى بنار الحياة وعداباتها

إلى أخي "هيا" ، إلى من أكون معها أنا وبدونها مثل أي شيء

إلى أخواني "محمد وأسامه وحسين" ، الشموع التي تثير لي الطريق دوما

إلى عمتى العزيزة "عايدة"

إلى أصدقائي ورفقاء دربي

إلى كل من وقف على ناصية حلمه، وقاتل

لهم جمِيعاً أهدي هذا الجهد المتواضع سائلة الله العلي القدير أن ينفعنا به ويمدنا

بتوفيقه

## شكر وتقدير

أشكر الله تعالى على فضله حيث أتاح لي إنجاز هذا العمل بفضله، فله الحمد أولاً وأخراً.

ثمأشكر أولئك الأخيار الذين مدوا لي يد المساعدة خلال هذه الفترة، وفي مقدمتهم أستاذي المشرف على الرسالة الأستاذ الدكتور/عمر سعيد عصفور الذي لم يدخل جهداً في مساعدتي، ومتابعته المستمرة، وعلى ما منحني إياه من علم غزير وإرشاد متواصل، حتى خرجت هذه الرسالة بصورتها الحالية.

كما أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى أساتذتي أعضاء لجنة المناقشة الدكتور/محمد الكحلوت والدكتور/حسام الدين داود لفضلهما بمناقشة هذه الرسالة، وتقديم الملاحظات والإثراء لخروج في أبهى صورة.

وأتقدم بالشكر إلى من قدموا لي المساعدات والتسهيلات والمعلومات، وأخص بالذكر موظفي وزارة التربية والتعليم.

كما لا يفوتي أن أشكر كل من ساندني ودعمني على الاستمرار في رسالتي، وإنها بحثي.

**فأهلاً بهم مني كل الشكر والتقدير**

## فهرس المحتويات

أ.....	ملخص الرسالة باللغة العربية.....
ب.....	Abstract
ت.....	الإهداء .....
ث.....	شكر وتقدير.....
ج.....	فهرس المحتويات.....
د.....	فهرس الجداول.....
ر.....	فهرس الأشكال.....
ص.....	قائمة الاختصارات.....
1.....	<b>الفصل الأول: الإطار العام للدراسة .....</b>
2.....	1.1 المقدمة.....
3.....	2.1 المشكلة البحثية.....
4.....	3.1 أهمية الدراسة.....
5.....	4.1 أهداف الدراسة.....
6.....	5.1 مصادر الدراسة.....
6.....	6.1 حدود الدراسة.....
6.....	7.1 منهجية الدراسة.....
8.....	8.1 الدراسات السابقة.....
12.....	9.1 هيكلية الدراسة.....
14.....	<b>الفصل الثاني: الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني .....</b>
15.....	1.2 المقدمة.....
16.....	2.2 الخلايا الكهروضوئية مفهومها ونظمها وأنواعها.....
16.....	1.2.2 مفهوم الخلايا الكهروضوئية.....

2.2.2 نبذة عن تاريخ الخلايا الكهروضوئية .....	16
3.2.2 مكونات نظام الخلايا الكهروضوئية .....	18
4.2.2 أنواع الخلايا الكهروضوئية .....	21
5.2.2 أنواع الأنظمة الكهروضوئية .....	24
<b>3.2 الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني "BIPV"</b>	25
1.3.2 مفهوم الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني.....	25
2.3.2 نبذة عن تاريخ الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني .....	26
3.3.2 مكونات نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني .....	26
4.3.2 مميزات استخدام نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني .....	26
5.3.2 عيوب نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني.....	27
<b>4.2 العوامل المؤثرة على كفاءة نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة في المباني .....</b>	28
5.2 أساليب تكامل الخلايا الكهروضوئية مع المباني .....	31
1.5.2 طرق دمج الخلايا الكهروضوئية في المباني .....	32
2.5.2 أشكال تكامل أنظمة الخلايا الكهروضوئية في المباني .....	32
<b>6.2 الخلاصة ..</b>	43
<b>الفصل الثالث: واقع الطاقة في قطاع غزة وأثرها على أداء المباني المدرسية .....</b>	44
<b>1.3 المقدمة.....</b>	45
<b>2.3 نبذة عن قطاع غزة.....</b>	45
1.2.3 الموقع الجغرافي .....	46
2.2.3 عدد السكان.....	47
<b>3.3 واقع قطاع التعليم في قطاع غزة .....</b>	47
1.3.3 نظرة عامة على المدارس في قطاع غزة إحصائيا .....	48
2.3.3 الأنماط الشكلية السائدة لمباني المدارس الحكومية في قطاع غزة .....	51

<b>4.3 الاحتياجات التخطيطية والتصميمية لمباني المدارس في قطاع غزة المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة .....</b>	57
<b>5.3 واقع الطاقة الكهربائية في قطاع غزة وأثرها على أداء المبني المدرسي .....</b>	60
<b>1.5.3 الطاقة الكهربائية وأرمتها في قطاع غزة .....</b>	61
<b>2.5.3 البدائل المطروحة للتخفيف من أزمة الطاقة الكهربائية في قطاع غزة .....</b>	62
<b>3.5.3 الطاقة الكهربائية وأثرها على العملية التعليمية في مباني المدارس الحكومية في قطاع غزة .....</b>	65
<b>4.5.3 مشاريع توليد الطاقة الكهربائية من الخلايا الكهروضوئية في مباني المدارس الحكومية في قطاع غزة .....</b>	66
<b>5.5.3 الحاجة للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي في قطاع غزة .....</b>	70
<b>6.3 الخلاصة.....</b>	71
<b>الفصل الرابع: حالات دراسية للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي الخضراء</b>	
<b>72.....</b>	
<b>1.4 المقدمة.....</b>	73
<b>2.4 نبذة عن المدارس الخضراء.....</b>	73
<b>1.2.4 مفهوم المدارس الخضراء .....</b>	73
<b>2.2.4 مواصفات المدارس الخضراء.....</b>	75
<b>3.4 حالات دراسية لاستخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المدارس الخضراء .....</b>	77
<b>1.3.4 مدرسة "أنيمو ليدرشب" الثانوية" Ánimo Leadership High School" .....</b>	78
<b>2.3.4 مدرسة "ويستبوروغ" الابتدائية "Westborough Primary School" .....</b>	82
<b>3.3.4 حضانة ومدرسة "كاثلين غريم" الابتدائية "The Kathleen Grimm School" .....</b>	86
<b>4.4 الخلاصة.....</b>	92
<b>الفصل الخامس: تقييم أداء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي باستخدام التمثيل المح osp.....</b>	94

5.....	<b>1.5 المقدمة.....</b>
95.....	<b>2.5 التمثيل المح osp ب باستخدام برنامج الإيكو تك "Ecotect" .....</b>
96.....	<b>1.2.5 التمثيل المح osp .....</b>
96.....	<b>2.2.5 برنامج الإيكو تك "Ecotect" .....</b>
97.....	<b>3.2.5 التحليل الشبكي "Analysis Grid" .....</b>
101.....	<b>3.5 التحليل الكمي لبدائل تصميمية مختلفة للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي.....</b>
102.....	<b>1.3.5 تحديد المتغيرات المستقلة والتابعة للدراسة .....</b>
103.....	<b>2.3.5 حساب أحمال الكهرباء لنموذج مدرسة ذات فترة دوام واحدة .....</b>
104.....	<b>3.3.5 عملية النمذجة باستخدام البرنامج.....</b>
115.....	<b>4.5 تقييم أداء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي للحالات الأربع لكل نموذج .....</b>
125.....	<b>5.5 الجدوى الاقتصادية لاستخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي .....</b>
126.....	<b>6.5 الخلاصة.....</b>
128.....	<b>الفصل السادس: النتائج والتوصيات.....</b>
129.....	<b>1.6 المقدمة.....</b>
129.....	<b>2.6 النتائج.....</b>
132.....	<b>3.6 التوصيات .....</b>
136.....	<b>المصادر والمراجع .....</b>

## فهرس الجداول

جدول (3.1): أعداد المدارس والأبنية حسب الجهة المشرفة .....	48
جدول (3.2): فترات الدوام المختلفة للمدارس حسب الجهة المشرفة .....	50
جدول (3.3): أعداد الطلبة والعاملين والشعب وحجم المدرسة والكثافة الصفية حسب الجهة المشرفة .....	51
جدول (3.4): اجمالي استهلاك الكهرباء في مبني قطاع غزة حسب وظيفتها .....	64
جدول (3.5): مشروع تزويد 14 مدرسة حكومية بالخلايا الكهروضوئية في قطاع غزة ....	68
جدول (5.1): الأحمال الكهربائية المتوقعة للمدرسة خلال يوم واحد خلال فصلي الصيف والشتاء .....	104
جدول (5.2): الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في المدرسة على شكل L بتوجيهات مختلفة خلال فصلي الصيف والشتاء .....	116
جدول (5.3): الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في المدرسة على شكل H بتوجيهات مختلفة خلال فصلي الصيف والشتاء .....	118
جدول (5.4): مجموع الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية من كل نموذج مدرسة خلال فصلي الصيف والشتاء .....	120
جدول (5.5): الطاقة الكهربائية الناتجة من مدرسة L من الوحدات المركبة على السقف والوحدات المدمجة مع غلاف المبني خلال فصلي الصيف والشتاء .....	123
جدول (5.6): الطاقة الكهربائية الناتجة من مدرسة H من الوحدات المركبة على السقف والوحدات المدمجة مع غلاف المبني خلال فصلي الصيف والشتاء .....	123
جدول (5.7): الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات المدمجة مع الكاسرات الرأسية ..	125
جدول (5.8): تكلفة انشاء نظام كهروضوئي متكمال مع المبني لتغطية 19.4 كيلوواط..	126

## فهرس الأشكال

شكل (1.1): المراحل الثلاث لمنهجية الدراسة .....	7
شكل (1.2): الفصول الستة في الدراسة .....	13
شكل (2.1): كيفية انتاج الخلايا الكهروضوئية للتيار الكهربائي.....	18
شكل (2.2): مكونات اللوح الكهروضوئي.....	19
شكل (2.3): مكونات النظام الكهروضوئي .....	21
شكل (2.4): أشكال بعض الخلايا الكهروضوئية.....	23
شكل (2.5): واجهات من خلايا كهروضوئية شفافة وملونة .....	24
شكل (2.6): أثر النهوية على فعالية نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبنى وكفاءتها .....	30
شكل (2.7): أثر تعرض الخلايا الكهروضوئية للظلال على كفاءة عملها .....	31
شكل (2.8): الأشكال المختلفة لتكامل أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسقف .....	36
شكل (2.9): الأشكال المختلفة لتكامل أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الواجهات .....	39
شكل (2.10): تأثير درجة شفافية الوحدات الكهروضوئية على كفاءة عملها .....	40
شكل (2.11): استخدام الزجاج الكهروضوئي بدلاً من الزجاج العادي للفتحات في مبني الموسيقى في استراليا .....	40
شكل (2.12): استخدام الوحدات الكهروضوئية ككسرات شمس كما في مركز شايدجر في السويد .....	41
شكل (2.13): استخدام الوحدات الكهروضوئية كمظلات للتراسات والبلكونات .....	42
شكل (2.14): استخدام الوحدات الكهروضوئية في درابزين التراسات والبلكونات .....	42
شكل (3.1): خريطة فلسطين توضح الموقع الجغرافي لقطاع غزة وأهم مدنه ومعابرها .....	46
شكل (3.2): توزيع المدارس الحكومية في قطاع غزة .....	49
شكل (3.3): مدرسة حكومية على شكل حرف L .....	53

شكل (3.4): مدرسة حكومية على شكل حرف U.....	54
شكل (3.5): بعض النماذج للمدارس الحكومية الحديثة التي تم تصميمها وتنفيذها من عام 2013-2017 بالتعاون مع البنك الألماني للتنمية .....	56
شكل (3.6): المصادر المتاحة حالياً للكهرباء في قطاع غزة.....	62
شكل (3.7): نماذج لبعض الوحدات الكهروضوئية المركبة على أسقف المباني في قطاع غزة	65
شكل (3.8): أول مشروع لتركيب خلايا كهروضوئية على أسطح مدرسة حسن الآغا لتوليد الكهرباء لكافة مراافق المدرسة .....	67
شكل (3.9): أحد مشاريع الإغاثة الإسلامية، مدرسة سعاد الصباح التي إنشاؤها عام 2017 وتم تزويدها بوحدات كهروضوئية على سطحها.....	69
شكل (4.1): المساقط الأفقية للمدرسة موضحاً توجيهها وعناصرها .....	79
شكل (4.2): كتل المبني المدرسي واحتضانها للفناء الداخلي .....	80
شكل (4.3): تكامل التصميم الفعال والسلبي في مبني المدرسة .....	80
شكل (4.4): تكامل الخلايا الكهروضوئية مع الواجهة الجنوبية للمدرسة .....	81
شكل (4.5): الموقع العام للمدرسة وتم تحديد الجزء الذي تم تجديده .....	84
شكل (4.6): دمج الخلايا الكهروضوئية في مظلات الممر بين الصفوف .....	85
شكل (4.7): الخلايا الكهروضوئية الشبه شفافة توفر الظلل للطلبة للتنقل واللعب في الممرات .....	86
شكل (4.8): الألواح الخرسانية المكونة لحوائط مبني المدرسة .....	87
شكل (4.9): فتحات الأسقف وفتحات النوافذ الكبيرة تسمح بتغلغل ضوء النهار إلى فراغات المدرسة الداخلية .....	88
شكل (4.10): الاعتماد على الآبار الحرارية والوحدات السخان الشمسي للتتدفئة، واستغلال الطاقة الشمسية من خلال الوحدات الكهروضوئية المدمجة مع غلاف المبني .....	89
شكل (4.11): دمج الخلايا الكهروضوئية مع غلاف المبني الخارجي في الواجهة الجنوبية والأسقف وسقف موقف السيارات .....	90

شكل (4.12): كمية الطاقة الناتجة من كل مجموعة من الألواح الكهروضوئية حسب موقعها في غلاف المبني .....	92
شكل (5.1): قائمة Control panels وخيارات Analysis grid الذي على شكل شبكة زرقاء .....	98
شكل (5.2): مجموعة Grid settings والخيارات التي تشملها .....	99
شكل (5.3): مجموعة Date and scale والخيارات التي تشملها .....	99
شكل (5.4): مجموعة Slice position .....	100
شكل (5.5): مجموعة Hidden node لإظهار وإخفاء العقد .....	101
شكل (5.6): مجموعة Calculations لتحديد نوع التحليل المراد اجرائه .....	101
شكل (5.7): صفحة 3D Editor على يسار البرنامج مع شريط أدوات الرسم التابع لها .....	107
شكل (5.8): نموذج مدرسة شكل حرف L على اليمين، وشكل H على اليسار بعد انشائهما على البرنامج بالاستعانة بشريط أدوات 3D Editor .....	107
شكل (5.9): الوحدات الكهروضوئية المركبة والمدمجة مع غلاف المبني على كل واجهة من مدرسة حرف L .....	108
شكل (5.10): الوحدات الكهروضوئية المركبة والمدمجة مع غلاف المبني على كل واجهة من مدرسة حرف H .....	109
شكل (5.11): تحديد وضبط اتجاه الشمال للنموذج المنشأ من خلال صفحة Project .....	110
شكل (5.12): من طرق تحميل ملف المناخ للنموذج المنشأ في بيئة الإيكوكت .....	110
شكل (5.13): ضبط اعدادات قائمة Analysis grid .....	111
شكل (5.14): تناسب حجم شبكة التحليل مع السطح المحدد حسب نوعه من الاستواء والمحورية، الشكل بالأعلى العنصر المحدد مائل المستوى ويستعان ب 3D from fit لتناسب الحجم، أما الشكل السفلي لسطح رأسي فهو ذو محور رأسي ويتناسب الحجم معه من خلال محور XZ .....	112
شكل (5.15): مجموعة خيارات Calculations للوصول للتحليل الصحيح حسب الدراسة .....	113

شكل (5.16): معدل الإشعاع الشمسي خلال ساعات تواجد الشمس خلال أحد أيام الصيف والشتاء ..... 114

شكل (5.17): قيمة الإشعاع الشمسي لسقف الدرج خلال الأول من يوليو تظهر على أسفل يسار الشاشة ..... 115

شكل (5.18): الطاقة الكهربائية الناتجة من البدائل التصميمية المختلفة للخلايا الكهروضوئية المركبة والمدمجة مع مباني المدارس على شكل L و H في فصلي الصيف والشتاء ..... 122

## قائمة الاختصارات

BIPV	Building-integrated photovoltaic (الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة)
CEFPI	Council of Educational Facility Planners International (مجلس مخططى المرافق التعليمية)
KW	Kilowatt (كيلوواط ، وحدة التعبير عن القدرة)
KWH	Kilowatt hour (كيلوواط ساعة، وحدة التعبير عن الطاقة)
KWP	Kilowatt peak (كيلوواط ذروة، وحدة تعبير عن أكبر قدر من الطاقة المنتجة في ظل ظروف مثالية)

## الفصل الأول

### الإطار العام للدراسة

## الفصل الأول

### الإطار العام للدراسة

#### 1.1 المقدمة

أصبح التوجه العالمي يتبني مفهوم المبني الخضراء واستخدام الطاقات المتتجدة بعد كثرة المشكلات التي تعرضت لها البيئة منذ عصر الثورة الصناعية والزيادة المطردة في حجم المشكلات البيئية أهمها الاحتباس الحراري والتلوث والاضطرابات في النظم البيئية. وبما أن قطاع المبني يستهلك أكثر من 40% من إجمالي الطاقة و24% من الانبعاث العالمية من ثاني أكسيد الكربون، فأصبح استخدام الطاقة الشمسية في المبني ذو أهمية حاسمة للتقليل من استهلاك الطاقة المعتمدة على الوقود الأحفوري والحد من آثار الاحتباس الحراري والتكليف البيئية المرتبطة به (Howe, 2010).

وفي هذا الصدد، هناك حاجة ملحة لاكتساب المهندسين المعماريين الكفاءات في هذا المجال للحد من الآثار الشاملة للبيئة المبنية على صحة الإنسان والبيئة الطبيعية وتحقيق توازن بين المحيط الحيوي وساكني المبني، حيث يتم تصميم وتنفيذ هذه المبني ضمن المناخ المحلي التي تقام فيه، ويكون استهلاك الموارد خاصة الطاقة فيها أقل بكثير من مثيلاتها من المبني التقليدية، فهذه المبني تتميز بقدرتها على الحفاظ على الطاقة واستغلال الطاقة الشمسية والاعتماد على التهوية والإنارة الطبيعية في تخفيف استهلاك الطاقة وتقليل التلوث البيئي الناتج عنها وبذلك إمكانية تحقيق عمارة مستدامة متكاملة بيئياً وإنشائياً ووظيفياً باستخدام هذه الطاقات المتتجدة (Pour, 2010).

لقد أدت العوامل البيئية والاقتصادية والسياسية الصعبة في قطاع غزة إلى تنامي الاهتمام بالاستغلال الأمثل للطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء في مختلف المبني بدلاً من الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية التي لا تلبِي احتياجات القطاع بسبب الحصار بأنواعه من قبل الاحتلال الإسرائيلي فكافحة نواحي الحياة أصبحت تعتمد على الطاقة الكهربائية وبشكل كبير من أجل تشغيلها، بما فيها الحياة التعليمية ومن هنا برزت أهمية هذه الطاقة. وأصدرت وزارة الإعلام الفلسطيني في بداية عام 2016 بالتعاون مع شركة توزيع الكهرباء في القطاع أرقام وحقائق عن أزمة الكهرباء في القطاع، فاحتياجه للكهرباء حوالي 450 ميجاواط حتى يعمل مدة 24 ساعة، والمتوفر 186 ميجاواط حيث توفر خطوط الاحتلال الإسرائيلي 120 ميجاواط،

والخطوط المصرية 20 ميغاواط، ومحطة توليد الكهرباء 46 ميغاواط (وزارة الإعلام الفلسطيني، 2016 م).

يعتبر الإشعاع الشمسي من أهم موارد الطاقة التي يمكن استغلالها عن طريق استخدام الخلايا الكهروضوئية وإدماجها مع المبني، وأدى تطور تقنيات هذه الخلايا إلى وجود مرونة في استخداماتها بحيث يمكن تركيبها في المبني القائمة أو خلال عمليات البناء، ويمكن ان ترکب على الأسقف أو ضمن واجهات المبني من نوافذ أو حوائط وحتى مثل مظلات أو ضمن مواد البناء، حيث تتميز بإمكانية استخدام الطاقة الناتجة عنها في الإنارة بمختلف أنواعها، وفي منظومات الاتصالات اللاسلكية، وضخ المياه، وتغذية شبكات الكهرباء (بلجاج، الشامس، ومحمد، 2003) و(Basnet, 2012)، والجدير بالذكر أن مناخ منطقة البحر المتوسط في فصل الصيف خاصة حار وجاف يستقبل إشعاع شمسي يمكن تسخيره لإنتاج الطاقة اللازمة لتشغيل المبني(Salem &Kinab, 2015)، وبما أن قطاع غزة يقع ضمن مناخ البحر الأبيض المتوسط فإمكانية استغلال الإشعاع الشمسي في مبانيها خاصة مباني المدارس تعود بالفائدة.

لذا فإن تصميم أي مبني وتنفيذ ينبعي أن يستمد من معطيات البيئة الطبيعية ويتكمّل معها دون إهدار في مواردها أو إخلال بوظيفة المبني، وأن يحافظ على صحة وسلامة المستخدمين وفي الوقت نفسه يحافظ على استدامة عناصر البيئة المحيطة مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير المناخ المحلي على المبني بشكل ايجابي خاصة من ناحية اختيار مواد البناء وتكسيّة الواجهات وتوجيه الفتحات وفق مصادر الطاقة كالشمس والرياح، حيث إن التكامل الجيد مع البيئة يزيد من مستوى الراحة لشاغريه وعلى وجه الخصوص في مباني المدارس يرفع من مستوى التحصيل العلمي للطالب(Ozmehmet, 2005).

## 2.1 المشكلة البحثية

تكتسب الطاقة الكهربائية دورا هاما في تفاصيل الحياة اليومية واستمرارها وكونها المحرك الرئيسي لكل ما يتفاعل الإنسان معه، ومع أزمة انقطاع التيار الكهربائي والوقود في القطاع طالت هذه الأزمة المسيرة التعليمية وأثرت سلبا على سيرها حيث تعتمد أنشطتها على الكهرباء في ظل التطور التكنولوجي الذي دخل في المناهج التعليمية والتجهيزات الصحفية، وبما أن مباني المدارس تمثل بيئة خصبة لتطبيق مفاهيم البناء الأخضر لما تنس به من بساطة التصميم من ناحية فنية، وللدور التربوي الذي تقوم به، حيث يساهم تطبيق مبادئ العمارة

الخضراء في مباني المدارس في تنمية الوعي لدى الطلبة بأهمية تلك المبادئ، إن المشكلة البحثية تتمثل في البحث في السبل التي من شأنها أن تزيد من كفاءة المباني العامة خاصة المدارس في استغلال الطاقة الشمسية عن طريق استخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى سواء في الأسفف أو الواجهات أو أي عنصر معماري خارجي كالمظلات وبذلك تقديم نموذج لمباني خضراء مستدامة تتحدى الظروف الصعبة التي يمر بها قطاع غزة، ويتفرع من المشكلة البحثية عدد من الأسئلة التي تطرحها الدراسة كما يلي:

- 1- ما هي الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني "BIPV" ومميزاتها وعيوبها؟
- 2- ما هي العوامل التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار خلال مراحل التصميم المعماري لتحقيق أعلى قيمة ممكنة لنظام "BIPV"؟
- 3- كيف يمكن أن تتكامل الخلايا الكهروضوئية مع غلاف المبني "أشكال التكامل"؟
- 4- ما هو واقع قطاع الطاقة في غزة وما أهميته وتأثيره على قطاع التعليم؟
- 5- ما هي المباني المدرسية الخضراء وما هي مواصفاتها؟
- 6- ما هي أفضل التشكيلات المعمارية للمبني لإضافة الخلايا الكهروضوئية على مكونات غلاف المبني العامة خاصة المدارس في قطاع غزة؟

### 3.1 أهمية الدراسة

مع تزايد الاهتمام العالمي بالطاقات المتجدددة عموماً والطاقة الشمسية خصوصاً ومحاولة توفير تقنيات لاستغلال الطاقة الشمسية بقدر مساواً أو مقارب لحجم الطاقة المستهلكة، فقد أصبح من الشائع تحويل المبني من منشآت مستهلكة للطاقة إلى مبانٍ منتجة لها معتمدة في ذلك على الشمس باعتبارها مصدراً متجدداً للطاقة ولاسيما إن كان هناك عوائق سياسية واقتصادية تحد من استخدام طاقات الوقود الأحفوري كما هو في قطاع غزة، ويواجه القطاع من أزمة انقطاع الكهرباء حيث أوضح مطر مدير التربية والتعليم غرب غزة سابقاً أن الانقطاع أثر بشكل كبير على المسيرة التعليمية من حيث إتارة الفصول وتوقف بعض الأنشطة المدرسية المعتمدة على الكهرباء مثل حرص المختبرات العلمية، والحاسوب، وانعكاس ذلك على مستوى التحصيل العلمي للطلبة(وكالة معاً الإخبارية، 2013م)، لذا تأتي هذه الدراسة البحثية لتسلیط الضوء على تطوير مباني خضراء تولد الطاقة اللازمة لتشغيلها بنفسها بواسطة استخدام الخلايا الكهروضوئية كجزء من غلافها وبشكل يثري التصميم المعماري لتلك المدارس، مع إبراز حقيقة الآثار الإيجابية من الناحية البيئية والاقتصادية التي يمكن تحقيقها من ذلك بما يحقق على

المدى البعيد بيئة عمرانية مستدامة وصديقة للبيئة، وهذا قد يساعد الجهات المعنية وأصحاب القرار على اتخاذ الإجراءات المناسبة لتطوير مبانٍ متكاملة البناء مع الخلايا الكهروضوئية ما قد يساعد على حل المشكلة الحالية والمستقبلية، ويساهم في بناء الوعي المجتمعي بأهمية تطبيق مبادئ العمارة الخضراء في المبني.

#### 4.1 أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي من الدراسة هو الوصول إلى حلول تصميمية يتم من خلالها دمج الخلايا الكهروضوئية مع غلاف المبني العامّة خاصة المدارس لتوليد الكهرباء واستخدامها في تشغيل المبني، وذلك بالاستفادة من أهم المعطيات البيئية وهي الإشعاع الشمسي.

وبشكل تفصيلي تسعى الدراسة لتحقيق الأهداف التالية:

- التعرف على مفهوم الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني "BIPV" وعلى العوامل المؤثرة على كفاءة عملها، والمتطلبات الرئيسية الواجب أخذها بالاعتبار لدى تطبيق هذه التكنولوجيا في مختلف المباني العامة.
- دراسة واقع المدارس الحكومية في قطاع غزة واحتياجاتها للطاقة.
- دراسة تحليلية لعدة حالات دراسية للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسيه
- الوصول إلى بدائل تصميمية مناسبة للتشكيلات المعمارية في مباني المدارس عن طريق تقييم أدائها لاستغلال التكنولوجيا الحديثة (الخلايا الكهروضوئية) لإدماج البعد البيئي في القرارات التصميمية لمعطيات شاملة لمرحلة التصميم والتنفيذ، وتشغيلها بأساليب وتقنيات متقدمة بعد تحليلها عن طريق المحاكاة المحوسبة، وتقديم توصيات تصميمية في هذا الصدد
- توفير مرجع بحثي للجهات المعنية في تصميم الأبنية المدرسية الخضراء ضمن أسس ومعايير عالمية في البناء المدرسي الأخضر وتوفير دليل مرجعي سريع للمهندسين المعماريين والإنسائيين حول تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني وخصائصها الرئيسية.

## **5.1 مصادر الدراسة**

سيتم الاعتماد على عدد من المراجع العربية والأجنبية، بالإضافة إلى المراجع الإلكترونية، بشكل عام تشمل مصادر المعلومات ما يلي:

- المصادر الثانوية: وتشمل تلك البيانات والمعلومات الواردة في الكتب، والمراجع، والدراسات، والأبحاث والرسائل الجامعية والتقارير الرسمية وشبه الرسمية والمواقع الإلكترونية المعتمدة حول الموضوع.
- المصادر الأولية: وتشمل المعلومات والبيانات والنتائج التي سيتم جمعها وإعدادها من خلال المسح الميداني والمشاهدات ونتائج المحاكاة المحوسبة للمبني المتكاملة مع الخلايا الكهروضوئية كجزء من غلافها. وكذلك استطلاعات الآراء من خلال المقابلات الشخصية مع ذوي الاختصاص من صناع القرار والعاملين في مجال تركيب الخلايا الكهروضوئية في المؤسسات بقطاع غزة.

## **6.1 حدود الدراسة**

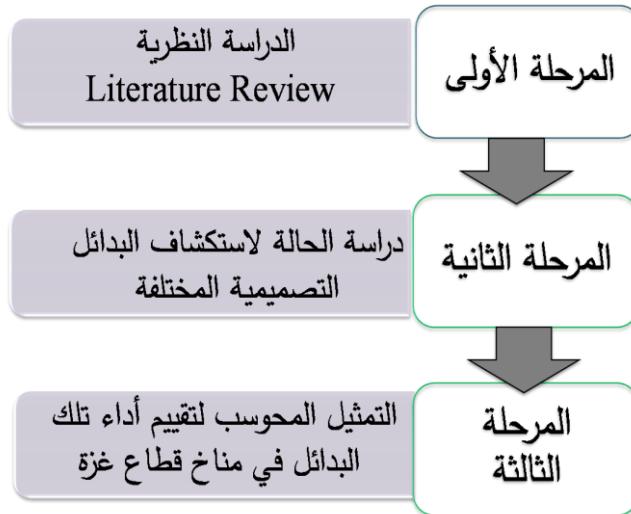
-الحدود المكانية: مباني المدارس في قطاع غزة.

-الحدود الزمنية: المعلومات ذات العلاقة منذ عام 1994 وحتى عام 2017 تاريخ إعداد الدراسة.

## **7.1 منهجية الدراسة**

البحث من حيث طبيعته هو بحث تطبيقي يهدف إلى التوصل لحل المشكلة القائمة التي تتعلق بنقص التيار الكهربائي عن طريق دمج الخلايا الكهروضوئية مع غلاف المبني لتحقيق منفعة بيئية وجمالية.

ستعتمد الدراسة بشكل أساسي على المنهج الوصفي التحليلي من خلال دراسة مشكلة نقص الطاقة في غزة، ومن ثم استخدام المبني كجزء من الحل، وذلك بدراسة الحلول التصميمية الممكنة لاستخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني في مباني المدارس، وسيتم في هذا السياق تقييم تلك الحلول باستخدام التحليل الكمي المحوسب، ومن ثم دراسة النتائج وتحليلها ومقارنة البديل المختلفة، يوضح الشكل التالي (1.1) المراحل المختلفة لمنهجية الدراسة.



شكل (1.1): المراحل الثلاث لمنهجية الدراسة

### المرحلة الأولى: الدراسة النظرية

سيتم التعرض إلى المفاهيم والأسس والنماذج لما يتعلق بموضوع الدراسة (الخلايا الكهروضوئية، ونظام BIPV، والمدارس الخضراء).

### المرحلة الثانية: دراسة الحال

تشمل توفير قاعدة بيانات لنظام BIPV ودراسة وصفية للمدارس في قطاع غزة من حيث عدد الطلبة والغرف الصافية والتطور التصميمي من حيث الأنماط والتصميم المعماري، بالإضافة إلى المعايير التخطيطية والتصميمية المعتمدة في وزارة التربية والتعليم، والتطرق إلى واقع الطاقة في المدارس وأثرها على العملية التعليمية، وأخيراً التطرق لدراسة عدد من الحالات العالمية لمدارس خضراء وتطبيق نظام BIPV .

### المرحلة الثالثة: التحليل الكمي المقارن (التمثيل المح ospب (Simulation

يشمل التحليل الكمي لعدد من البدائل التصميمية لمبني مدرسي باستخدام التمثيل المح ospب كأداة بحثية ومعرفة أفضل البدائل وتأثيرها على المبني والبيئة المستخدم من خلال برنامج المحاكاة (Ecotect) بعد مقارنتها. ووضع بعض المقترنات لبعض الأسس والمعايير التصميمية الممكن تطبيقها للوصول لأعلى كفاءة من استغلال الطاقة الشمسية بواسطة الخلايا الكهروضوئية.

## **8.1 الدراسات السابقة**

تعتبر الدراسات السابقة أساساً ينبغي توافرها ليكون بمثابة نقطة البداية لأي دراسة سواء كانت نظرية أو تطبيقية وقد تمت الاستفادة من الدراسات والأبحاث المتعلقة بموضوع الدراسة ومن أهمها:

### **1.8.1 دراسة بعنوان: "أثر استخدام تقنية المنظومات الشمسية كمواد إنتهاء خارجية في الناتج المعماري" (الجادري، وسليم، 2010م):**

يهدف البحث إلى توفير معرفة شاملة حول طبيعة المعالجات التي من الممكن أن يتبعها المصمم عند توظيف المنظومات الشمسية كمواد إنتهاء خارجية في قشرة المبني، والتعرف على أساليب التكامل المعماري مع المنظومات الشمسية، وكيفية الاستفادة منها في تعزيز القبول الشكلي للنتاج المعماري النهائي، وذلك بفرض: أن المنظومات الشمسية تحمل إمكانات تؤهلها من ان يكون لها تأثير في هيئة المبني عند توظيفها كمواد إنتهاء خارجية، وبهذا اتجه البحث إلى المنهج التحليلي في دراسة المكونات الأساسية للمنظومات الشمسية وأساليب تكاملها مع الناتج المعماري باعتبارها وحدات إنتهاء خارجية، بالإضافة إلى دراسة موقع تركيبها في الشكل المعماري ومستوياتها الشكلية للتكامل. تم التوصل إلى ضرورة إجراء الموازنة بين الجانب الشكلي للمبني وتوفير الطاقة المنتجة من المنظومات، علاوة على ضرورة تحقيق التوافق الإيجابي لأنظمة الذاتية والفعالة في تصميم المبني، وأن أماكن توقيع المنظومات الشمسية على المبني يمكن أن تكون السطح الأفقي، السطح المائل، الواجهات العمودية، الواجهات المائلة، التفاصيل المعمارية، وأن استخدام تقنية الألواح الشمسية كمواد إنتهاء خارجية في الناتج المعماري يقلص في كمية المواد المستخدمة في المشروع.

يمكن الاستفادة من هذه الدراسة إلى تطوير الإطار النظري حول الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني وأشكال تكاملها مع أجزاء غلاف المبني المختلفة.

### **2.8.1 دراسة بعنوان: "تكاملية عمل المبني كمنظومة موظفة للتكنولوجيا المتقدمة في مواجهة الظروف المناخية الخارجية" (كمونة، ورفو، 2011م):**

الهدف من الدراسة توضيح أهمية وكيفية تفاعل المبني مع بيئته المحيطة لتحقيق أعلى درجات الراحة للبيئة الداخلية وبأعلى أدائية ممكنة وبأقل تكلفة، وإلى إيجاد أبنية تتمتع بالقابلية والكفاءة على مواجهة الظروف المناخية مستفيدة من التقدم التكنولوجي المعاصر.

وعرضت الدراسة عدة تجارب عربية وعالمية لتكاملية المبني مع المنظومات التكنولوجية للوصول إلى أفكار وتوظيفها في المباني العراقية بما ينسجم مع مناخها وذلك لمواكبة التطور التكنولوجي العالمي وإيجاد مباني كفؤة طاقويا تسهم في الحفاظ على الموارد في العراق، وأوصت الدراسة إلى التأكيد على تحقيق الأسلوب الاستراتيجي في الأبنية العاصرة الذي يولد فيه النظام البنائي طاقته الخاصة به عن طريق الطاقة الشمسية واستخدام طاقة الرياح وبذلك يتمكن كل مبني من سد حاجاته وتحقيق مبدأ الاكتفاء الذاتي من استهلاك الطاقة الكهربائية.

وجاءت هذه الدراسة للتأكيد على ما تطرقت إليه دراسة كمونة ورفو على أهمية استغلال الطاقة الشمسية وأهمية تكاملية البيئة المناخية مع تكنولوجيا الخلايا الكهروضوئية وبما ينسجم مع المناخي المحلي بغية استخلاص بعض الأفكار لتطبيقها في المباني المدرسية لإيجاد مبني ذات كفاءة استغلال طاقوية عالية.

### **3.8.1 دراسة بعنوان: "حو تشكيل معماري مستدام باستخدام الخلايا الكهروضوئية" (عبد الهادي، 2012)**

تهدف الدراسة إلى دراسة تعزيز دور استخدامات الطاقة الشمسية في قطاع المباني عن طريق إدخال استخدام التقنيات المتقدمة من أهمها الخلايا الكهروضوئية للوصول إلى تشكيل معماري مستدام للمباني وتشكيل جمالي، بالإضافة إلى دورها الأساسي في إنتاج الطاقة الكهربائية النظيفة، مستفيضاً في ذلك من الطفرة الهائلة للثورة المعلوماتية في هذا المجال، وبذلك تحقيق مباني مستدامة توفر الراحة لسكاكينها.

وأتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، حيث عنيت الدراسة النظرية بالتعرف على استخدامات الطاقة المتقدمة لتحقيق التنمية المستدامة في المباني، ثم استدامة التشكيل المعماري من خلال استخدام الطاقة الشمسية، أما الدراسة التحليلية اهتمت بدور الخلايا الكهروضوئية في دعم استراتيجية التنمية المستدامة ودمجها في تشكيل معماري مستدام له أسس تشكيلية وليس مجرد إضافة تقنية لإنتاج الطاقة، وبالنهاية دراسة موقع مصر بالنسبة لدول الحزام الشمسي، والسياسات العامة والتوجيهات لتشجيع التنمية المستدامة باستخدام الطاقة الشمسية في مصر.

وخلصت الدراسة إلى الدور الهام الذي تلعبه الخلايا الكهروضوئية في التشكيل المعماري المستدام تحقيقاً لتنمية مستدامة وانسجاماً مع التشكيل المعماري عند إضافتها للمباني، وبذلك ملأتها كعنصر تشكيلي مستدام عالمياً ومحلياً، وإمكانية استخدامها في مصر في المباني القائمة والجديدة، وأوصت الدراسة بعدة توصيات أهمها تفعيل استخدام الخلايا الكهروضوئية في

التشكيل المعماري المستدام، واتخاذ القرارات الدولية الحاسمة في نشر ثقافة الاستدامة وتقنيات الطاقة المتتجدة باستخدام الخلايا الكهروضوئية، وأخيراً زيادة الوعي لدى المعماريين بالنظم الحديثة وخاصة الخلايا الكهروضوئية وكيفية تطبيقها لخدمة العمارة.

تم الاستفادة من هذه الدراسة بالتأكيد على امكانية تكامل الخلايا الكهروضوئية بجميع عناصر غلاف المبني من واجهات أو أسقف وحتى تفاصيل معمارية بشكل يزيد من وظيفة وجمال المبني ويعزى السبب لتطور قطاع الخلايا الكهروضوئية التي تأتي بأشكال وأحجام وألوان متعددة ذات كفاءة عالية، دراسة عبد الهادي ساعدت في تطبيق نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني من واجهات وأسقف وتفاصيل معمارية على البدائل التصميمية التي تمت دراستها في الفصل الخامس لنماذج عدة لمبني مدرسي.

#### **4.8.1 دراسة بعنوان: "دراسة تقييمية للمدارس الحكومية الخضراء في الضفة الغربية" (سعادة، 2014)**

تهدف الدراسة بشكل أساسى إلى تقييم المباني المدرسية الحكومية المنفذة وقيد الإنشاء من حيث استدامتها وتطبيقها للمعايير التصميمية للأبنية المدرسية الخضراء، وبذلك تطوير واقع التعليم في فلسطين. ولتحقيق ذلك اتبع الباحث المنهج الوصفي التحليلي من حيث دراسة مواصفات المدارس الخضراء، ومن ثم تحليل ودراسة عينة من الأبنية المدرسية في الضفة الغربية استناداً إلى تلك المواصفات مستعيناً ببرنامج ECOTECT، وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها أن وزارة التربية والتعليم تعمل جاهدة من أجل تحسين مستوى المباني المدرسية لتكون صديقة للبيئة ومحققة للشروط الصحية والبيئية، ولكن هذه التحسينات تتطلب مزيداً من التعاون مع الجهات المختصة بالمباني الخضراء كالمجلس الأعلى للبناء الأخضر في فلسطين ومع ذوي الاختصاص في الجامعات الفلسطينية ونقابة المهندسين الفلسطينيين، وأن كفاءة استخدام الطاقة فالمباني المدرسية لا تحقق القيم المطلوبة بحسب الدليل الإرشادي للمباني الخضراء في فلسطين، وأوصت الدراسة إلى استغلال أسطح المدارس الغير مستغلة وظيفياً ذات مساحات كبيرة لوضع خلايا شمسية لتوليد الكهرباء واستخدامها في التدفئة والتبريد والإنارة وغيرها، وأوصت كذلك إلى تطبيق التقنيات الحديثة من أجل تحقيق أفضل تصميم وتنفيذ لا يتعارض مع النواحي البيئية ويضمن تقليل استهلاك الموارد.

من خلال دراسة سعادة، تم التوصل إلى الحاجة الماسة لاعتماد مبادئ المدارس الخضراء في مدارس فلسطين، وتم الاستفادة من هذه الدراسة من خلال تطبيق المنهج الوصفي لدراسة مفاهيم المدارس الخضراء وأهميتها في فلسطين وواقع قطاع التعليم فيها وأهم الاحتياجات التخطيطية

والتصميمية اللازمة لمبانيها للوصول إلى تصور واضح حول أهمية تبني مفهوم المدارس الخضراء ومواصفاتها في فلسطين.

### 5.8.1 دراسة بعنوان: "دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة والتشكيل المعماري للمباني السكنية في قطاع غزة" (الخطيب، 2015م):

تهدف الدراسة إلى التعرف على أساليب التكامل المعماري مع الخلايا الشمسية، وكيفية الاستفادة منها في تعزيز الجمال في الشكل المعماري النهائي، والتعرض إلى دراسة أماكن وضع الخلايا الشمسية حسب نوعها وعمل موازنة بين تحقيق الجانب الشكلي الجمالي للمباني مع توفير الطاقة اللازمة من الخلايا، وأخيراً دراسة مدى تقبل الناس لفكرة الخلايا الشمسية واستخدامها كحل مساعد لمشكلة الطاقة في قطاع غزة.

ولتحقيق هذه الأهداف اتبع الباحث المنهج الوصفي التحليلي، وتوصل الباحث إلى عدة نتائج منها أن نظام الطاقة الشمسية يعد من أفضل الأساليب والحلول لحل مشكلة الكهرباء في قطاع غزة لما يتميز به في نواحي عدة من الناحية الوظيفية والناحية الاقتصادية وأخيراً الجمالية، حيث تعد الخلايا الشمسية من أحد الأساليب الجديدة في التشكيل المعماري حيث تؤثر على الشكل العام للمبني والفضاء الخارجي والداخلي وتعبر عن الحداثة والرقي. وأوصت الدراسة إلى أهمية دعم الحكومة من حيث نشر ثقافة الطاقة البديلة ودعم وتفعيل الجمعيات لمساعدة المواطنين على استخدام الخلايا الشمسية، والعمل على الاستفادة من الخلايا الشمسية من ناحية الطاقة ومن ناحية أنها كمواد إنتهاء بديلة عن المواد التقليدية وتوظيفها وظائف أخرى مثل العزل الحراري.

تأتي هذه الدراسة استكمالاً وتأكيداً على أهمية تبني نظام الخلايا الكهروضوئية في قطاع غزة بشكل أخص حل لمشكلة الانقطاع المتواصل للتيار الكهربائي، وبذلك فإن نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني ستفتح آفاقاً أوسع لمواطني القطاع لحل أزمة الكهرباء بشكل يتناسب مع التشكيل المعماري للمبني.

## 6.8.1 دراسة بعنوان:

"Analysis of Building-Integrated Photovoltaic Systems: A Case Study of Commercial Buildings under Mediterranean Climate" (Salem & Kinab, 2015)

تبعد أهمية الدراسة من محاولة التغلب على العديد من العوائق الاقتصادية والاجتماعية من خلال دمج الخلايا الكهروضوئية مع غلاف المبنى وأن الخلايا الكهروضوئية مصدر لإنتاج الطاقة وممكن أن تكون كوسائل للتنظيم كاسرات شمس، أو أن تكون كسوة للواجهة كمواد تشطيب أو مادة تسقيف الخ، وبما أن بلدان البحر الأبيض المتوسط في منطقة مشمسة نسبياً تصل كمية الإشعاع الأفقي فيها من 7.5-8 كيلوواط ساعة/متر مربع في الصيف، فيمكن استغلال هذه المناطق للحصول على مستويات عالية من الإشعاعات الشمسية. تم في هذه الدراسة مقارنة سيناريوهات مختلفة لمبني تجارية مستخدمة نظام BIPV في بيروت وروما وبرسلونة والقاهرة وتحليلها وتقييم أداء الطاقة لأنظمة BIPV فيهم من خلال النبذة والمحاكاة بإتباع نهج مبسطة مع مراعاة معايير مختلفة مثل المناخ، زاوية الميل، زاوية السمت، وأنواع مختلفة من الخلايا، وأماكن وقوعها.

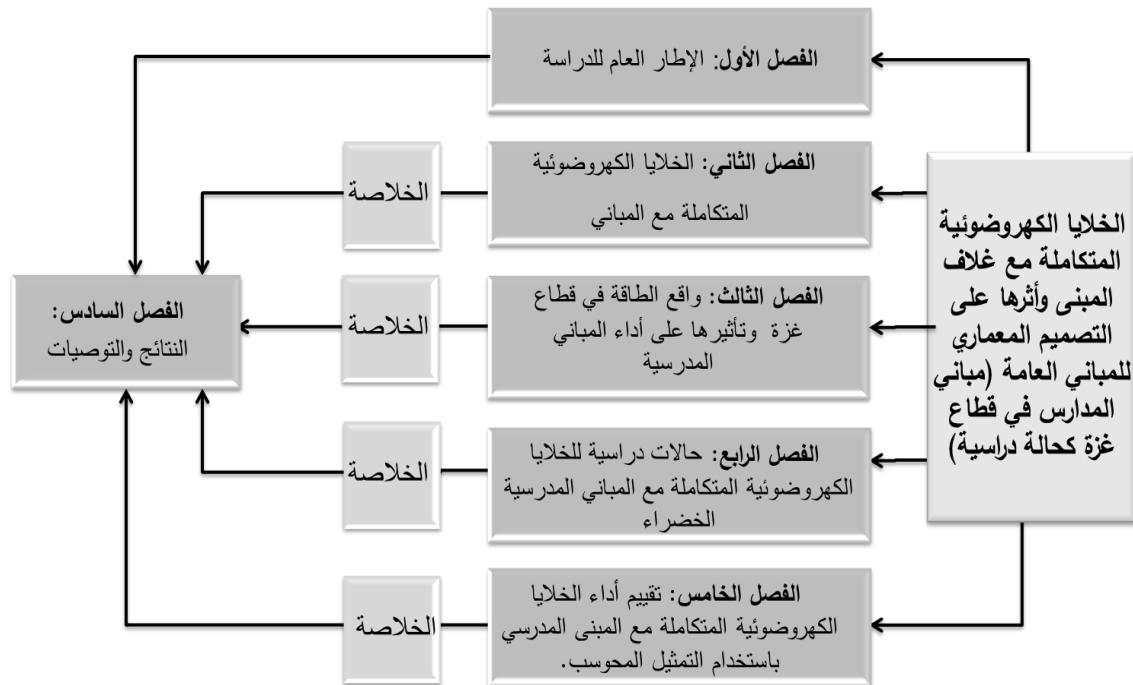
وأظهرت النتائج أن القاهرة أفضل المدن المقارنة إنتاجاً للطاقة بواسطة الخلايا الكهروضوئية على مدار العام، وأن أفضل زاوية ميل للخلايا بين 20-30 درجة لإنتاج طاقة أكثر من 27 ميجاواط في الساعة سنوياً، لذلك تعتبر الأسطح المائلة للخلايا أفضل من الأسطح الرئيسية في اكتساب أكبر قدر من الطاقة حيث يبلغ إنتاج الطاقة من الأسطح الرئيسية 61% مقارنة بالأسطح المائلة بالإضافة إلى ارتفاع تكلفتها. وتحصي الدراسة في النهاية إلى دمج نظم الطاقة الشمسية في التصميم المعماري لخلق مباني ذات كفاءة بيئية وطاقة.

تم الاستفادة من هذه الدراسة أن مناطق الشرق الأوسط لها امكانيات عالية لاستغلال الإشعاع الشمسي من خلال النظام الكهروضوئي لتوليد الكهرباء، فذلك فإن نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبنى سيعود بفائدة كبيرة لو طبق في قطاع غزة نظراً لموقعها الجغرافي الجيد.

## 9.1 هيكلية الدراسة

تنقسم الدراسة إلى ستة فصول تتسلسل كما في الشكل (1.2) وفق التالي:

- الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
- الفصل الثاني: الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني
- الفصل الثالث: واقع الطاقة في قطاع غزة وتأثيرها على أداء المبني المدرسي
- الفصل الرابع: حالات دراسية لخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي
- الفصل الخامس: تقييم أداء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي باستخدام التمثيل المح osp
- الفصل السادس: النتائج والتوصيات.



شكل (1.2): الفصول الستة في الدراسة

## الفصل الثاني

الخلايا الكهروضوئية المتكاملة

مع المباني

## الفصل الثاني

### الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المباني

#### 1.2 المقدمة

يواجه العالم نقصاً في مصادر الطاقة الغير المتتجدة وهناك العديد من الصراعات حول إمدادات النفط والمخاوف بشأن الانبعاثات الغازية المتزايدة المسببة للانحباس الحراري العالمي (Konea and Buk, 2010). وقد أدى نقص الطاقة إلى تقييد التنمية الاقتصادية على مستوى العالم، حيث يعجز أكثر من 1.3 مليار شخص عن الوصول إلى التيار الكهربائي و95% من هؤلاء هم في بلدان أفريقيا وبلدان آسيوية نامية، فكان لابد من التوجه العالمي لاستغلال مصادر الطاقة المتتجدة لتحسين قطاع الطاقة والتركيز على التكنولوجيات المعززة لكتفافتها (Eikeland, 2015). الطاقة المتتجدة بمقدورها إمداد 3078 ضعف من احتياج العالم الحالي ومن أهم مصادر الطاقة المتتجدة هي طاقة الشمس حيث يسمى العصر الحالي بعصر استخدام الطاقة الشمسية (Thomas, Fordham, & Partners, 2001).

بما أن الطاقة الشمسية هي المصدر الأولي حظاً من مصادر الطاقة المتتجدة فقد لاقت اهتماماً متميزاً من قبل المختصين والمسؤولين في الاعتماد عليها كمصدر بديل لمصادر الطاقة التقليدية، باعتبارها رائدة في عدة مجالات مثل التدفئة، والتبريد، وتحلية مياه البحر، وتسخين المياه وضخها، وفي توليد الطاقة الكهربائية عن طريق الخلايا الكهروضوئية والعديد من المجالات (Seai, 2010).

تميزت أنظمة الخلايا الكهروضوئية بتحويلها المباشر للإشعاع الشمسي إلى تيار كهربائي، ولم تعد أنظمة الخلايا الكهروضوئية توضع بشكل عشوائي في واجهات المباني، بل هي الآن جزء لا يتجزأ من مراحل التخطيط والتصميم لمشاريع البناء والتشييد. كان ينظر فيما مضى إلى تركيب الألواح الكهروضوئية على المباني باعتباره كماليات بيئية إضافية وأنها مجرد تكتيك لرفع درجة تقييم المباني الخضراء، ولكن الأمر في الوقت الحاضر لم يعد كذلك. ولقد استطاعت العديد من الشركات المنتجة لألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية في السنوات القليلة الماضية تطوير أنواع وأنظمة الطاقة الكهروضوئية بشكل كبير مما جعل حلول الطاقة الشمسية أكثر جدواً اقتصادياً من الماضي بكثير وأكثر كفاءة وأعلى جودة. لذلك سيعرض هذا الفصل مفهوم

الخلايا الكهروضوئية ونظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني وما هي مزاياها والعوامل المؤثرة على كفاءتها وأشكال تكاملها مع أجزاء غلاف المبني.

## 2.2 الخلايا الكهروضوئية مفهومها ونظمها وأنواعها

### 1.2.2 مفهوم الخلايا الكهروضوئية

هي تقنية لتوليد الطاقة الكهربائية عن طريق تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء مباشرة (Pearce, 2002).

ت تكون الكهروضوئية (photovoltaic) من كلمتين (photo) وهي كلمة من جذور يونانية بمعنى الضوء، و(voltaic) بمعنى الكهرباء، وبذلك تعني الكهروضوئية الكهرباء الناتجة من تعرض الخلايا الكهروضوئية للضوء المباشر فيتولد جهد كهربائي بداخلها يولد تيار كهربائي مستمر يستخدم في العديد من التطبيقات مما يساهم في تقليل استهلاك الوقود الأحفوري وإلى خفض التلوث البيئي. وهي تصنع من أشباه الموصلات المتراسدة فوق بعضها كل منها يستطيع امتصاص طيف معين من الضوء الساقط عليها تشمل السيليكون أحادي البلورة، السيليكون متعدد البلورة، السيليكون غير المتبلور، توريد الكادميوم، الانديوم سيليبينيد الغاليوم-كبريتيد<sup>1</sup>، ونظراً للطلب المتزايد على مصادر الطاقة المتجددة فإن تصنيع الخلايا الكهروضوئية قد تطور كثيراً في السنوات الأخيرة (عبد الهادي، 2012).

وتوصف كمية الطاقة المنتجة من الخلايا الكهروضوئية المركبة على المبني بوحدة الكيلوواط.

### 2.2.2 نبذة عن تاريخ الخلايا الكهروضوئية

يعود اكتشاف الخلايا الكهروضوئية إلى القرن قبل الماضي الميلادي عندما قام العالم الفرنسي بكيرل عام 1839 بدراسة تأثير الضوء على بعض المعادن والمحاليل وخصائص التيار الكهربائي الناتج عنها، واكتشف أن الضوء الساقط على قطب كهربائي منغمس في حلول موصل قد ينتج تيار كهربائي. كما أدخل العالمان أدم وسميث مفهوم الناقلة الكهربائية الضوئية لأول مرة عام 1877م وتم تركيب أول خلية شمسية من مادة السيليسيوم من قبل العالم فريتز عام 1883م حيث توقع لها أن تساهم في إنتاج الكهرباء مستقبلاً، من جهة أخرى فقد ساعد تطوير نظريات ميكانيكا الكم على تفسير الكثير من الظواهر الفيزيائية وخاصة المرتبطة بالكهرباء الضوئية في فترة الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الحالي، وذلك عند ما تم تفسير ظاهرة الحساسية الضوئية لمواد مثل السيليكون وأكسيد النحاس وكبريت الرصاص وكبريت

الثاليم، وقد سجل عام 1941م تصنيع أول خلية شمسية سيلكونية بكفاءة لا تتجاوز (1-2%)، ثم لحق ذلك إنجاز مختبرات بل الأمريكية في تصنيع البطاريات الشمسية في منتصف الخمسينيات بكفاءة بلغت (6%) استخدمت آنذاك في التطبيقات الفضائية. كما تم في نفس الفترة تركيب أول خلية كهروضوئية من كبريت الكاديوم وكبريت النحاس أطلق عليها فيما بعد الخلايا الكهروضوئية ذات الأفلام الرقيقة (Tsakalakos, 2010).

بعد تلك الفترة ازداد تسارع بحوث التطوير في العلوم الفيزيائية والهندسة لأنشأه الموصلات وخاصة ما يرتبط بدراسة التبادلات الكهربائية الضوئية مما ساعد على تطور الخلايا الكهروضوئية وتقنياتها باتجاه تحسين كفاءتها وخفض تكلفتها. وقد أدى ذلك إلى ازدياد مستوى إنتاج الخلايا الكهروضوئية بقدرات تتراوح بين الميلي واط إلى الكيلوواط. أما الفترة الهامة للخلايا الكهروضوئية فقد حدثت في عقدي السبعينيات والثمانينيات وخاصة بعد تطور علوم التراكيب المجهرية الدقيقة لأنشأه الموصلات وقد اعتبرت الخلايا الكهروضوئية حينئذ بأنها إحدى الطرق العلمية الطموحة لتوليد الكهرباء في المصادر المتتجددة للطاقة (عبد الهادي، 2012).

نظراً لتزايد الطلب على مصادر الطاقة المتتجددة وتصنيع الخلايا الكهروضوئية فقد تطورت كثيراً في السنوات الأخيرة. الطاقة الكهروضوئية تشهد نمواً سريعاً من قاعدة صغيرة إلى قدرة عالمية تعادل 67400 ميجاواط في نهاية عام 2011، وهو ما يمثل 0.5% من الطلب المتزايد على الكهرباء في جميع أنحاء العالم، والطاقة الناتجة عن قدرة الخلايا الكهروضوئية للتشغيل في العالم تعادل 80 مليار كيلو واط من الكهرباء، وهذا يكفي لتغطية إمدادات الطاقة السنوية لأكثر من 20 مليون منزل في العالم.

قدرة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في العالم تعادل 7.6 غيغاواط في عام 2007، 16 غيغاواط في عام 2008، 23 غيغاواط في عام 2009، 40 غيغاواط في عام 2010. أكثر من 100 دولة تستخدم الخلايا الكهروضوئية.

الخلايا إما أن تثبت على الأرض أو تتدمج مع غلاف المبنى (الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى). والتوقعات أنه بحلول عام 2030 يمكن توليد ما يقارب 1.8 تريليون واط من الخلايا الكهروضوئية في جميع أنحاء العالم. مع الالتزام الجاد باستخدام مصادر الطاقة المتتجددة بكفاءة سوف يتم إنتاج ما يكفي من الطاقة الشمسية لخمسة وعشرين عاماً مستقبلاً لتلبية احتياجات الكهرباء لحوالي 14% من سكان العالم (Masson, Latour , Rekinger, 2016).

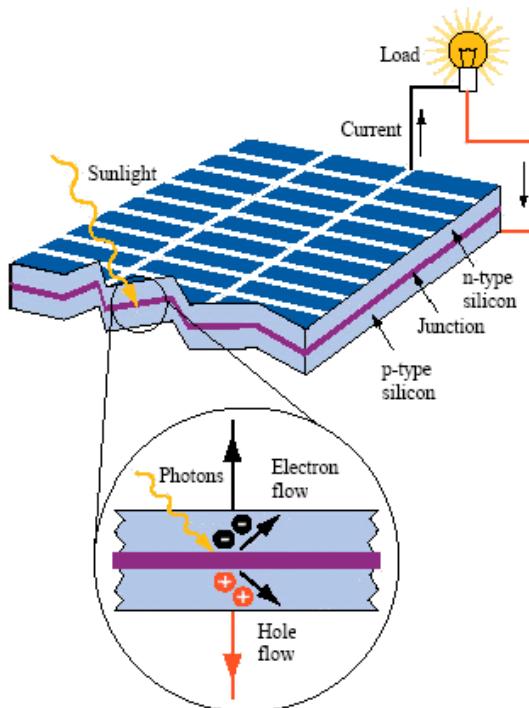
### 3.2.2 مكونات نظام الخلايا الكهروضوئية

عندما يسقط الضوء على الخلية الكهروضوئية يكتسب الإلكترون طاقة زائدة ما يدفع الإلكترون إلى التحرك تاركا فراغا موجبا مما يؤدي إلى الإخلال بالتوازن، يتم توصيل الطبقة العلوية السالبة بالطبقة السفلية الموجبة من الخلية وذلك من خلال دارة كهربائية خارجية تسمح بسريان الألكترونات السالبة باتجاه الطبقة الموجبة كما يوضح الشكل (2.1).

لذلك يتم ربط عدة خلايا مع بعضها البعض وتجمع تحت طبقة عازلة غالبا من الزجاج لتكوين وحدة كهروضوئية والتي تعتبر الجزء الرئيسي في النظام الكهروضوئي.

وفي حالة كان الضوء الساقط على الخلية أكبر فأن الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون تتحول إلى حرارة، إما إذا كانت طاقة الضوء غير كافية فإن الإلكترون لا يتحرر ولا تم توليد كهرباء.

(محيسن، 2006م).



شكل (2.1): كيفية انتاج الخلايا الكهروضوئية لتيار الكهربائي

(المصدر: Basnet, 2012)

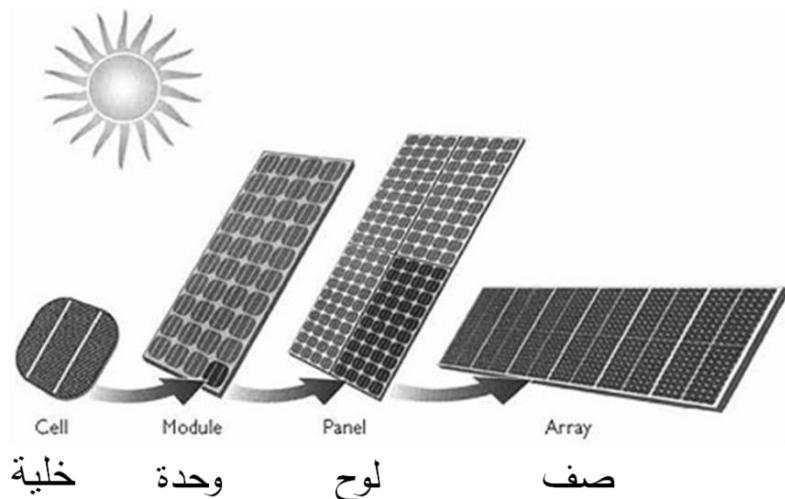
يعتبر السيليكون من أكثر المواد الشبه موصلة المستخدمة في تصنيع هذه الخلايا، ويتوفر السيليكون في الرمال ولا يوجد قيود لاستخدامه أو توفره كمادة خام حيث يمثل السيليكون ثاني أكثر المواد الخام وفرة على سطح الأرض.

يمكن وصف المكونات الأساسية لنظام الخلايا الكهروضوئية بمكونات أساسيات:

## أولاً : الألواح الكهروضوئية Photovalics panels

اللوح الكهروضوئي هو الجزء الظاهر من المنظومة الكهروضوئية، والذي يتم تثبيته على سطح المبنى وهو يقوم بتوليد الطاقة الكهربائية. أهم جزء في نظام الكهروضوئية هي الخلية "Cell" ولكن لا يمكن أن تنتج الطاقة بمفردها ولكن تصنف الخلايا الشمسية مع بعضها البعض في شكل وحدات "Modules" والتي تجمع بدورها في شكل "Arrays" ومجموع المصفوفات تشمل ألواحاً كهروضوئية "Panels" كما يبين الشكل (2.2)، ولضمان توجيه الخلايا بشكل دائم نحو ضوء الشمس طوال فترة النهار فإنها توضع على أجهزة تتبع (الخياط، 2006م). تكون الخلايا الشمسية إما بأشكال واضحة الحدود ضمن الوحدة الكهروضوئية الواحدة، إذ من الممكن أن تكون بشكل مربع أو مستطيل أو دائري تفصل بينها فوائل بمسافات تختلف حسب تصميم الوحدة الكهروضوئية، أو من الممكن أن يكون مظهرها قطعة واحدة تغطي الوحدة الكهروضوئية بدون فوائل. تختلف أبعاد الخلايا الكهروضوئية وفقاً لنوعها وطريقة صناعتها، وتتراوح أبعاد الخلية الواحدة من 1سم إلى 15سم في الاتجاهين أو تكون بأبعاد 10سم \* 10سم كخلايا قياسية، أقل ما يمكن أن تنتجه الخلية الكهروضوئية من طاقة يتراوح من 1-2 واط بسبب صغر حجم الخلية، ولزيادة الإنتاجية الكلية للطاقة يتم تجميعها في صفائح مغلفة مع بعضها مشكلة وحدة كهروضوئية.

تعتمد كفاءة عمل الخلية على عاملين :الأول هو كفاءة التحويل داخل الخلية والثاني هو قابلية الخلية الشمسية على امتصاص الفوتونات (الجادري، وسليم، 2010م).



شكل (2.2): مكونات اللوح الكهروضوئي

(المصدر: رشدي، 2017م)

## **(B.O.S) "Balance of System"**

يقوم النظام الساند بتوصيل الطاقة من الألواح الكهروضوئية إلى الأحمال من خلال مكوناته كما يتضح في الشكل التالي (2.3)، يتكون من الأجزاء التالية

### **1- الشاحن**

هو جهاز يقوم بتحويل الطاقة من الألواح الكهروضوئية إلى البطارية، يقيس نسبة الطاقة في البطارية، حيث يقوم بإيقاف عملية الشحن عندما تمتلئ البطاريات بالطاقة.

### **2- خازن الطاقة**

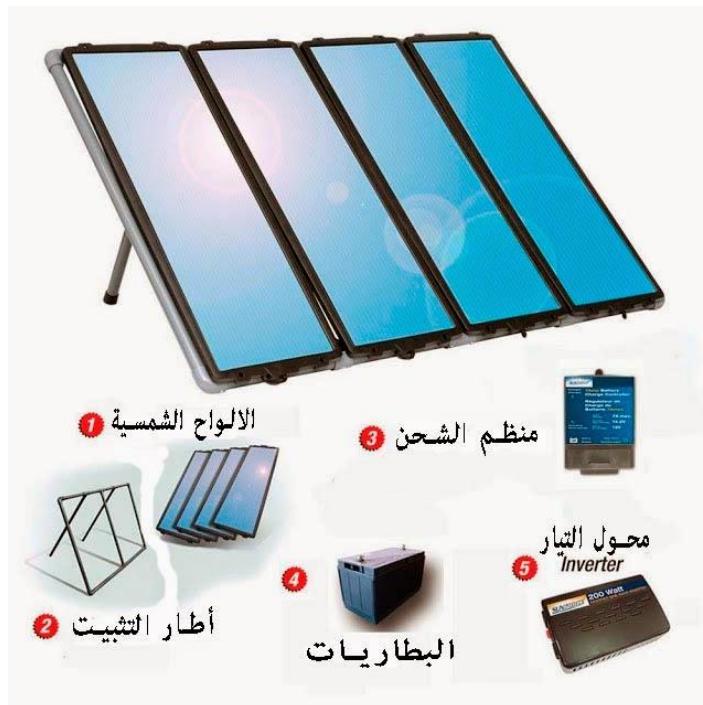
عادة في النظم المتصلة بالشبكة الوطنية (Grid Connected) لا يعتمد المبني كلياً على المنظومات الكهروضوئية بل يأخذ حاجته من الشبكة الرئيسية، وفي بعض الحالات تعطي المنظومات طاقتها الفائضة للشبكة الرئيسية، لذلك ليس من الضروري إن يتم تركيب البطاريات لهذا النوع. في حالة استخدام البطاريات سيتم استخدامها لتخزين الطاقة لتوفيرها في الأيام التي تكون فيها نسبة الإشعاع قليلة، حيث تقوم البطاريات بخزن الطاقة المتولدة من الألواح الكهروضوئية خلال الفترة المشمسة من اليوم، ونقوم بعد ذلك بتوصيلها إلى الأحمال الكهربائية. يتوقف شحن البطاريات من الوحدات الكهروضوئية أثناء الفترة الليلية ويضعف في حالة غياب الشمس خلال النهار.

### **3- المحول الكهربائي**

ويعرف بمنظم القدرة وظيفته تغيير مواصفات الطاقة الناتجة من المنظومة الكهروضوئية بحيث تكيف مع مواصفات الطاقة التي تحتاجها الأحمال حيث يقوم بتحويل القدرة من المنظومة الكهروضوئية أو البطارية إلى الأحمال. إن المحول الكهربائي هو المتحكم بتشغيل المنظومة الكهروضوئية، فعند شروع الشمس يقوم بربط الألواح إلى باقي أجزاء المنظومة وعند غروبها يقوم بفصلها عن باقي الأجزاء.

### **4- الهيكل الساند للمصفوفة الكهروضوئية (إطارات الثبيت)**

يقوم بحمل مجموع الألواح الكهروضوئية في المصفوفة وهو يستخدم لتحديد زاوية ميلان الألواح الكهروضوئية في الصف الكهروضوئي، بعض الهياكل الساندة تكون متحركة وهو ما يعرف بأنظمة التعقب للإشعاع الشمسي Tracking System وهي تتحرك على محور واحد أو اثنين (Prasad & Snow, 2005).



شكل (2.3): مكونات النظام الكهروضوئي

(المصدر: رشدي، 2017م)

#### 4.2.2 أنواع الخلايا الكهروضوئية

تختلف الخلايا الكهروضوئية بعضها عن بعض تبعاً لنوع المادة وكفاءة والشكل واللون وطرق التصنيع والتكنولوجيا المستخدمة فيها ومدى تعقيدها والذي يعتمد على مقدار كفاءتها .  
مدى كفاءة الخلية بقدرها على تحويل ما يسقط من ضوء إلى كهرباء يختلف نتيجة طرق التصنيع والمواصفات الفيزيائية للخلية نفسها و يؤثر كفاءة الخلية في إنتاج الكهرباء بصلة مباشرة على سعر الخلية.

تصنع الخلايا الكهروضوئية عادةً إما من السيليكون البلوري أو من شرائح من سبائك المعادن مثل الزيتني، وتفضل المادة التي يصنع منها الخلايا على أساس كفاءة أداء الخلايا في تحويل أشعة الشمس إلى كهرباء.

##### 1- خلية السيليكون البلوري Crystalline Silicon

توجد ثلاثة أنواع من الخلايا السيليكونية حيث تصنُع هذه الخلايا من إذابة مادة السيليكون الخام والتي تأخذ اللون الرمادي عند درجة حرارة 1400 درجة مئوية ثم توضع في سبائك بشكل اسطواني بقطر 15 سم ثم تقطع بصورة شرائج رقيقة بالنسبة لسيليكون أحادي

البلوري، أو يوضع السيلكون المنصهر داخل قوالب مستطيلة وخلال عملية التبريد يتم التشكيل بأحجام ومقاسات مختلفة، وكذلك التحكم باللون في حالة السليكون متعدد البلورة.

أما في حالة السيلكون الغير متببور فيترسب السيلكون في عملية مستمرة على القاعدة حيث يتم دفعه ثم تغليف الخلية بمادة بوليمر شفاف عازلة مع غطاء زجاجي ثم وضعها داخل الإطار المعدني.

وتتراوح كفاءة خلايا السيلكون ما بين 12-17% وتعتبر هذه التكنولوجيا الأكثر شيوعا في الوقت الحاضر حيث تمثل 90%.

أنواع الخلايا الكهروضوئية السيلكونية المتاحة:

#### - أحادي البلورة Mono crystalline

تأخذ هذه الخلية الشكل المربع أو الدائري وتكون بأبعاد 10-15سم وتتوفر باللون الأسود أو الأزرق وكفاءة توليدتها للكهرباء حوالي 14-18%.

#### - متعدد البلورة Poly crystalline

تأخذ هذه الخلية أشكال مختلفة وجذابة و بأبعاد صغيرة وتنتمي بداخل درجات الألوان وبالغالب تأخذ اللون الأزرق وكفاءة توليدتها للكهرباء حوالي 11-15%

#### - غير متببور Amorphous silicon

تتوفر هذه الخلية بأشكال شفافة بنسبة شفافية حوالي 5-75 % وتتوفر بدرجات اللون الرمادي حسب نسبة الشفافية وكفاءة توليدتها للكهرباء حوالي 4-10% (Masson, 2016).

(Latour , Rekinger , Theologitis , &Papoutsi , 2016

## 2- الشرائح الرقيقة Thin Film

وهي عبارة عن شرائح رقيقة جداً يسمك يتراوح من 1 مايكرومتر إلى 6 مايكرومتر من مواد ضوئية حساسة منخفضة التكلفة وتم صناعة الوحدات بصورة مستمرة بدون وصلات مرئية وكفاءتها تبلغ 10-13% وتنتمي هذه الخلايا بقلة تكلفتها وصغر سمكها ومرونتها مما يسهل عملية تركيبها على مختلف الأسطح ومن الممكن وضعها في المبني التي تقع في الظل حيث تقل كفاءتها قليلاً في الظل، كما أنها لا تتأثر كثيراً بارتفاع درجة الحرارة، كما تتسم بالشفافية والنفاذية وشكلها المتباين وتنتمي بألوانها الداكنة كالأسود والبني الأحمر، الشكل أدناه يوضح شكل (2.4) أشكال بعض الخلايا الكهروضوئية . (عبد الهادي، 2012).



**شكل (2.4):** أشكال بعض الخلايا الكهروضوئية

(المصدر: عبد الهادي، 2012م)

### 3- خلايا النانو Nano Cells

هي خلايا تقنية تتميز بقلة تكلفتها وإمكانية دمجها مع الواجهات الزجاجية بسبب خواصها الشبه شفافة، تم صناعة أول خلية نانو عام 2006، كفاءة توليدتها للطاقة حوالي 30%， يعتبر هذا النوع المستقبل الواعد للخلايا الكهروضوئية (Fantechi, 2011).

### 4- الخلايا الشفافة

وتتم صناعتها عن طريق تسلیط أشعة ليزر على طبقة كهروضوئية رقيقة لإزالة أي مواد انتقائية مما يمكن الخلايا من نقل الضوء لتوليد الكهرباء.

وتتوفر هذه الخلايا على شكل زجاج ملون أيضاً كما بالشكل (2.5) مما يجعلها مثالية لتركيبها في أي مبني، كما أنها تقلل من الحرارة المشعة عند دخولها للخلية، وتحتاج بقلة اكتسابها للحرارة وتقليل الأشعة البنفسجية مما يقلل من اكتساب المبني للحرارة الذي يؤدي إلى تقليل أحمال التكييف وبالتالي تقليل تكاليف الكهرباء (محيسن، 2006م).



شكل (2.5): واجهات من خلايا كهروضوئية شفافة وملونة

(المصدر: Pinterest, 2017)

### 5.2.2 أنواع الأنظمة الكهروضوئية

هناك نوعان من الأنظمة الكهروضوئية (Kaundinya, Balachandra, ) (Ravindranath , 2009)

#### - النوع الأول: النظام المتصل بالشبكة Grid-connected PV power system

يتم توليد الطاقة من الخلايا الكهروضوئية وتكون متصلة بشبكة الكهرباء العامة ويكون من الخلايا الكهروضوئية والمحولات، حيث يتم ربط الشبكة المحلية للخلايا مع الشبكة العامة، حيث عندما يكون فائض من الطاقة المنتجة من الخلايا يتم نقلها أو تغذيتها للشبكة العامة وليس تخزينها في بطاريات تابعة للشبكة المحلية وفي حين كان هناك عجز في انتاج الطاقة يتم استيراد الكهرباء من الشبكة العامة التي تمثل بطارية ضخمة لتخزين.

#### النوع الثاني النظام المنفصل عن الشبكة Stand-alone PV power system

هذا النوع غير متصل بشبكة الكهرباء العامة ويسمى أيضاً ب (Remote area) لاستخدامه في المناطق النائية والبعيدة عن الشبكات العامة مثل (power supply

البيوت الريفية والقوارب والبيوت المتنقلة والأماكن العسكرية البعيدة، يتكون هذا النظام من الخلايا الكهروضوئية والشواحن والبطاريات للتخزين، حيث يتم توليد الطاقة الكهربائية خلال النهار وتخزين الزائد منها في البطاريات لاستخدامها ليلاً ويمكن استخدام النظام بجانب أجهزة أخرى مولدة للكهرباء؛ مثل مولدات дизيل وتوربينات الرياح لتكوين أنظمة مهجنة.

## 3.2 الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى "BIPV"

### 3.2.1 مفهوم الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى

خلايا الطاقة الكهروضوئية المتكاملة المستخدمة في البناء (BIPV) هي عبارة عن مواد كهروضوئية تستخدم لتحل محل مواد البناء التقليدية في بعض أجزاء المبنى الخارجية مثل السقف والمناور والواجهات. فهي تدخل بشكل متزايد في تشييد المبني الجديد بوصفها المصدر الرئيسي أو الإضافي لتوليد الطاقة الكهربائية، وكذلك قد تم تزويد بعض المبني القديمة بنظام .BIPV

من مزايا وحدات الطاقة الكهروضوئية المتكاملة على عكس الأنظمة الغير متكاملة والتي تعتبر الأكثر شيوعاً هو أن التكلفة الأولية يمكن تخفيضها عن طريق تقليل مواد البناء والأيدي العاملة المستخدمة عند بناء جزء من المبني المستخدم فيه وحدات الكهروضوئية المتكاملة بالإضافة إلى ذلك، فإن الوحدات جزءاً لا يتجزأ من التصميم، فتشكل مزيجاً أفضل وأكثر جاذبية من الناحية الجمالية من خيارات أخرى مختلفة للطاقة الشمسية. هذه المزايا تجعل من نظام الوحدات الطاقة الكهروضوئية المتكاملة مع المبني واحدة من أسرع القطاعات نمواً في الصناعة الكهروضوئية. وقد فتح العقد الماضي الباب أمام عدد لا يحصى من ثورات الأبنية التي تستخدم هذه الوحدات وكذلك المنشآت الأخرى. في كل من المشاريع الجديدة وعمليات التجديد، فإن الخلايا الكهروضوئية المتكاملة في المبني تبرهن على أن تكون تكنولوجيا فعالة في الطاقة التي يتم استخدامها في المبني السكنية والتجارية، والصناعية وكذلك هيكل المؤسسات .(Strong, 2016)

### **2.3.2 نبذة عن تاريخ الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني**

ظهرت تطبيقات وحدات الطاقة الكهربائية في مجال البناء في سبعينيات القرن الماضي. إن وحدات الطاقة الكهروضوئية ذات إطار من الألمنيوم تستخدم في المباني التي عادة ما تكون في مناطق نائية ولا تستطيع الوصول إلى شبكة الطاقة الكهربائية. وفي الثمانينيات، بدأت الوحدة الكهروضوئية المضافة إلى أسطح المباني في الظهور. هذه النظم الكهروضوئية عادة ما تكون مثبتة على الشبكة المتصلة بالمبني في المناطق التي توجد فيها محطات طاقة مركبة. في التسعينيات أصبحت منتجات بناء BIPV والمصممة خصيصاً لإدماجها مع غطاء البناء متاحة تجارياً (Eiffert & Thompson, 2000).

### **3.3.2 مكونات نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني (عبد الحافظ، 2006)**

- مكونات نظم الخلايا الكهروضوئية مثل أي مكون نظام كهروضوئي وهي
- الوحدات الكهروضوئية بأي نوع بلورية أو رقيقة أو شفافة أو شبه شفافة أو غير ذلك.
  - نظام تخزين الطاقة
  - معدات تحويل الطاقة (المحول)
  - نظام الدعم أو التعليق المناسب لتنشيط الخلايا مع توصيل الأسلاك وعوازل الأمان

### **4.3.2 مميزات استخدام نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني**

استخدام نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة يؤدي إلى تشييد مباني عصرية جميلة. فمرونة هذه الوحدات من الممكن أن تكون ذخراً لخيال مهندسي المعمار ومن ثم فسوف ينتج عن ذلك مباني أكثر جمالاً وفي الوقت ذاته صديقة للبيئة. إن هذا النظام يساعد على تحسين صورة المبني وكذلك يزيد من قيمته عند إعادة بيعه مرة أخرى.

إن المباني التي تستخدم نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة هي مباني مستدامة وبالتالي هناك عدة مميزات رئيسية تتحققها وهي

- زيادة كفاءة استخدام الطاقة، مما يقلل من كمية الطاقة الرئيسية التي يحتاجها المبني على المدى الطويل.
- واستخدام مواد البناء صديقة للبيئة يمكن إعادة تدويرها، متعددة وغير سامة وبالتالي تقلل من ظاهر الاحتباس الحراري.

- وتنتمي الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني بأن قدرتها على الشفافية يمكن أن تتتنوع حسب الرغبة، بحيث يمكن لهذه الوحدات توفير الظل أو أن تكون شبه شفافة (IEA, 2002).
- الكفاءة في استخدام الطاقة وإنتاج الكهرباء لاستخدامها في أمور التدفئة والتبريد وتشغيل أي أحمال أخرى، مما يوفر المال على المدى الطويل، يمكن استخدامها لإنتاج الحرارة مثل عمل السخانات الشمسية وهذا فعال في البلدان الباردة.
- استخدام المواد التي تكون مجدها اقتصاديا للثبيت والصيانة والاستبدال والإصلاح، على سبيل المثال، يمكن استخدام الحجر المحلي (Local materials) في مبني جعله أرخص ويقضي على حساب نقل الحجارة من أماكن بعيدة.
- وحدات نظام BIPV يمكن دمجها مع غلاف المبني (واجهة ، سقف، كاسرة شمس، مظلة) فتح محل المواد التقليدية في الأبنية الجديدة وخلق أجواء معتدلة داخلها على مدار السنة وبذلك توفير تكلفة شراء مواد البناء التقليدية(Strong, 2016).
- تحميهم ضد تقلبات الطقس، وتتوفر الظل للحماية من أشعة الشمس وكذلك الحماية من الرياح والأمطار. وبسبب كونها مقاومة كهربائية لذا فيمكنها الحماية من البرق.
- لاختلف أنواعها وأشكالها فهناك الخلايا الكهروضوئية الشفافة والشهب الشفافة التي تسمح بمرور ضوء الشمس مما توفر إضاءة طبيعية للفراغ الداخلي والمستخدمين.
- تعمل بمثابة عازل صوتي فتحمي من الضوضاء الخارجية، وعازل حراري خلال طبقة الهواء التي تتخلل هذه الوحدات، وخفض تكاليف أحمال التدفئة والتبريد .
- تصميمها من ما يزيد من عمر المبني ويعن الآثار السلبية التي ينطوي عليها هدم مبني قديم، وإعادة بناء آخر جديد (Strong, 2016).

### **5.3.2 عيوب نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني**

يمكن تلخيص عيوب نظام BIPV في النقاط التالية: (Santhanam, 2015) في النقاط التالية: (LOWDER, 2012)

- التكلفة الأولية هي العيب الرئيسي من تركيب نظام الطاقة الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني بشكل عام مقارنة مع الخلايا الكهروضوئية التقليدية بسبب ارتفاع تكلفة تصميمها وتصنيعها وموادها.
- ارتفاع تكلفة العمالة بسبب تقنيات تركيبها.

- من الصعب إعادة ترميم أو تجديد المنازل والمباني القديمة التي تستخدم نظام BIPV نظرا لأن الوحدات الكهروضوئية تكون جزءا من غلاف المبني.
- إذا تم تركيب الخلايا الكهروضوئية على غلاف المبني بدون مراعاة وجود فراغ للتهوية بين الوحدات وغلاف المبني فسيؤدي إلى زيادة درجة الحرارة التي تسبب انحلال أشباه الموصلات للوحدة مما يقل من كفائتها، أكثر أنواع نظام BIPV يتم استخدام الشرائح الرقيقة بسبب قلة تأثيرها بالحرارة مقارنة بالسيليكون ولكن كفائتها أقل.
- يتأثر إنتاج الطاقة الشمسية بوجود الغيوم أو التلوث الهواء كما ذكر سابقا بسبب تواجدها على عدة أماكن في المبني وتتأثرها بالبيئة المبنية المحيط والأشجار.
- بشكل عام الخلايا الكهروضوئية تنتج طاقة مستمرة يلزم تحويلها إلى تيار متعدد بواسطة المحولات مما يسبب فقدان الطاقة من 4-12%.

## **4.2 العوامل المؤثرة على كفاءة نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المباني**

كفاءة الخلية الكهروضوئية تتأثر ببعض العوامل الواضحة منها زوايا ميل الخلية بالنسبة للشمس، والاختلافات اليومية والسنوية في الطاقة الشمسية التي تسقط على الخلية. وهناك عوامل أخرى يجب وضعها بعين الاعتبار وهي:

### **1- الموقع العام**

إن الموقع العام تأثير مباشر عند تركيب الخلايا الكهروضوئية في التشكيل المعماري للمبني القائم أو الجديد، حيث تؤثر المبني المحيطة وكمية الضلال الناتجة عنها على أماكن تركيب الخلايا الكهروضوئية في المبني، وكذلك عناصر اللاندسكيب الموجودة من أشجار. مثلاً الواجهة الجنوبية هي أمثل حل لتركيب الخلايا الكهروضوئية إلا أن عناصر اللاندسكيب من أشجار قد تحول دون وصول الأشعة الشمسية. لذلك لابد من دراسة عناصر الموقع العام بالمبني وإمكانية وصول أكبر قدر من الأشعة الشمسية إلى الخلايا الكهروضوئية لإنتاج أكبر قدر من الطاقة.

### **2- أماكن التركيب**

يتم تحديد أماكن تركيب نظام BIPV لتعرض لأشعة الشمس بناءً على الطاقة والاحتياجات المعمارية. أنها ليست سوى موقع مناسبة على المبني الذي يتم تحديده من

التعرض للطاقة الشمسية، والمنطقة المناسبة، وأهداف إنتاج الطاقة، يمثل السطح أكثر مكان من لتركيبها ومن ثم على الواجهات. (عبد الهادي، 2012م).

### 3- زاوية الميل

تعتبر زوايا الميل المثلثى من أهم المحددات التي تؤثر بشكل مباشر على التشكيلات المعمارية، وتختلف زوايا الميل المثلثى حسب الواجهة المختارة وفصول السنة المختلفة، حيث تؤثر زاوية الميل بشكل كبير على كمية الطاقة الشمسية التي تسقط على الخلايا وبالتالي تؤثر على الطاقة المنتجة.

أكبر قدر من الأشعة الشمسية يمكن الوصول إليه عندما تسقط الأشعة بشكل عامودي على الخلايا. وبالنسبة لأفضل أماكن تحقق زوايا الميل المثلثى تكون الواجهة الجنوبية والأسقف حيث تعطي الواجهة الجنوبية أكبر إشعاع في الشتاء عن الصيف مما ينتج طاقة أكبر للتدفئة في الدول الباردة. أما الدول الحارة مثل دول العالم العربي فيكون العكس والاستهلاك الأكبر صيفاً لأحمال التبريد مما يجعل الواجهة الجنوبية مناسبة أيضاً.

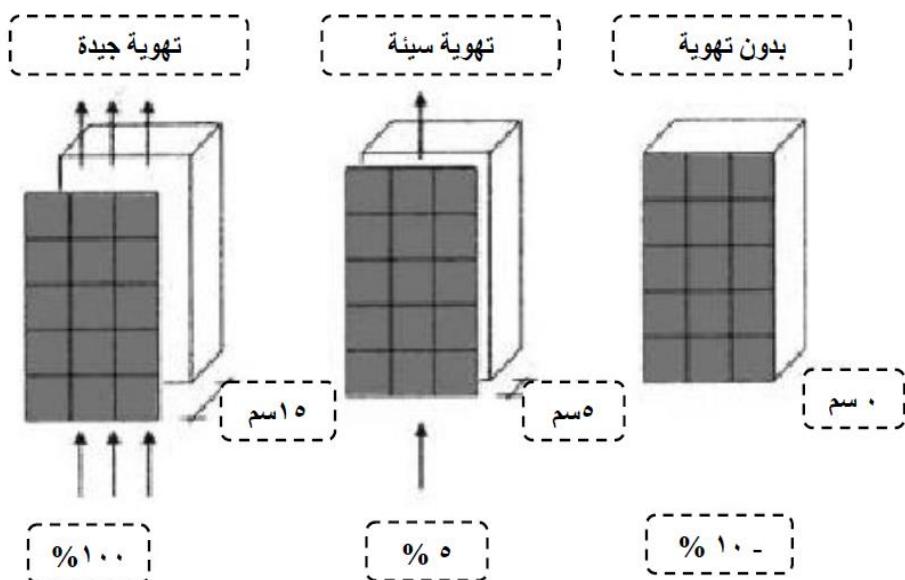
ونظراً لأن موقع الشمس بالنسبة للأرض يتغير على مدار اليوم كما يتغير بالنسبة لخطوط الطول ودوائر العرض، وكذلك مع تغير فصول السنة الأربع، لذلك الوضع الثابت للخلايا لا يمكن أن يجمع دائماً أكبر قدر من الطاقة، ولكن عند تغيير الميل ألياً لمتابعة حركة الشمس مكلفاً لدرجة ما ، لذلك في حالةبقاء الخلايا ثابتة فلابد من زيادة مساحة وحدات الخلايا وهذه الطريقة أنساب بكثير وعند تحديد زوايا الميل فمن الأفضل أن يتم الرجوع إلى دوائر العرض للمنطقة الموجودة بها المبني (عبد الهادي، 2012م).

### 4- الأتربة والغبار:

أثبتت دراسات في سانديبيغو بعام 2007 أن الأتربة والغبار من العوامل تقلل من كفاءة النظام الكهروضوئي بنسبة حوالي 7% إلى 25%， قد تساعد الأمطار و التنظيف المستمر على تقليل تراكم الغبار. يمكن أن تترافق الأتربة والغبار على سطح الوحدة الكهروضوئية وبالتالي الحد من نسبة الأشعة الشمسية الداخلة على النظام. هذان العاملان يرتبطان عادة بالموقع المركب عليهم. ونتيجة لذلك المناطق الصناعية والتجارية والزراعية والحضرية هي أكثر عرضة للتأثير الغبار والأوساخ والتلوّح تشكل نفس المشكلة حيث تقلل من كفاءة النظام وتحد من كمية الطاقة الشمسية الممتصة .(Gregg et.al, 2003)

## 5- تهوية النظام

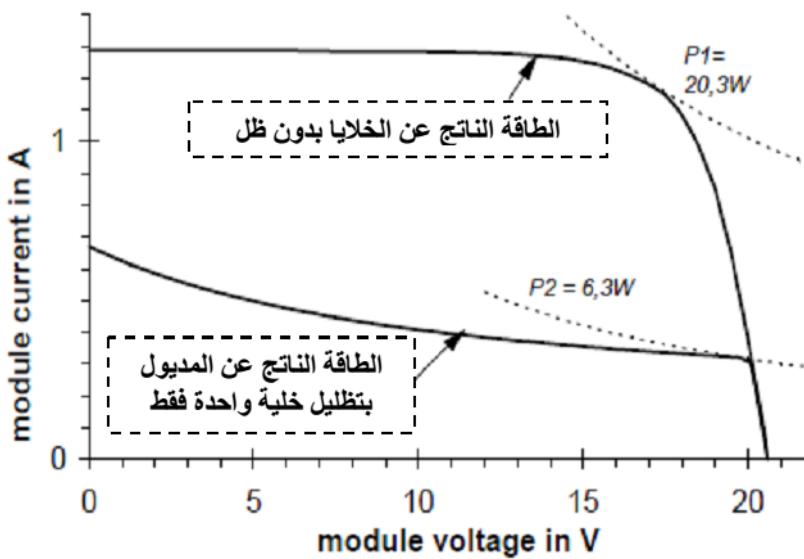
تهوية نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني مهمة في حالة كانت الخلايا مصنعة من السيلكون البلوري، لأن فعالية النظام وكفاءاته تتأثر إن كانت درجة الحرارة مرتفعة وغير مهواة كما يوضح الشكل أدناه (2.6)، أما لو كانت الخلايا الكهروضوئية مصنعة من خلايا غير متبلورة أو خلايا ذات شرائح رقيقة فلا يتتأثر النظام بارتفاع درجة الحرارة وبالتالي لا تتأثر كفاءة توليد الطاقة. ( Xianyou& Xiaodong, 2010 )



شكل (2.6): أثر التهوية على فعالية نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني وكفاءاتها  
(المصدر: عبد الهادي، 2012م)

## 6- الظلل

الظلل لها تأثير كبير على أداء النظام الكهروضوئي، ومشكلة الظلل تتجسد بكثرة في المبني متعددة الطوابق لأنها تقع أساساً في المناطق الحضرية (المناطق المحاطة بالمباني الشاهقة) أو حولها أشجار ترمي ظلها عليها. وأن الخلايا الكهروضوئية هي جزء يكمل النظام بتكرارها فإن تظليل طفيف يمكن أن يسبب مشكلة كبيرة. يوضح المثال التالي كيف أن الظل يؤثر على أداء النظام فمثلاً وحدة كهروضوئية بها 36 خلية تنتج 40 واط ممكن أن تنتج 10 واط إذا ما تعرضت خلية واحدة كاملة للتظليل التام كما يوضح الشكل (2.7) أدناه، ومشكلة الظلل أقل تأثيراً بالنسبة للخلايا ذات الشرائح الرقيقة. (عبد الهادي، 2012م).



شكل (2.7): أثر تعرض الخلايا الكهروضوئية للظل على كفاءة عملها

(المصدر: عبد الهادي، 2012م)

الشركات المصنعة لهذه النظم خففوا من تأثير التظليل بإضافة صمام التفافي bypass diode عبر كل خلية، يساعد الصمام التفافي على منع التيار من الخلية المظللة. ومع ذلك فإنه ليس من العملي وضع صمام التفافي عبر كل خلية لذلك قامت بتزويد كل وحدة كهروضوئية بوحدة أو اثنين من هذا الصمام (Kayal, 2009).

## 5.2 أساليب تكامل الخلايا الكهروضوئية مع المبني

ترتبط الوحدات الكهروضوئية مع المبني إما مع المبني نفسه أو مركبة في مكان قريب على الأرض. ويتم وضعها في المبني إما على السقف أو على الجدران ويمكن أن تكون هذه الوحدات من الخلايا الكهروضوئية مفصولة عن المبني أو مرتبطة مع المبني عن طريق أسلاك لتوفير الطاقة للمبني. تدمج الخلايا الكهروضوئية بشكل متزايد في مختلف أنواع المبني كمصدر رئيسي للكهرباء ويتم دمجها بشكل متكامل في سقف أو جدران المبني. وقد ظهرت دراسة لعام 2011 باستخدام التصوير الحراري أن الألواح الكهروضوئية التي تحتوي على فجوة يمكن من انتقال الهواء خلالها ممكن أن تؤدي إلى تبريد المبني خلال النهار وكذلك الحفاظ على درجات الحرارة في أثناء الليل.

## 1.5.2 طرق دمج الخلايا الكهروضوئية في المبني (Fuentes, 2007)

ويمكن دمج أنظمة الطاقة الكهروضوئية في المبني إما عن طريق التراكب - حيث يركب النظام على غلاف المبني الحالي، أو التكامل - حيث يشكل النظام جزءاً من غلاف المبني.

### أولاً: التراكب "Superimposed"

طريقة مناسبة في حالة المبني القائمة، يتم تركيب الوحدات الكهروضوئية على الهيكل مثل: سقف أو غلاف المبني أو كليهما . ولا يوجد توفير في استخدام مواد البناء في هذه الحالة، لأن المواد الموجودة ستكون أسفل الوحدات ولا يتم استبدالها . ولا يزال بالإمكان مع طريقة التراكب تحقيق التكامل المعماري كما يمكن أن تكون المبني جذابة وهذا ما يسمى بالتكامل المعماري " Architectural Integration ".

### ثانياً: التكامل "Integration Method"

في هذه الطريقة تكون الوحدات الكهروضوئية كعنصر معماري فضلاً عن وسيلة لتوليد الطاقة. وهذه الطريقة مناسبة للمبني الجديدة. حيث يتم استبدال العناصر البناء التقليدية بالوحدات الكهروضوئية. ويمكن تخفيض تكلفة مواد البناء التقليدية التي تحل محلها ك بلاط السقف أو الطوب أو الزجاج. وبذلك يجب أن تتكامل الخلايا مع المبني في المراحل الأولى للتصميم وإضافتها بشكل يحقق الجمال والوظيفة وهذا ما يسمى ببناء متكامل " Building Integration "، هذا النوع من التكامل يفتح الباب واسعاً أمام المعماريين لحرية الإبداع في التشكيل مع المبني.

## 2.5.2 أماكن تكامل أنظمة الخلايا الكهروضوئية في المبني

يمكن دمج الأنظمة الكهروضوئية في جميع مكونات المبني من أسقف وواجهات وحتى التفاصيل المعمارية بطرق عدة مشكلة جزء من غلاف المبني الخارجي لتولد الكهرباء وبنفس الوقت مادة إنتهاء خارجية .

هناك ثلاثة أشكال أساسية لتكامل الخلايا الكهروضوئية في المبني:

- الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع الأسقف.

- الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع الواجهات.

- الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع العناصر المعمارية

## **أولاً: الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع الأسف.**

يمكن دمج نظام الكهروضوئية في الأسف بطرقتين إما أن يكون النظام المتكامل جزءاً من غلاف المبنى الخارجي أو أن يتم تركيب النظام على المواد العازلة في الأسف، الطريقة الأخيرة محببة للمباني القائمة ذات أسطح بمساحات كبيرة. إن استخدام الوحدات الكهروضوئية كغطاء للأسف يقلل من كمية مواد البناء الالزمة، وهو أمر هام جداً لبناء مستدام ويمكن أن يساعد على خفض التكاليف.

تشكل الأسف عامل جذب لمثل هذه الأنظمة لعدة أسباب:

- 1- غالباً ما تكون مناطق معرضة لأشعة الشمس وخالية من التظليل.
- 2- إمكانية الحصول على أداء عالي للنظام بسبب سهولة التحكم بزاوية ميل الأسف لتتناسب موقع الشمس (الأسف مائل).
- 3- سهولة تركيب هذه الأنظمة وبعيدة عن الاعتداء والتخييب لبعدها.
- 4- قد يكون من الأسهل دمج الخلايا الكهروضوئية في الأسف من الحوائط لتحقيق الجمال والوظيفة.
- 5- تركيب النظام على الأسف لا يشكل وزن إضافي على المبنى باعتباره من مكونات السقف. Best Practice Guide, 2010 (محيسن، 2006م)

تكامل أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسف بعدة أشكال كالتالي:

### **أ. أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسف المستوية**

تمتلك الأسف المستوية ميزة استقبال أكبر قدر من أشعة الشمس فإن فعالية النظام من حيث توليد الطاقة تكون عالية مع توجيه الخلايا نحو الاتجاه المناسب للشمس ويتم التحكم في زاوية الميل لتشكيل الوحدات الكهروضوئية مع الأسف المستوية في حالتين

- بدون زاوية ميل فينتج سقف كهروضوئي أفقى، في هذه الحالة الأسف لا تلعب دور ايجابي في تعزيز الشكل الجمالي للمبنى لعدم مرئيتها وأيضاً من ناحية توليد الكهرباء تقل فعاليتها لعدم ميلها.

- بزاوية ميل على شكل مصفوفات متتالية مع مراعاة عدم سقوط الظل على الخلايا (كسرات مائلة). في هذه الحالة خيارات التكامل تكون مناسبة وتعزز التكامل المعماري مع المبنى وتحقق الجمال والوظيفة (عبد الهادي، 2012م).

في كلا الحالتين يجب دراسة اتجاه الرياح وشدة ودراسة الحمل الناتج من هذه الأنظمة ليتوافق مع النظام الإنسائي للأسقف.

وبما أن نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبنى عن طريق وضعها على الأسقف المستوية عادة ما تكون غير ظاهرة في الشكل الخارجي للمبنى ولكن تظهر في الفراغات الداخلية فالاهتمام بالجزء الجمالي بالنسبة للخارج يكون أقل (Basnet, 2012)، يوضح شكل (2.8) أشكال تكامل الخلايا الكهروضوئية مع الأسقف المستوية.

#### **ب. أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسقف المائلة**

تعتبر الأسقف المائلة مكاناً نموذجياً لتركيب الخلايا الكهروضوئية لو كانت الأسقف باتجاه الجنوب أو الجنوب الغربي لكافعاتها بتوليد الكهرباء لعرضها لأشعة الشمس طوال اليوم أكثر من الواجهات الأخرى وهذا يثبت مرونة الوحدات في تكاملها مع غلاف المبنى (2012, Solstice energy)، انظر شكل (2.8).

وتركب الوحدات على الأسقف المائلة بسهولة دون الحاجة إلى استخدام الهياكل المائلة المستخدمة في الأسقف الأفقية، كما أن الأسقف المائلة تسهل عملية تنظيف الوحدات وتمكن تجمع المياه والثلوج عليها ويفضل أن لا يكون هناك مسافات فاصلة بين الوحدات لمنع تجمع الأتربة أو أي معيق يحول دون التعرض لأشعة الشمس (خطيب، 2015م).

الوحدات الكهروضوئية تتكون بطريقتين مع الأسقف المائلة

1- إضافتها كمواد بدل مواد الإناء الخارجية للأسف

2- إضافتها فوق مواد الإناء الخارجية

#### **ج. أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسقف المسننة**

إن الأسقف المسننة تمثل جزءاً هاماً من تصميم السقف فيتم وضع الوحدات بالاتجاه الجنوبي الذي يستقبل أكبر كمية ممكنة من الطاقة الشمسية بينما الأسقف بالاتجاه الشمالي تفتح أو تكون عبارة عن زجاج يسمح بمرور الإضاءة الطبيعية خلال النهار وتحمي من أشعة الشمس المباشرة، وبالتالي تقلل من أحصار (Basnet, 2012)، كما يوضح شكل (2.8).

وتتميز الأسقف المسننة بثلاث أبعاد أساسية لنجاح التكامل الكهروضوئي مع المبني

1- تركيب وتنبيه بسهولة وبأقل التكاليف

2- تعزيز الراحة الداخلية للفراغات من خلال استغلال الفتحات الشمالية لدخول الهواء أو الإضاءة أو الاتصال معاً.

### 3- كفاءة استخدام الطاقة الشمسية (عبد الحافظ، 2012م).

#### د. أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع أسقف القرميد

لزيادة توليد الطاقة الكهربائية تتتوفر خلايا كهروضوئية من وحدات نمطية بأشكال وألوان وتفاصيل جمالية تشبه القرميد بالإضافة إلى الخصائص الإنسانية والحرارية من عدم نفاذيتها للمياه، مما يحدث تجانس بين الحديث المتمثل في الوحدات والقديم المتمثل بالسقف القرميدي التقليدي. تنتشر هذه الأسقف غالباً في المباني القديمة لحفظ على الطابع والتراكم مع مواكبة التطور التقني وتحقيق أهداف التنمية المستدامة (Horizon Renewables, 2010)، انظر شكل (2.8).

#### هـ. أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسقف السماوية

أدى التطور التقني في صناعة الخلايا الكهروضوئية إلى إمكانية استخدامها في تعطية الفراغات المفتوحة للسماء (الأفنية)، مما فتح آفاقاً واسعة لفكر المعماري لكيفية توظيفها بحيث تجمع هذه الأسقف بين ميزة إمكانية إمداد إضاءة طبيعية للداخل وكذلك تعطية الفراغ وتوليدها للطاقة الكهربائية. يتم تثبيت الوحدات بسهولة على دعامات هيكلية. (Masson, Latour, Rekinger , Theologitis , &Papoutsi , 2016).

وستستخدم الوحدات الكهروضوئية الشفافة كمواد تسقيف كعازل للمياه وعازل للحرارة خاصاً في الصيف لتجنب ارتفاع درجة الحرارة المسببة عدم ارتياح حراري وتحول ضوء النهار لكهرباء أيضاً. الخلايا الكهروضوئية تمتلك 70-80% من أشعة الشمس. فالفضاء بين الخلايا ينفل ضوءاً كافياً منتشراً بما فيه الكفاية لتحقيق مستوى إضاءة لطيف في المنطقة من خلال السقف المزدوج المزجج (Basnet, 2012).

#### و. أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسقف المنحنية

مرنة الوحدات الكهروضوئية أمكنها أن تكون ترکب على الأسقف المنحنية والمقوسة بتركيبها بشكل مقوس وهذا يسمح بحرية إضافية في التصميم المتكامل، انظر شكل (2.8) الخلايا الكهروضوئية الرقيقة "Thin film" تعتبر الأنسب في إمكانية استخدامها على الأسطح المنحنية لمرونتها وخفتها وقابليتها للطي وبإمكانها أن تحل محل مواد الإناء الخارجية وتعتبر عازل جيد للماء وتتوفر كوحدات بأبعاد معينة أو لفائف يصل عرضها إلى 1.5 م وبطول 12 م بلون أزرق وهناك أنواع لها ميزة عكس ألوان الطيف بشكل خفيف عند سقوط أشعة الشمس عليها(خطيب، 2015).



أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسقف المائلة لأحد المنازل في بريطانيا



أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسقف المستوية  
بزاوية ميل



أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع أسطح القرميد



أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسطح المنسنة



أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسطح المنحنية لمبنى  
في بريطانيا



أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسطح السماوية  
في مبني في كندا

شكل (2.8): الأشكال المختلفة لتكامل أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الأسطح  
(المصدر: Pinterest, 2017)

## ثانياً: الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع الواجهات.

تتكامل الوحدات الكهروضوئية مع المبني بصورة أكبر من أنواع التكامل الأخرى، وبسبب كبر مساحتها أمكن استغلالها لتوليد الطاقة الكهربائية مع دراسة التوجيه الأنسب لاستقبال أشعة الشمس ودراسة البيئة المحيطة بسبب الظل الناجمة عنها .

تعتبر الواجهات أكثر العناصر المعمارية الخارجية المعروضة لأشعة الشمس كما أنها تميز بمرئيتها (محيسن، 2006م).

زاوية الميل بالنسبة لوحدات الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع واجهات مبني تتراوح بين 75- 105 درجة (عبد الحافظ، 2006م)

بسبب التطور التقني في تصنيع الخلايا الكهروضوئية وتوفيرها بأحجام وتشكيلات وألوان متعددة أمكنها أن تتكامل مع الشكل المعماري للمبني كجزء لا يتجزأ منه وتعزز قيمته الجمالية والبيئة، بالإضافة إلى أنها لا تؤثر على النظام الإنثائي للمبني ، وممكن الاستعاضة عنها بدل مواد الإناء الخارجية بجانب إنتاجها للطاقة ومقاومتها للعوامل الجوية الخارجية، ويمكن أن تكون مفتوحة أو مغلقة كي يسهل التحكم بالهواء الداخلي، وتعتبر سهلة التركيب والتنفيذ وبذلك تعتبر هذه الوحدات المتكاملة مع الواجهات متعددة الوظائف (Wolter, 2003).

ينبغي أن تكون الوحدات المستخدمة في الواجهات مقاومة للحرائق وصلبة وذات متانة عالية لحمايتها من التخريب، وفي الوحدات المؤطرة يفضل استخدام مواد خفيفة الوزن ذات إطار مصنوعة من مواد متينة. وهناك أنواع مختلفة من الوحدات مثل الوحدات الكهروضوئية المزججة أو المؤطرة أو غير المؤطرة ويتم استخدام مواد ربط (حشوات) ما بين الفراغات لإغلاق الفجوات. ويمكن أن تكون شفافة أو معتمة الشكل (خطيب، 2015م)

### أ. الحوائط الرأسية

تغطي الوحدات الكهروضوئية واجهة المبني بأكمله أو جزء منه وأحياناً تكون طبقة ثانية على طبقة أولى داخلية تحتوي على مواد عازلة ومانعة لتسرب المياه أو تكتفه ، وينبغي أن تكون هذه الطبقة محكمة السد، والفراغات الهوائية فيها تكون مغلقة، كما أن الواجهات غير المعروضة للتهوية تعتمد على أنواع الخلايا التي تتحمل درجات الحرارة العالية مثل Poly Crystalline Silicon، ومن طرق تركيب الوحدات على واجهات المبني بأن توضع مقاطع من الألمنيوم على الواجهة لتسند عليها الوحدات أو أن تكون المقاطع مثبتة مسبقاً على الوحدات الكهروضوئية وفي هذه الحالة تكون الوحدات معرضة للتهوية.

تتميز الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع الحوائط الرئيسية بسهولة تركيبها وعدم تأثيرها على الهيكل الإنشائي بشكل كبير (خطيب، 2015م).

#### **ب. الحوائط المتدرجة(المسننة)**

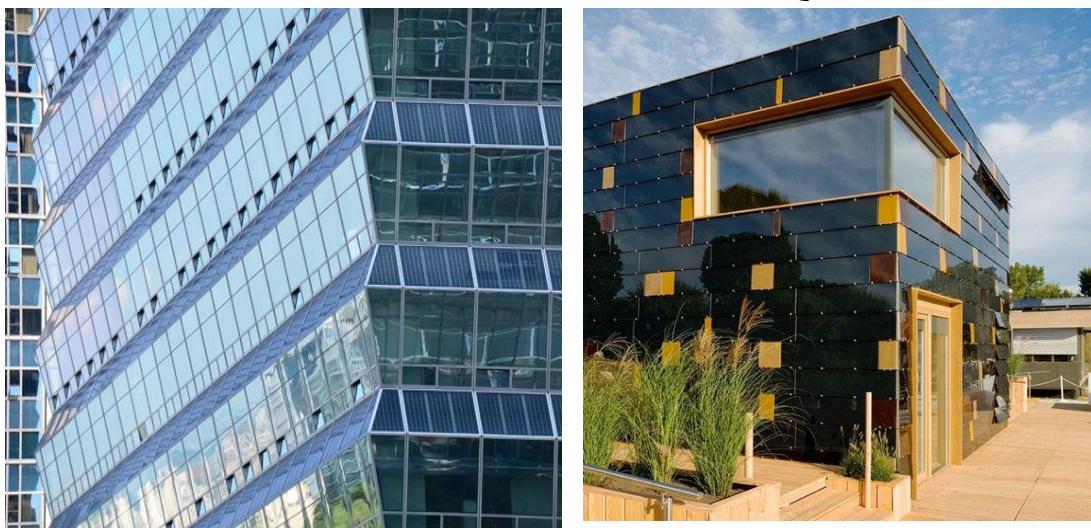
تتميز الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع الحوائط المتدرجة أو المسننة بأداء الشمسي الجيد في التوجيه ناحية الأشعة الشمسية، كذلك إيجاد مجموعة من الأركان ممكن استخدامها كنوافذ يمكن فتحها (عبد الهاדי، 2012م).

#### **ج. الحوائط المائلة**

الحوائط المائلة بالاتجاه المناسب للشمس هي الأنسب لتكامل الخلايا الكهروضوئية مع المبني لاستقبال أكبر كمية من الإشعاع الشمسي بالإضافة إلى شكلها الجذاب الذي يعطي للمبني أناقة ورونق، ترکب الخلايا على الحوائط المائلة أو ترکب بشكل مائل لو كان الحائط رأسي (Basnet, 2012).

#### **د. الحوائط المنحنية**

الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع الحوائط المنحنية يثبت مدى التطور التقني والقدرة على مرنة تشكيلها وبذلك عدم تقييد المعماري بأشكال جامدة. شكل (2.9) يوضح أشكال تكامل الوحدات الكهروضوئية مع الواجهات



أنظمة الوحدات الكهروضوئية في الحوائط المتدرجة في  
مبنى اتحاد الصناعات الكورية في كوريا الجنوبية

أنظمة الوحدات الكهروضوئية في الحوائط الرئيسية  
لأحد المنازل في ألمانيا



أنظمة الوحدات الكهروضوئية في الحوائط المنحنية في مركز أوبتيك في بريطانيا كما في مركز المهني في أستراليا

**شكل (2.9): الأشكال المختلفة لتكامل أنظمة الوحدات الكهروضوئية مع الواجهات**  
(المصدر: Pinterest, 2017)

### ثالثاً: الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع العناصر المعمارية الأخرى

تكامل الوحدات الكهروضوئية لا يقتصر على الواجهات أو الأسقف والمسطحات الكبيرة بل يمكن أن تدخل في التفاصيل المعمارية مثل النوافذ وكاسرات الشمس والمظللات وفي درابزيني الحماية .

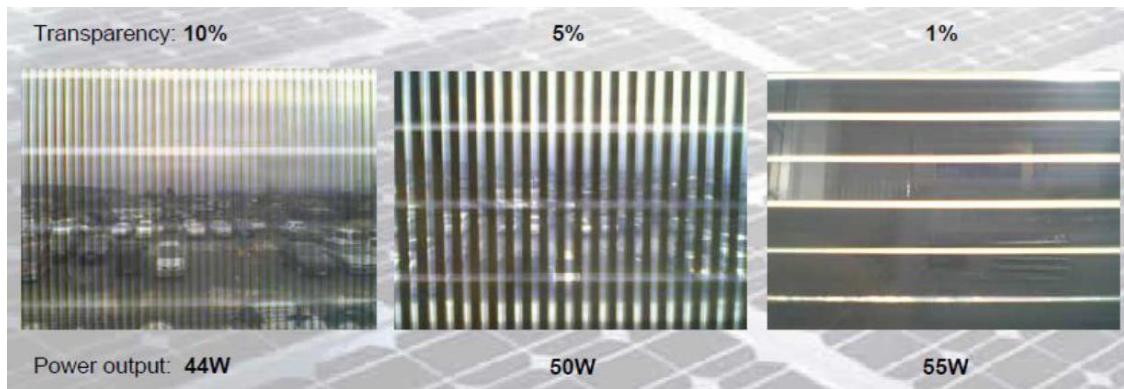
#### أ. الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع الفتحات

يتم استخدام الزجاج التقليدي للفتحات وتم تطوير خواصه لتناسب مع الظروف المناخية المحيطة بالمبني، ولكنه مكلف. يمكن استخدام تقنية الزجاج الكهروضوئي بدل الزجاج التقليدي الذي يعطي نفس الخواص الفيزيائية، حيث يسمح بنفاذ الضوء باستخدام الأنواع الشفافة بالإضافة إلى توفر أنواع شبه شفافة منه أو غير شفافة (غير نافذة للضوء) حسب رغبة المعماري ولكن تتأثر كفاءة الخلايا كلما زادت درجة شفافيتها، كما يبين الشكل أدناه .(2.10)

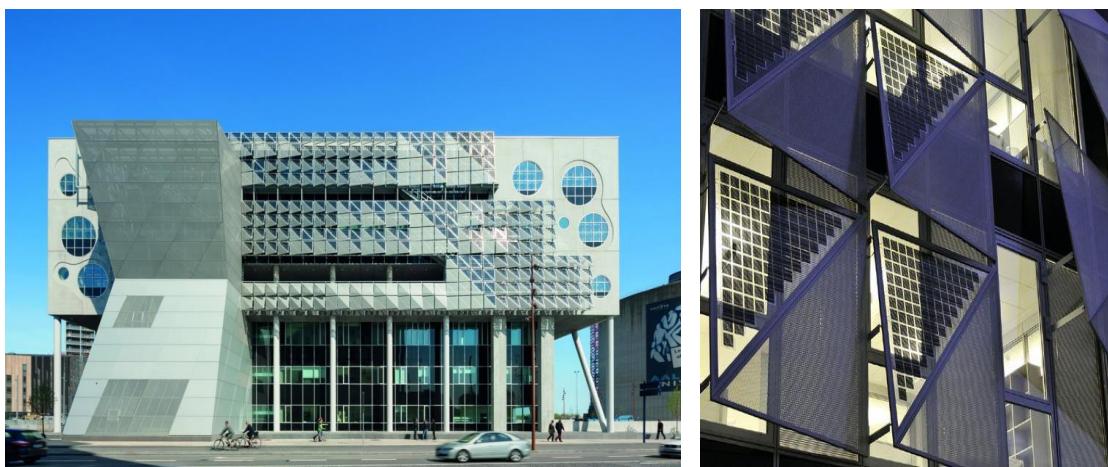
يمكن تلخيص مميزات الزجاج الكهروضوئي كالتالي

- مادة بناء حديثة تعمل على تقليل التكاليف الإنسانية وأمنة ويمكن إعادة استخدامها
- يوفر الحماية من حدة أشعة الشمس المباشرة

- يولد طاقة كهربائية بمقدار  $45-60 \text{ واط}/\text{م}^2$
- يخفض من الاكتساب الحراري والأشعة فوق البنفسجية
- يتوفّر بتشكيلات ومقاسات وألوان مختلفة (عبد الهادي، 2012م)



**شكل (2.10):** تأثير درجة شفافية الوحدات الكهروضوئية على كفاءة عملها  
(المصدر: عبد الهادي، 2012م)



**شكل (2.11):** استخدام الزجاج الكهروضوئي بدلاً من الزجاج العادي للفتحات في مبنى الموسيقى في أستراليا  
(المصدر: عبد الهادي، 2012م)

يعرض شكل (2.11) لنماذج تطبيق الأنظمة الكهروضوئية مع الفتحات وفيها يتم تركيب النوافذ بدل الزجاج التقليدي في شبابيك الألمنيوم وتكون شفافة وبألوان جميلة ومختلفة وتعطي ظلال إضاءة مميزة داخل الفراغ الداخلي (خطيب، 2015م).

## **بـ. الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع كاسرات الشمس**

الاتجاه الجديد في تصميم فتحات كبيرة أدى إلى زيادة الاهتمام بتصميم الكاسرات، وتعتبر الكاسرات أكثر العناصر المستدامة لاستخدامها في تزييل المبنى وإعطاء شكل جمالي وغير أنها لا تشكل وزن إضافي على النظام الإنشائي. وتكون الكاسرات الكهروضوئية بهيئة وحدات كهروضوئية ذات شرائح طولية، وترتكب بالاتجاهين الرأسي والأفقي، الرأسي لصد الإشعاع منخفض الزاوية، والأفقي لصد الإشعاع عالي الزاوية .

نركب الوحدات على الكاسرات المبنية من المواد التقليدية أو تحل مواد البناء فتوفر من تكلفة شرائها، وتعمل على التقاط أشعة الشمس لحجبها عن المبنى وتوليد الكهرباء وتخفيض أحمال التبريد غير المرغوب بها (خطيب، 2015).

وبذلك تعمل هذه الوحدات دور مزوج في توليد الطاقة للمبنى والحماية من دخول أشعة الشمس الغير مرغوب فيها كما هو مبين في شكل (2.12).



**شكل (2.12): استخدام الوحدات الكهروضوئية ككاسرات شمس كما في مركز شايدجر في السويد**

(المصدر: Pinterest, 2017)

## **جـ. الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع التراسات والبلكونات**

تركيب الوحدات الكهروضوئية على أطر معدنية لتشكل مظلات للتراسات أو البلكونات وتركيب أيضاً درابزين وممكن أن تحل محل مواد البناء وبذلك إعطاء منظر حديث وجمالي (خطيب، 2015م)، انظر إلى الشكل (2.13) والشكل (2.14).



شكل (2.13): استخدام الوحدات الكهروضوئية كمظلات للتراسات والبلكونات

(المصدر: Pinterest, 2017)



شكل (2.14): استخدام الوحدات الكهروضوئية في درابزين التراسات والبلكونات

(المصدر: Pinterest, 2017)

## 6.2 الخلاصة

الاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة الكهربائية هو الحل الأمثل للحصول على طاقة مجانية وصديقة للبيئة، لذلك فإن تم تزويد أسطح المبني بمختلف استخداماتها بمجموعة من الخلايا الكهروضوئية يمكن الحصول على طاقة كهربائية بشكل مجاني وكافي لمتطلبات الحياة اليومية.

وقد استعرض هذا الفصل نظام الخلايا الكهروضوئية المتكامل مع المبني وتوصيل إلى أن هذا النظام يجب أن يكون جزءاً من نهج شامل بالنسبة للمهندسين المعماريين، حيث إن أنظمة BIPV في المبني يمكن أن توفر جزءاً كبيراً من احتياجات المبني من الطاقة إذا تم تصميم المبني بالطريقة الصحيحة من خلال نهج شامل، ودمج هذه النظم لا يعني فقط استبدال مواد البناء التقليدية، ولكن أيضاً دمجها جمالياً في التصميم وهذا ما يسمى بالتكامل المعماري. هذه الخلايا تتكمال مع المبني كعناصر تكسية (في الواجهات) أو دمجها في السقف أو بأي عنصر من مكونات البناء (التفاصيل المعمارية) مثل المظلات وكاسرات الشمس والنواذف وغير ذلك، وستعرض الدراسة في الفصل التالي إلى واقع الطاقة الكهربائية في قطاع غزة وأثرها على أداء مبانيها خاصة مباني المدارس، والتطرق إلى تطبيق الخلايا الكهروضوئية في مبانيها لحل أزمة انقطاع التيار الكهربائي المتواصل.

## **الفصل الثالث**

**الطاقة في قطاع غزة وتأثيرها  
على أداء المباني المدرسية**

### **الفصل الثالث**

#### **واقع الطاقة في قطاع غزة وتأثيرها على أداء المباني المدرسية**

##### **1.3 المقدمة**

تعد المباني المدرسية من أهم المرافق العامة في الحياة اليومية لأي مجتمع، كونها تشكل مصدراً أساسياً في تعليم الإنسان وثقافته وتقدمه وحضارته. وقد أكدت عدة دراسات على تأثير مبني المدرسة على العملية التعليمية، وجودة التعليم، وأهمية الارقاء بنوعية المباني المدرسية لتأثيرها المباشر في تعليم الطلاب وتربيتهم. ويرى الباحثون أن المؤسسات التعليمية التي تهتم بمباني مدارسها من حيث تخطيطها وتصميمها وتنفيذها وتجهيزها بما يواكب احتياجات العصر ستنتج مدارس أكثر نجاحاً وتخرج أجيالاً أكثر كفاءة. وإن تزايد المشكلات الاقتصادية والاجتماعية عزز بناء مباني مدرسية ملائمة بيئية ومجهزة بكافة وسائل الراحة (Nair, 2006) و(shelby, 2012).

ست تعرض الدراسة في هذا الفصل إلى واقع التعليم في قطاع غزة والتركيز على المدارس الحكومية حيث يتم عرض احصائيات حول عددها وعدد طلابها وملكيتها وفترات الدوام، والتطرق للأنماط الشكلية لمبني المدارس الحكومية، ومن ثم الانتقال إلى عرض أهم الاحتياجات التخطيطية والتصميمية للمدارس الحكومية المتعلقة باستخدام الطاقة، ومناقشة التحديات التي يواجهها برنامج التربية والتعليم بسبب أزمة توفر الطاقة ومن ثم دراسة واقع الطاقة القطاع وفي المباني المدرسية للوصول فيما بعد عن كيفية توفير الطاقة الكهربائية تبعاً لواقع قطاع غزة واستغلال الطاقة الشمسية من خلال تطبيق نظام الخلايا الكهربائية المتكاملة مع المباني المدرسية.

##### **2.3 نبذة عن قطاع غزة**

قطاع غزة جزء من فلسطين التاريخية، تم احتلال جزء كبير من الأراضي الفلسطينية عام 1948 ثم احتل الاحتلال الإسرائيلي ما تبقى من تلك الأرض عام 1967، وتم عزل قطعة الأرض الصغيرة (قطاع غزة) التي لم تكن تفصلها حدود وأسيجة عن مدن النقب، فأصبحت محاصرة بين البحر والأراضي المحتلة من قبل الاحتلال الإسرائيلي عام 1948.

### 1.2.3 الموقع الجغرافي

يقع قطاع غزة في المنطقة الجنوبية من ساحل فلسطين التاريخية على البحر المتوسط، د القطاع عبارة عن شريط ساحلي ضيق يقع شمال شرق شبه جزيرة سيناء ويشكل تقريراً 1.33% من مساحة فلسطين التاريخية الممتدة من النهر إلى البحر، حيث يمتد من الشمال على الجنوب لمسافة 454 كم، وأقصى اتساع له يتراوح بين 6-12 كم، وتبلغ مساحته 360 كم<sup>2</sup>، أما حدود القطاع فيحده البحر الأبيض المتوسط من الغرب، ومصر من الجنوب، أما الحد الشمالي والشمال الشرقي والشمال الجنوبي الشرقي الذي يعرف بالخط الأخضر تكون أراضي 48 (صالحة، 1997م).

يتصل القطاع مع العالم الخارجي عن طريق مجموعة من المعابر البرية التي تقع بين حدود قطاع غزة وبين إسرائيل 1948 المحتلة، وهي حسب موقعها من الشمال إلى الجنوب معبر بيت حانون أو ما يسمى بمعبر إيرز، ومعبر الشجاعية، ومعبر المنطار (يسمى أيضاً بمعبر كارني)، ومعبر القرارة، ومعبر صوفا، ومعبر كرم أبو سالم، وأخيراً معبر رفح الذي يصله مع مصر. غزة هي كبرى مدن قطاع غزة وثاني أكبر مدينة فلسطينية بعد القدس، وتقع في الشمال، وقطاع غزة اكتسب هذه التسمية من مدينة غزة. ويقسم القطاع إدارياً على خمس محافظات كما يبين شكل (3.1) وهي محافظة غزة، ومحافظة الوسطى، ومحافظة خان يونس، ومحافظة رفح، ومحافظة الشمال (عوبضة، 2010م).



شكل (3.1): خريطة فلسطين توضح الموقع الجغرافي لقطاع غزة وأهم مدنه ومعابرها  
(المصدر: ويكيبيديا، 2010، تعديل الباحثة)

## 2.2.3 عدد السكان

يبلغ عدد سكان قطاع غزة في جميع محافظاتها 2 مليون وخمسة عشر ألفاً وست وأربعون نسمة بنسبة 50.66% ذكور، و49.34% إناث (وزارة الداخلية والأمن الوطني، 2017م)، وبكثافة سكانية 5154 نسمة لكل كيلو متر مربع، أغلب عدد سكان القطاع هم من لاجيء حرب 1948م ومتواجدين في مخيمات القطاع من شماله لجنوبه وهي مخيم جباليا، ومخيم الشاطيء، ومخيم البريج، ومخيم المغازي، ومخيم النصيرات، ومخيم دير البلح، ومخيم خانيونس، ومخيم رفح (جهاز الاحصاء المركزي الفلسطيني، 2017م).

وأظهرت إحصائية الأحوال المدنية أن قطاع غزة يشهد شهرياً حوالي 15 ألف مولوداً جديداً، فيما يشهد القطاع سنوياً تسجيل أكثر من 53 ألف مولود جديد. وأن 82% من سكان قطاع غزة أقل من 40 عاماً (هم من فئة الأطفال والشباب) حيث أكثر من 945 ألف نسمة من سكان القطاع غزة أعمارهم من يوم إلى 18 عاماً (وزارة الداخلية والأمن الوطني، 2017م) مما يتطلب اهتماماً متزايداً بالتعليم المدرسي.

## 3.3 واقع قطاع التعليم في قطاع غزة

يعد قطاع التعليم العام أحد أهم القطاعات في المجتمع الفلسطيني، فالتعليم يمثل أحد اللبنات الأساسية لبناء المجتمع، فكلما كان هذا الأساس قوياً انعكس ايجاباً على تقدم وتحضر ورفاهية المجتمع (عبد الكريم، 2010م).

إن وزارة التربية والتعليم تتفق ما يقارب عشرين مليون دولار سنوياً على إنشاء مباني مدارس جديدة وترميم وصيانة القائم منها، ومع ذلك المجتمع الفلسطيني والطلاب غير راضين عن أداء مدارسهم لعدم تحقيقها رغباتهم ولا توافق تطور المنهاج التعليمي والعصر التكنولوجي (سعادة، 2014م). عانى قطاع التربية والتعليم من الممارسات الإسرائيلية القمعية، لدوره المؤثر الذي يلعبه هذا القطاع في تاريخ الشعب الفلسطيني لما له من حضور موصول في تاريخ القضية الفلسطينية منذ ظهرت وحتى اليوم، ولما له من دور في مستقبل الشعب الفلسطيني وطموحاته الوطنية في الاستقلال، وإقامة دولته، ووضع أسس بناء الدولة المنشودة (وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية، 2010م).

وتشرف وزارة التربية والتعليم العالي في فلسطين على التعليم العام في المدارس الحكومية، والمدارس التابعة لوكالة غوث اللاجئين والمدارس الخاصة، وكذلك تشرف الوزارة على التعليم العالي في الكليات والجامعات الفلسطينية (وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية، 2017م).

### 1.3.3 نظرة عامة على المدارس في قطاع غزة إحصائيا

تم إنشاء العديد من المباني المدرسية في قطاع غزة في السنوات الأخيرة، والتي تبدو هذه المباني للوهلة الأولى أنها تفي بجميع المتطلبات الوظيفية والتربوية الحديثة، لكن في الحقيقة أن المصممين المعماريين الذين قاموا بإعداد تلك المخططات سواء كانوا من داخل القطاع أو من خارجه بتمويل من الدول المانحة قد أولوا الأهمية أثناء التصميم لعامل الاقتصاد (النمرة، 2004).

منذ عام 2001-2013 ازدادت عدد المباني المدرسية بوتيرة غير متناسبة وذلك ابتداءً من انتفاضة الأقصى عام 2000 مروراً بالحصار على القطاع عام 2006، ومن ثم حرب عام 2008-2009، وبعدها حرب 2012، وحرب 2014م. كل ذلك أدى إلى نقص في عدد أبنية المدارس نتيجة لدميرها، أو تأخر في بناء المدارس الجديدة نتيجة لمنع دخول مواد البناء الأساسية لمدة ثلاثة سنوات متالية.

وتشير الإحصائيات من بيانات المسح السنوي التي تقوم بها وزارة التربية والتعليم سنوياً والتي آخرها في عام 2016/2017 أن هناك 497 مبني مدرسي في قطاع غزة موزعين على النحو الآتي (وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية، 2017):

- 271 مبني مدرسي تابع لوزارة التربية والتعليم العالي بنسبة بلغت 54.53%
- 171 مبني مدرسي تابع لوكالة الغوث بنسبة بلغت 34.40%
- 55 مبني مدرسي تابع للقطاع الخاص بنسبة بلغت 11.07%.

أما عدد المدارس فكانت 714 مدرسة موزعين على النحو الآتي (انظر إلى جدول (3.1)):

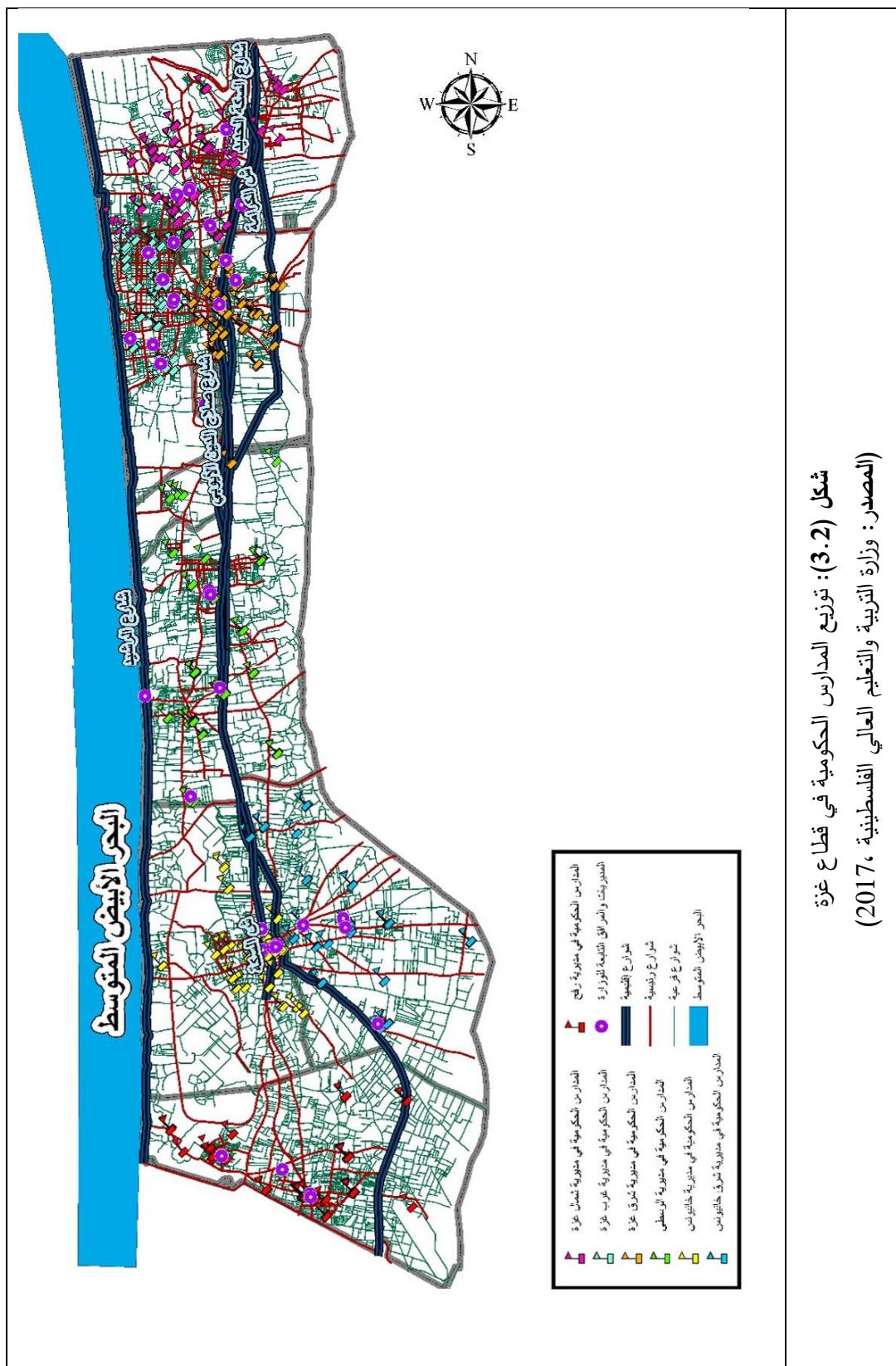
- 392 مدرسة تشرف عليها وزارة التربية والتعليم العالي بنسبة بلغت 54.53%
- 267 مدرسة تشرف عليها وكالة الغوث بنسبة بلغت 34.40%
- 55 مدرسة يشرف عليها القطاع الخاص بنسبة بلغت 11.07%

جدول (3.1): أعداد المدارس والأبنية حسب الجهة المشرفة

الجهة المشرفة	عدد الأبنية	عدد المدارس
حكومة	271	392
وكالة	171	267
خاصة	55	55
المجموع	497	714

(المصدر: وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية ، 2017)

ويوضح شكل (3.2) التالي توزيع المدارس الحكومية في قطاع غزة



شكل (3.2): توزيع المدارس الحكومية في قطاع غزة  
(المصدر: وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية، 2017)

وقد بلغ عدد المدارس في قطاع غزة 714 مدرسة كما ذكر سابقا وبخصوص فترة الدوام فهي متفاوتة كما موضح في الجدول (3.2)، فالمدارس موزعة على النحو الآتي:

- المدارس التابعة لوزارة التربية والتعليم العالي بواقع 392 مدرسة
- المدارس التابعة لوكالة الغوث الدولية بواقع 267 مدرسة بفترات دوام مختلفة
- المدارس التابعة للقطاع الخاص تعمل بنظام الفترة الواحدة

**جدول (3.2): فترات الدوام المختلفة للمدارس حسب الجهة المشرفة**

خاصية عدد المدارس	وكالة عدد المدارس	حكومة عدد المدارس	فترة دوام المدرسة
			فترة واحدة
55	79	150	فترة واحدة
	0	32	صباحي دائم
	3	32	مسائي دائم
	79	89	صباحي
	79	89	مسائي
	2		ثلاث فترات بثلاث إدارات - صباحي
	2		ثلاث فترات بثلاث إدارات - مسائي
	2		ثلاث فترات بثلاث إدارات - وسط
	10		فترة واحدة بإدارتين - صباحي
	4		فترتين بأربعة إدارات - صباحي
	4		فترتين بأربعة إدارات - مسائي
	2		فترتين بثلاث إدارات - صباحي
	1		فترتين بثلاث إدارات - مسائي
55	267	392	<b>المجموع</b>

(المصدر: وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية ،2017)

بلغ عدد طلبة المدارس في قطاع غزة 523800 طالب وطالبة، ووصل عدد الشعب المدرسية في قطاع غزة 13846 شعبة منها 6401 شعبة حكومية بمعدل 38.09 طالب /شعبة، وفي مدارس الوكالة 6653 شعبة بمعدل 39.33 طالب /شعبة، بينما المدارس الخاصة كانت 792 شعبة بمعدل 23.21 طالب /شعبة.

نصيب الطالب في المدارس الحكومية من مساحة الشعبة هو  $1.19\text{m}^2/\text{طالب}$  وهو أقل من المعايير الدولية لتصميم المدارس بحيث المفروض أن لا يقل عن  $1.5\text{m}^2/\text{طالب}$ .

أما بخصوص مساحات المدارس في القطاع فكانت مدارس الحكومة بما يقارب بمساحة 622 متر مربع ، ومدارس الوكالة بمساحة 979 متر مربع ، والمدارس الخاصة 334 متر مربع. يوضح الجدول (3.3) أعداد المدارس و عدد الطلبة والعاملين حسب الجهة المشرفة خلال عام 2016.

**جدول (3.3): أعداد الطلبة والعاملين و الشعب و حجم المدرسة والكثافة الصافية حسب الجهة المشرفة**

الجهة المشرفة	الجهة المشرفة	عدد الطلبة			المجموع	إناث	ذكور
		الكثافة الصافية	حجم المدرسة	عدد الشعب			
حكومة	حكومة	38.09	622.036	6401	13368	243838	127458
وكالة	وكالة	39.33	979.989	6653	9618	261657	126605
خاصة	خاصة	23.21	334.273	792	1438	18385	6843
المجموع	المجموع	3.84	733.725	13846	24424	523880	260906
							262974

(المصدر: وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية، 2017)

من خلال الإحصاءات السابقة يتضح أن أغلبية المدارس في قطاع غزة هي تابعة للحكومة وأن نسبة أعدادها وأعداد طلابها والعاملين بها أكبر أو مساوية مقارنة مع المدارس التابعة للوكالة والمدارس الخاصة، وبشكل عام المدارس في القطاع تتبع نظام الفترات أي أن المبني المدرسي لا يتم تشغيله فقط صباحاً بل يعمل على مدار النهار وبذلك يجب أن يولي لها أهمية بالغة من ناحية تحفيظها وتصميمها وتشغيل فراغاتها لتحقيق أهداف العملية التعليمية.

### 2.3.3 الأنماط الشكلية السائدة لمباني المدارس الحكومية في قطاع غزة

المدارس الحكومية هي مؤسسات تعليمية تديرها وزارة التربية والتعليم وتشرف الوزارة على تصميم وإدارة وتنفيذ المدارس في الأراضي الفلسطينية.

تطور تصميم المدارس الحكومية عما سبق، فقبل عام 1994 وقعت المدارس تحت حكم الاحتلال الإسرائيلي، وتميزت تلك الفترة ببناء المدارس بطرق عشوائية، وعدم التوجيه الصحيح للمبني، وفتحات النوافذ غير كافية للإضاءة، عدم وجود مختبرات علمية ومعامل حاسوب، و عدم توافر ملاعب. في عام 1994 مع قدوم السلطة الوطنية الفلسطينية الفلسطينية، كان هناك تحسينات على تصاميم المدارس والمنهاج نفسه بالتعاون مع البنك الدولي والبنك الألماني للتنمية وشملت هذه التحسينات:

- تطوير المناهج الفلسطيني
- بناء مدارس جديدة

- توسيع المدارس القائمة

- ادخال تطويرات على متطلبات التصميم وتحسين الوضع للمدارس القائمة

وفي عام 1998 تم انشاء الدليل المعماري لتصميم المدارس بالتعاون بين وزارة التربية والتعليم ووكالة الغوث وقامت الادارة العامة للمباني في الوزارة بإنشاء المدارس الحكومية تبعاً للدليل. بشكل عام اعتمدت الوزارة في المدارس الحكومية على شكل غرف صفية متلاصقة بشكل خطى تشرف على ممر يكون مفتوحاً على الخارج، وابتعدت عن نظام الممرات المغلقة من كلا الجانبين من الصنوف لأسباب وظيفية وبيئية وأخلاقية.

### ايجابيات وسلبيات هذا النمط من المدارس

الايجابيات:

1- من السهل توجيه الصنوف للجهة الأمثل وهي الشمال

2- بساطة التصميم وتؤدي الغرض المطلوب منها بكفاءة عالية 3

3- كفاءة الفراغات المتصلة أفقياً و عمودياً بشكل مريح للهيئة التدريسية

4- سهولة الرقابة على الطلبة بالأخص وقت الحصص الدراسية بسبب ممراتها المفتوحة

السلبيات:

1- عدم القدرة على توفير بيئة حرارية مريحة عند الخروج من الشعب الصفية وعدم وجود مساحات مغلقة ضمن المبني.

2- المقصف عادة يكون مبني مستقل عن كتلة المبني و بدون مظلات خارجية لحماية الطلبة.

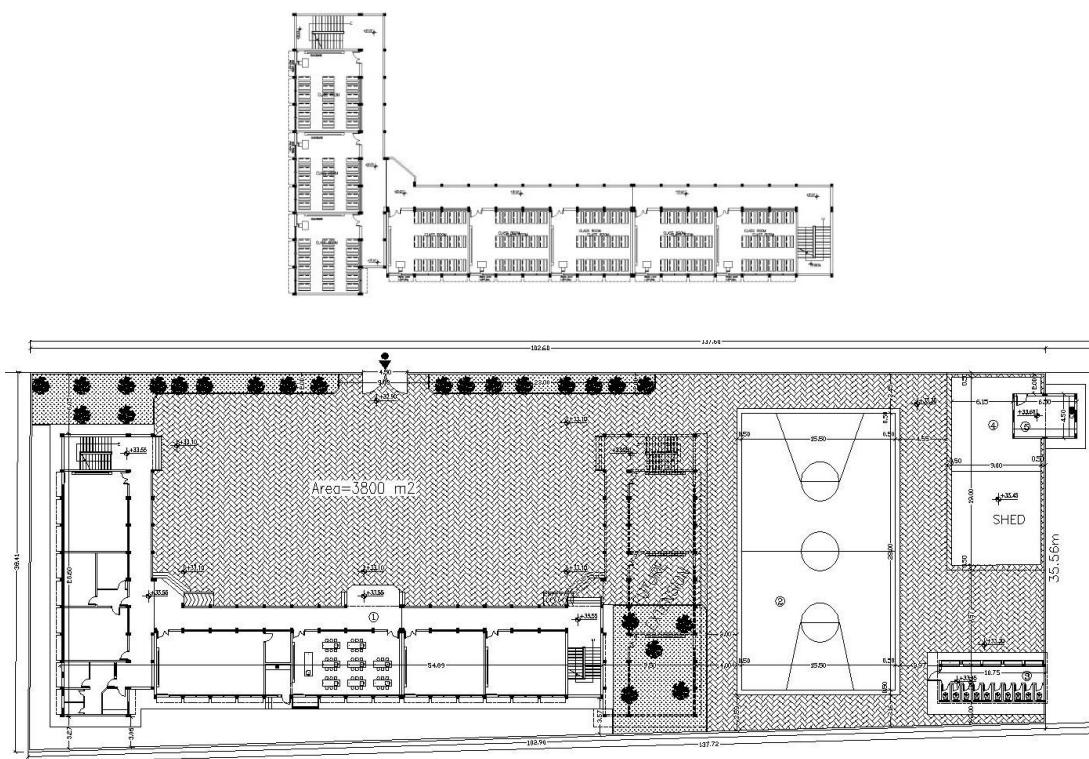
3- سرعة اتساخ المدرسة (النظافة المدرسية) بسبب الممرات المفتوحة فالمدرسة عرضة لمياه الأمطار و الى الغبار.

أكثر الأنماط الشكلية لمباني المدارس الحكومية في قطاع غزة التي تم انشاؤها منذ حكم الاحتلال حتى عام 2013 اتخذت شكلي حرف L و U نابعاً من فكرة الوزارة بضرورة احتضان المبني المدرسي لساحة مفتوحة لغرض الطابور المدرسي والرقابة الإشرافية من قبل الادارة على الطلبة (شادي عبد العزيز، مقابلة شخصية، 23 يوليو، 2017). وفي السنوات الأخيرة بدأت تظهر مدارس جديدة بأشكال حديثة من ضمنها شكل H و F لتلبية متطلبات التصميم والمنهج.

هنا عرض لأكثر الأنماط الشكلية شيوعاً قديماً وحديثاً في القطاع:

## أولاً: مدارس على شكل حرف L

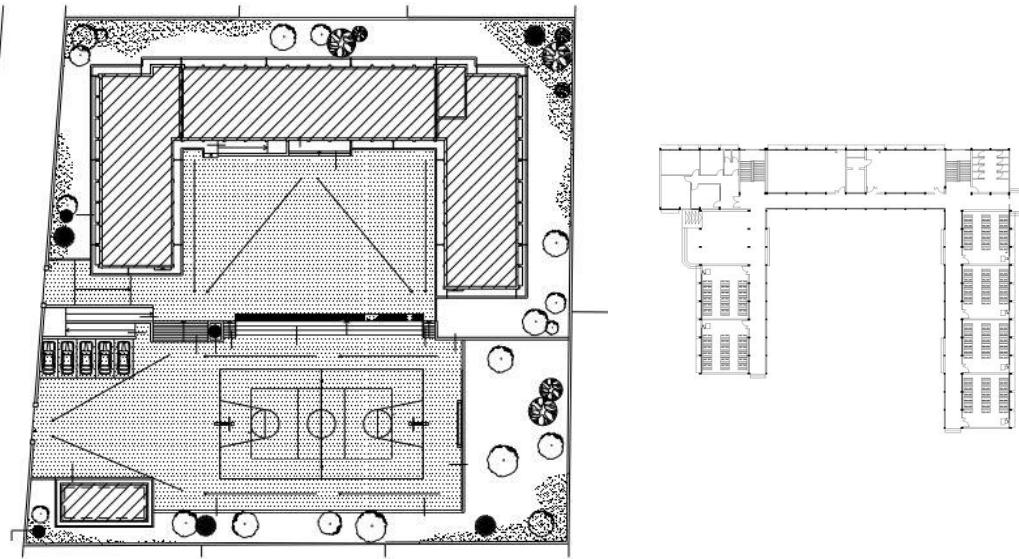
أحد الأشكال النمطية لمدارس القطاع، صممت هذه المدارس على شكل حرف L، حيث ترتب الغرف الصفية والتخصصية بجانب بعضها مع ممر خارجي على طول الضلعين ويمثل محور الحركة الأفقي كما في الشكل (3.3) مثل مدرسة القاهرة الابتدائية - غزّة، مدرسة فلسطين، ومدرسة بلقيس اليمن.



شكل (3.3): مدرسة حكومية على شكل حرف L

## ثانياً: مدارس على شكل حرف U

شكل نمطي بمدارس ذات ثلاثة أضلع من الغرف الصفية مع ممر مفتوح على هذه الأضلع الثلاثة، طول هذه الأضلع يختلف حسب الموقع العام للأرض وعدد الشعب كما في الشكل (3.4)، من الأمثلة على هذا النوع مدرسة ابراهيم المقادمة وبشير الرئيس الثانوية للبنات -غزّة.



شكل (3.4): مدرسة حكومية على شكل حرف U

### ثالثاً: المدارس الحديثة ذات الأشكال المختلفة بتمويل البنك الألماني للتنمية KFW

لمناقشة هذه القضية تم إجراء مقابلة شخصية مع تيسير غريبة (2017م)، ففي عام 2007م تم توقيع اتفاقية بين وزارة التربية والتعليم والحكومة الألمانية من خلال البنك الألماني للتنمية بأن يتم تصميم مدارس الحكومة وتنفيذها وشرافتها من قبل البنك الإنمائي من خلال مكاتب هندسية في غزة تم اختيارها لزيارة ألمانيا ودراسة المباني المدرسية الحديثة فيها وتطبيقها فيما يوافق البيئة المحلية لقطاع غزة. منذ عام 2007 تم تصميم العديد من المدارس على الطراز الألماني، ولكن لم يبدأ تنفيذها إلا قبل عامين من الآن بسبب الظروف السياسية والحروب السابقة على القطاع.

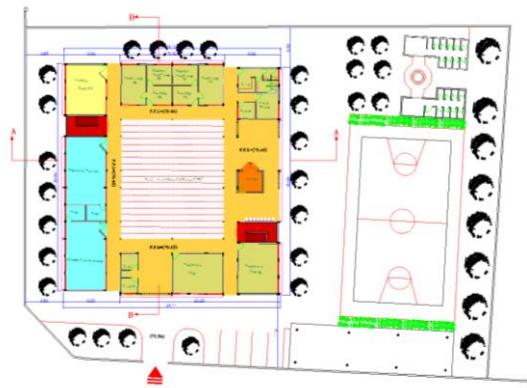
اعتمد في تصميم المدارس التأكيد على:

- دراسة الموقع ومحيطه، ودراسة توجيه الأمثل بالنسبة للرياح والإضاءة لاكتساب أكبر قدر من التهوية وإضاءة طبيعية مريحة بصيرية.
- بناء مدارس بأشكال جديدة، فكل مدرسة لها تصميم يختلف حسب ظروف قطعة الأرض فمنها من أخذ شكل A وشكل مربع غلق مع فناء، وشكل E وH و F وأشكال أخرى تبعاً لشكل الأرض، وليس التقيد بالأشكال النمطية للمدارس السابقة الحكومية ذات حرف L وU.

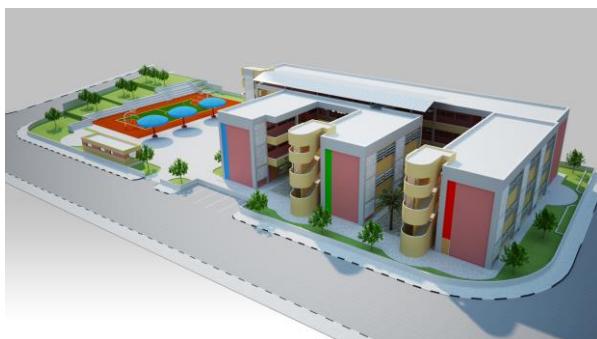
- الاهتمام بالمناطق المفتوحة: تم تنسيق الموقع من حيث زيادة عدد الفراغات المفتوحة من مناطق خضراء وملعب وساحات ومواقف سيارات.
- المداخل: تم التأكيد على المدخل الرئيسي للمدرسة من خلال كتل واضحة.
- مسارات الحركة: تم تأهيل مسارات حركة للطلاب ذوي الاحتياجات الخاصة ووضع غرفة صفيحة واحدة على الأقل في المسقط الأرضي لسهولة الوصول إليها، وتميزت الممرات الرئيسية بتوفير عامل الأمان والسلامة، الأدراج لا تزيد المسافة بين درجين أكثر من 30م. وفي الممرات الأفقية تم استخدام حاجز خشبي بعرض 25سم بشكل مائل للداخل لحماية الطلبة.
- تم توجيه الصفوف المدرسية أقرب ما يكون إلى الشمال ووضع الغرف المتخصصة مثل غرف الحاسوب والمخبرات العلمية والمكتبة باتجاه المقابل.
- تحقيق الراحة النفسية في الصفوف من خلال اعتماد الوان هادئة لكل صف ومختلفة عن الآخر وتحقيق الراحة البصرية بتركيب كاسرات شمس تمنع دخول أشعة الشمس المباشرة المؤدية للنظر والتي تعكس على السبورة.
- استخدام ألوان جديدة: انعكست درجات ألوان العلم الألماني على ألوان التشطيب الخارجي المدارس، فكانت الألوان أقرب إلى (اللون الأحمر الطوبي، والرمادي، والبني الفاتح)، ويعرض شكل (3.5) بعض النماذج للمدارس الحكومية الحديثة بالتعاون مع البنك الألماني للتنمية (مقابلة شخصية، 16 نوفمبر، 2017م).



مدرسة النساوي ”مدرسة الإسراء الثانوية للبنين



مدرسة عبسان ”مدرسة طيبة الثانوية للبنات



مدرسة جيزان نشوان



مدرسة سعاد الصباح

**شكل (3.5): بعض النماذج للمدارس الحكومية الحديثة التي تم تصميمها وتنفيذها من عام 2013-2017  
بالتعاون مع البنك الألماني للتنمية**

بالرغم من ايجابيات هذه المدارس ومراعاتها للبيئة ومستلزمات المنهاج الجديد ولكن يتم استخدام مواد عازلة للحرارة أو الرطوبة في التشطيبات الداخلية والخارجية ل توفير الراحة الحرارية بسبب كلفتها العالية وزيادة كساحتها.

تركيب الخلايا الشمسية كان مطروحا ولكن بسبب التكلفة لم يتم تركيبها ولا حتى تهيئة أسطح مناسبة لتركيبها، وكان أمر تركيبها يقتصر على مصادر تمويل من مشاريع أخرى إن توفرت لتركيب حسب التمويل بشكل يسد حاجة المدرسة للكهرباء بشكل كلي أو جزئي.

### **4.3 الاحتياجات التخطيطية والتصميمية لمباني المدارس في قطاع غزة المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة**

لا بد من دراسة ومعرفة الاحتياجات التخطيطية والتصميمية للمدارس لتحقق المدرسة الغرض الذي أنشئت من أجله وتتوفر الراحة والحماية لشاغليها، فالناحية التخطيطية تمثل بالموقع العام، والتوجيه العام للمبني، أما من الناحية التصميمية فتمثل بالفراغات الوظيفية، ومراعاة المساحات والقياسات، والتهوية، والإضاءة، والتحكم الصوتي، والتجهيزات الداخلية، والتشطيبات الداخلية).

سيتم التركيز هنا على أهم الاحتياجات التخطيطية و التصميمية المرتبطة باستخدام الطاقة الكهربائية لتحقيق الوظائف المرجوة منها.

#### **1- اختيار الموقع العام والتوجيه الأمثل للمبني المدرسي تحقيقاً للراحة الحرارية.**

##### **- اختيار الموقع العام**

تقييم و اختيار موقع المدرسة وتوجيه المبني لها دور أساسى في تحصيل الإضاءة والتهوية الطبيعية في الفراغات الداخلية، وتوزيع الفراغات في المسقط المعماري بعد دراسة أي الغرف تحتاج إضاءة أعلى من غيرها، فمثلاً الغرف الصفية وغرف المعلمين تحتاج إضاءة أعلى من الغرف التخصصية مثل غرفة الحاسوب والمختبرات العلمية والمكاتب (Ministry of Education and Training – Ontario, 2010).

##### **- التوجيه الأمثل للمبني**

توجيه المبني لتحقيق أفضل استفادة من المناخ الحالي من الشمس والرياح، مباني المدارس ذات المحور الطولي قليل العرض تمكن من التحكم في تأثير الشمس بسهولة عندما تواجه النوافذ للجهة الجنوبية من خلال أجهزة التحكم في أشعة الشمس مثل الكاسرات والرفوف

العاكسة للضوء، والتظليل على النوافذ الجنوبية وتحسين تغلغل ضوء النهار مع السماح لأشعة الشمس في الدخول إلى داخل المبني شتاءً وحجبها صيفاً (Ministry of Education and Training – Ontario, 2010).

ونظراً لظروف الأحوال الجوية في قطاع غزة وسيطرة المجال المعتمد في أغلب ساعات الدوام المدرسي، فتوجيه الغرف الصافية يكون قدر المستطاع نحو الشمال أو الشمال الشرقي للحصول على إضاءة طبيعية منتظمة مع تفادي دخول الوهج، و الحصول على التهوية الطبيعية، وأشعة شمس مباشرة خلال فصل الشتاء.

النسبة المئوية المثالية للفتحات لتحقيق أقصى قدر من تغلغل ضوء النهار حسب الدراسات خلال فصل الشتاء هي 40% من الجدار يوصى بها للجهة الجنوبية والشرقية والغربية، ونسبة 55% يوصى بها للجهة الشمالية وأن يكون صافي ارتفاع الغرفة الصافية 3م لتعظيم دخول الإضاءة النهارية (النمرة، 2004).

عدم التوجيه الأمثل أو قدر المستطاع إلى الاتجاه الأمثل بالنسبة للشمس والرياح سيسبب عدم راحة حرارية للفراغات الداخلية مما يزيد عبه الاعتماد على الإضاءة والتهوية الصناعية المعتمدان على الطاقة الكهربائية.

## 2- الغلاف الخارجي للمبني

تحسين كفاءة الغلاف الخارجي للمبني يعتمد على:

- عزل الرطوبة: عن طريق استخدام مواد خاصة عازلة لتسرب المياه والرطوبة من وإلى المبني، أهم العناصر التي يجب مراعاة عزل الرطوبة بها في الفراغات الداخلية هي الحمامات، أما الفراغات الخارجية هي عناصر المبني من أسقف وجدران خارجية وشرفات مثل الممرات المفتوحة.
- عزل الحرارة: من خلال استخدام مواد خاصة تمنع انتقال الحرارة من الداخل إلى الخارج و العكس بوسائل الانتقال الحراري المختلفة من توصيل و حمل و اشعاع.
- الجسور الحرارية: وهي نقاط الاتصال بين الداخل والخارج و تعمل على تسرب الحرارة من الداخل للخارج كما في النوافذ والأبواب فيجب تفاديتها أو عزلها.
- استغلال الطاقة المتتجدة: من خلال تصميم أنظمة الطاقة الشمسية لأغراض التدفئة والتبريد و تسخين المياه، واستخدام الخلايا الكهروضوئية لتوليد الطاقة الكهربائية بما يتناسب مع المظهر العام للمبني

الأداء الحراري لغلاف المبني له تأثير مباشر على كمية الطاقة المطلوبة للحفاظ على الراحة الحرارية، فيجب أن يولي أهمية خاصة عند تصميم غلاف المبني لتخفيض الآثار البيئية حتى لا يكون ذو تأثير سلبي لأن يجمع الحرارة صيفاً ولا يفقدها، وتتأثره بالهواء البارد شتاء .(Ministry of Education and Training – Ontario, 2010)

### 3- الإضاءة

الإضاءة من الشروط الأساسية التصميمية لسير العملية التعليمية بنجاح وتعزز أداء الطلبة في الدراسة، فهي تساعد الطلبة على الرؤية والتعرف على الأشياء وتهيئة ذهنه للتفاعل مع الأحداث، فتخلق شعوراً بالراحة البدنية والنفسية، ولا بد من تحقيق معايير الإضاءة من الناحية الكمية (شدة الإضاءة داخل الصنف 120-150 لوكس) والناحية النوعية (التشطيب الداخلي بألوان فاتحة تحسن جودة الإضاءة، وتجنب وجود أسطح عاكسة في الفراغات الداخلية)، أنواع الإضاءة في المدارس بشكل أساسي (النمرة، 2004).

#### أولاً: إضاءة طبيعية

يتم تحصيل الإضاءة الطبيعية الملائمة وذات توزيع متظم بالنسبة لقطاع غزة للغرف الصفية من خلال توجيه الفتحات نحو الشمال الشرقي أو الشمال.

#### ثانياً: إضاءة صناعية

مدارس قطاع غزة تعتمد بشكل كبير على الإضاءة الصناعية لأسباب عدة منها عدم التوجيه المناسب للغرف الصفية ، وجود فترات دوام عده وليس فترة دوام صباحية فقط، وسوء الأحوال الجوية بالشتاء (النمرة، 2004).

يفضل عند استخدام الإضاءة الصناعية الاعتماد على مصابيح فلورسنت ذات كفاءة عالية مع ضابط للتحكم ومجس لإغلاقها في حالة عدم وجود أشغال بالغرفة، لقليل تكاليف الكهرباء أو إضاءة LED وهي إضاءة صديقة للبيئة انتشرت مؤخراً وذات امكانية عالية لتوفير التكلفة التشغيلية مع إنارة عالية وعمر زمني طويل يتجاوز 15 عاماً (سعادة، 2014).

لتقليل التكلفة الناتجة وتوفير الطاقة الكهربائية المعتمدة عليها الإضاءة الصناعية يتم من خلال تعظيم استخدام الإضاءة الطبيعية النهارية عن طريق:

- تكامل عمليات التصميم في المراحل المبكرة
- استخدام رفوف الإنارة العاكسة والتشطيبات الداخلية لتحسين تغطية وتوزيع الضوء بشكل ملائم

استخدام أنابيب الطاقة الشمسية، والتي تعمل على تجميع ضوء النهار من السطح الخارجي المعرض للإضاءة ونقله إلى الفراغ الداخلي من خلال منشور يوزع الإضاءة، هذه الأنابيب ذو فائدة لأنها تعتمد على الإضاءة النهارية وحتى بالأيام الغائمة وليس أشعة الشمس (Ministry of Education and Training – Ontario, 2010) .

#### 4- التهوية

التهوية من المتطلبات الأساسية والصحية في تصميم المبني المدرسي ويجب دراستها في مراحل التصميم الأولى لخلق مناخ صحي وحراري مناسب للدراسة.

مدارس قطاع غزة تعتمد بشكل أساسي على التهوية الطبيعية من فتحات التوافذ من خلال التوجيه المناسب، ومساحة مروسة بحيث لا تقل عن 20% من مساحة الصف الدراسي، أما الاعتماد على التهوية الصناعية يكون من خلال المراوح الهوائية تركب بالأغلب في الغرف الصافية والمخصصة والإدارة بسبب ارتفاع الحرارة والرطوبة صيفاً، ونادراً يتم تركيب أنظمة التبريد والتكييف في الغرف الإدارية و الغرف المخصصة (النمرة، 2004م).

#### 5- التجهيزات الداخلية

يقصد بالتجهيزات الداخلية الأثاث المدرسي والوسائل التعليمية اللازمة لسير العملية التعليمية بنجاح ويسر، وتشمل الكراسي والطاولات والأجهزة الكهربائية والالكترونية، هنا سيتطرق الحديث عن الوسائل التعليمية المعتمدة على الكهرباء.

تتوارد الوسائل التعليمية المعتمدة على الكهرباء في الغرف المخصصة مثل غرف المختبرات العلمية وغرف الحاسوب من أجهزة وسبورات ذكية كلها لازمة لتطوير مهارات وقدرات الطالب ومواكبته للحديث والتكنولوجيا (النمرة، 2004م).

### 5.3 واقع الطاقة الكهربائية في قطاع غزة وأثرها على أداء المبني المدرسي

الطاقة من الموضوعات الهامة في حياة الفرد والأمم لتلبيتها الاحتياجات الاجتماعية والبيئية والاقتصادية، ونظرًا لأهميتها فقد استمرت اهتمام العلماء والباحثين في مختلف المجالات العلمية وتصنف حسب مصدرها إلى قسمين :

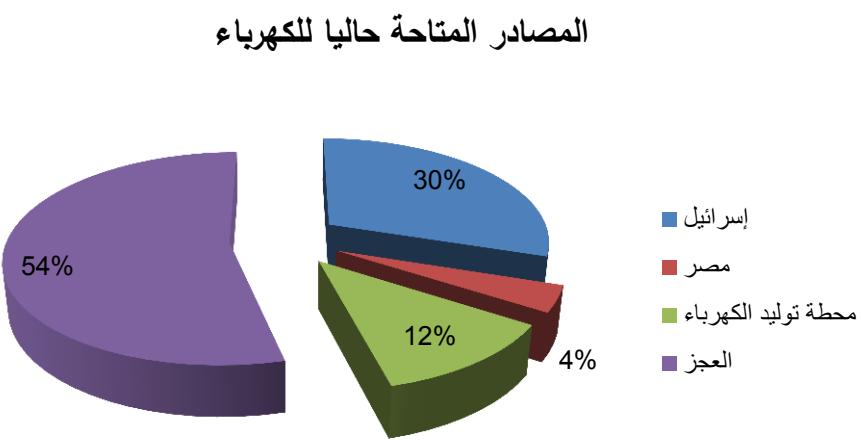
أولاً: مصادر الطاقة غير المتجددة: يعد الوقود الأحفوري المصدر الرئيس للطاقة التي يستخدمها الإنسان، ولكن المخزون من الطاقة في تناقص مستمر ويتوقع العلماء أن تنفذ هذه المصادر خلال عدة عقود مقبلة.

**ثانياً: مصادر الطاقة المتجددة:** تكون مصادر الطاقة المتجددة من مصادر الطاقة التي تستبدل بسهولة وبسرعة بحيث تشكل مصدراً لا ينفد للطاقة. وسيتم التركيز بالدراسة على الطاقة الناتجة من الشمس.

### 1.5.3 الطاقة الكهربائية وأزمتها في قطاع غزة

تعتبر الطاقة الكهربائية المحرك الرئيسي لهذه الحياة، فكافحة تفاصيلها اليومية تعتمد عليها، ويعتمد قطاع غزة على الطاقة الكهربائية المتولدة من الوقود والغاز الطبيعي بشكل أساسي لتلبية احتياجاته، ولكن يعاني القطاع من أزمة توافر الكهرباء بحسب سلطة الطاقة بسبب محدودية مصادر الطاقة الكهربائية عن تغطية العجز في الطلب المتزايد عليها، عدم توفر مصادر ثابتة لتزويد المحطة بالوقود بسبب عرقلة الاحتلال الإسرائيلي، وكذلك المواقف السياسية من مختلف الأطراف وإغلاق المعابر، وعدم القدرة على توفير ثمن الوقود اللازم لتشغيل المحطة بالكامل بسبب غلاء أسعار الوقود مع الضريبة الباهظة المفروضة عليه، وتزايد استهلاك الكهرباء والأحمال بشكل سنوي بنسبة 7% (أبو الروس، 2015).

كما ذكر سابقاً فالأزمة مرتبطة بالمشاكل السياسية وليس الفنية فقط، فبمقدار الكهرباء من الاحتلال الإسرائيلي ومصر، فخطوط الاحتلال الإسرائيلي تغذي القطاع بـ 120 ميجاواط وهو يمثل 30% من احتياج القطاع، بينما الخطوط المصرية تغذي بقيمة 20 ميجاواط أي بنسبة 4% من الاحتياج و تولد محطة توليد الكهرباء بنسبة 12% من الاحتياج أي ما يقارب 46 ميجاواط، وفي حين أن احتياجات القطاع ارتفعت من عام 2005 إلى عام 2016 من 214 ميجاواط إلى 450 ميجاواط، ومن المتوقع أن تصل لـ 830 ميجاواط عام 2020، مصادر الكهرباء مجتمعة في القطاع من الاحتلال ومصر والمحطة لا تزيد عن 186 ميجاواط بأفضل الأحوال، وهذا يعني هناك عجز ثابت للكهرباء يصل لـ 54% حتى مع عمل المحطة بكامل طاقتها وفي حال الاطفاء يتتوفر فقط 147 ميجاواط. كما يوضح شكل (3.6)، حالياً تقطع الكهرباء عن القطاع ما يزيد عن 12 ساعة مع 4 أو 6 ساعات وصل وسط تحذيرات من وقوع أزمة إنسانية (وزارة الإعلام الفلسطيني، 2016).



**شكل(3.6): المصادر المتوفرة حالياً للكهرباء في قطاع غزة**

يزداد العجز في توافر الكهرباء بسبب تعطل التوليد أو تعطيل أحد خطوط الاحتلال الإسرائيلي أو المصرية، أو مع تغير الأحوال الجوية، وعلى مدار السنوات السابقة سعت سلطة الطاقة مع الحكومة الفلسطينية إلى تنفيذ مشاريع زيادة الكهرباء لغزة، وتوفرت الموافقات الدولية والتغطيات المالية لهذه المشاريع، إلا أنها صدت من خلال العقبات والتعطيلات السياسية الخالية من أي اعتبارات فنية أو مالية أو حتى إنسانية. ومن هذه المشاريع:

- 1- الربط الإقليمي العربي بقدرة 300 ميجاواط على مرحلتين
- 2- خط الاحتلال الإسرائيلي الإضافي لغزة بقدرة 100 ميجاواط
- 3- خط الغاز المصري لمحطة توليد غزة (سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية، 2014).

### **2.5.3 البدائل المطروحة للتخفيف من أزمة الطاقة الكهربائية في قطاع غزة**

طرحت سلطة الطاقة عدة بدائل، يمكن تلخيصها بالنقاط التالية:(سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية، 2014)

- 1- إعفاء كامل لوقود محطة التوليد من الضرائب، وهذا من شأنه المساعدة على تشغيل عدد ساعات أكبر وقدرة أكبر.

2- تخصيص جزء من المنحة القطرية والمنح الأخرى لقطاع الطاقة، وتمويل الوقود بدون ضرائب، بما يضمن استمرارية التيار الكهربائي بشكل أفضل مما سبق.

3- البحث عن مصادر أخرى للطاقة، مثل الربط مع شبكة الاحتلال الإسرائيلي، أو إمداد محطة التوليد بخط غاز، وتوسيعة المحطة.

4- توجيه جزء من مشاريع إعادة الإعمار لتطوير قطاع التوليد والنقل التي تم إهمالها وتدميرها في الفترات السابقة.

5- توفير مشروع الربط من جانب الاحتلال على جهد 161 كيلو فولت، وذلك بهدف زيادة كمية الكهرباء الموردة من شركة الاحتلال الإسرائيلي بـ 100 ميجاواط إضافية.

6- على المدى البعيد، ترى سلطة الطاقة أن مشروع الربط مع الجانب المصري، سيزود القطاع بـ 600 ميجاواط على مرحلتين، مشيرة أنه تم إعداد الدراسة اللازمة والحصول على التمويل اللازم من البنك الإسلامي.

7- طالبت السلطة بمشروع خط الغاز من الاحتلال الإسرائيلي أو مصر لتشغيل محطة التوليد بكفاءة أكبر وتكليف أقل.

8- التوجه إلى مشاريع الطاقة البديلة والتي تساعد على إنتاج الطاقة الكهربائية والعمل على توفير التمويل لها، وشجعت الأفراد إلى هذا التوجه من خلال عدم فرض ضريبة على تركيب الخلايا الكهروضوئية.

وتري الباحثة أن أغلبية البدائل المطروحة سابقاً تتطلب تدخل وموافقة سياسية سواء من الاحتلال الإسرائيلي أو مصر، لذلك لا بد من ايجاد حل بديل للطاقة بدلاً من الطاقة التقليدية للتخفيف من عجز الكهرباء و الحصار المفروض على القطاع.

استغلال الطاقة الشمسية في المباني لتوفير الطاقة الكهربائية سيقلل من النفقات الازمة لتوليدها من المصادر التقليدية، حيث يمكن تركيبها أو تكاملها بالتصميم المعماري مع الواجهات والأسقف (الأسطح) للمباني أو مواقف السيارات أو أي مسطح معرض للشمس، والتفاصيل المعمارية من فتحات النوافذ والكافارات والبلكونات،

هنا يأتي دور السلطة في سن قوانين وأنظمة لتوجيه وارشاد ودعم الأفراد لاستغلال الطاقة الشمسية، وتطبيق نظام الطاقة الشمسية في مشروعات الاسكان وفي المباني الجديدة وامكانية

استغلال الطاقة الشمسية في انارة مؤسسات الدولة والتى تستهلك ما يقارب 30% من الطاقة على المؤسسات الحكومية والمدارس والمستشفيات.

يوضح جدول (3.4) يوضح نسب استهلاك الكهرباء في قطاع غزة في مختلف المباني (سكنى، صحي، تجاري، صناعي،...)، حيث يظهر أن مباني المؤسسات التعليمية من مدارس وجامعات تستهلك ما نسبته 0.8%， ويمكن توفير هذه النسبة بكفاءة نظراً إلى أن تحصيل الكهرباء من استخدام الخلايا الكهربائية في المؤسسات التعليمية والدولية والمالية سيكون أكثر كفاءة من تحصيلها في المباني السكنية والمستشفيات بسبب تشغيل المدارس في فترات متواجدة الشمس، على عكس المباني السكنية والمستشفيات التي يلزمها كهرباء لتشغيلها على مدار اليوم.

**جدول(3.4): إجمالي استهلاك الكهرباء في مباني قطاع غزة حسب وظيفتها**

نسبة الاستهلاك %	اجمالي الاستهلاك KWH	عدد المشتركين	نوع الاستخدام
%71.1	56866580	169250	منزلي
%6.6	5239956	12089	تجاري
%1.9	1560475	3362	زراعي
%3.9	3146296	3134	صناعي
%13.27	10628782	775	مرافق البلدية
%0.7	592896	746	اتصالات
%0.8	598484	497	مؤسسات تعليمية (مدارس، جامعات)
%0.41	331411	430	أبراج/ عمارات سكنية
%0.42	314636	410	جمعيات
%0.57	453458	265	مؤسسات دولية
%0.16	127853	196	سياحي
%0.17	139253	70	مؤسسات مالية ومصرفية
%100	80027081	191215	المجموع

المصدر : (شركة توزيع الكهرباء، محافظة غزة، 2017م)

وخلال التسع السنوات السابقة بدأ سكان قطاع غزة بالبحث عن حلول وبدائل لأزمة انقطاع الكهرباء من خلال اللجوء إلى الوحدات الكهروضوئية لتوليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية لاستخدامها في التخفيف من أزمة انقطاع الكهرباء المتفاقمة، والتقليل من الاعتماد

على المولدات الكهربائية عالية التكلفة وذات أصوات مزعجة وذات مخاطر قد تسبب الاحتراق فحسب مصادر طبية مسؤولة، توفي أكثر من 24 فلسطينيا غالبيتهم اطفال بسبب انقطاع الكهرباء اما نتيجة حروق سببها الشموع أو انفجار مولد الكهرباء ("استخدام الطاقة الشمسية"، 2016).

أدى ما سبق إلى تنافس شركات تجارية في قطاع غزة، على جذب الأفراد ومؤسسات رسمية وأهلية لتزويدهم بأنظمة الطاقة الشمسية كبديل في ظل أزمة الكهرباء المستمرة منذ 10 سنوات. وتقدم تلك الشركات جودة عالية وأسعار مخفضة، ومقطعة، فيما يقدر عدد الشركات التي تبيع تلك الأنظمة في قطاع غزة بنحو 40 شركة (رمانة، 2017).

تم تركيب الوحدات الكهروضوئية فوق أسطح المنازل والمستشفيات والجامعات وأعمدة الإنارة والمرافق العامة. فلم تكن جزءا مخططا في تصميم المبني بل حل لمشكلة، وبالرغم من بناء ابنية جديدة من مدارس وابراج ومشافي تم اضافة الوحدات الكهروضوئية على الأسطح دون دراسة دمجها مع التصميم المعماري وجودتها لتحصيل طاقة أكبر من مجرد تركيبها على الأسقف، مثل تكاملها مع الواجهات الجنوبية بتشكيل ملائم وظيفي وجمالي انظر شكل (3.7)



شكل(3.7): نماذج لبعض الوحدات الكهروضوئية المركبة على أسقف المبني في قطاع غزة

### 3.5.3 الطاقة الكهربائية وأثرها على العملية التعليمية في مباني المدارس الحكومية في قطاع غزة

أثر انقطاع الكهرباء لساعات متواصلة على مختلف مناحي الحياة في قطاع غزة المحاصر منذ أكثر من عقد من الزمن، ذاك التأثير شمل مختلف المباني من المنازل،

والمستشفيات، والمراكمز الصحية، والمياه، والصرف الصحي وكل المصالح الحيوية، وذات تأثير على أغلب شرائح المجتمع .

ينعكس هذا الانقطاع سلباً على قطاع التعليم ورسالته التنموية، بما يؤثر على القدرات التعليمية والتدريسية للطلبة والمعلمين وبالتالي سير العملية التربوية بالشكل السليم والأمثل داخل المدارس وفي مؤسسات التعليم العالي (المركز الفلسطيني للديمقراطية وحل النزاعات، 2012).

ولفتت وزارة التربية والتعليم إلى ما ناوله انقطاع الكهرباء ووصل من 4-6 ساعات على استكمال المسيرة التعليمية بالمدارس بشكل طبيعي كالتالي: (وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية، 2017)

- توافر إنارة الغرف الصيفية في النهار وخاصة في الفترة المسائية في فصل الشتاء التي تحتاج إلى كهرباء خاصة في المناطق المزدحمة سكانيا.

- تأثر عمل مختبرات الحاسوب والعلوم والتكنولوجيا وبعض المشاريع التعليمية والتدريب وطباعة أوراق العمل.

- عملية التواصل بين المدارس والمديريات والوزارة خاصة في البرامج المحوسبة مثل النشرات والتعليمات، وإعداد وطباعة الامتحانات.

- افتقار إمكانية استخدام الطرق الحديثة في التعليم.

- تشغيل مبني الوزارة والمديريات وإذاعة صوت التعليم.

- تشغيل المدارس المهنية والورش الخاصة بها.

- تشغيل محطات تحلية المياه التي تغذي ما يقارب من نصف مليون طالب في المدارس بالمياه الصالحة للشرب.

- احتياج لكميات من الوقود والمحروقات لتشغيل مولدات الكهرباء في مبني الوزارة وجميع المرافق التعليمية وهو عبء على الوزارة خاصة في ظل عدم توفر موازنات تشغيلية.

#### **4.5.3 مشاريع توليد الطاقة الكهربائية من الخلايا الكهروضوئية في مباني المدارس الحكومية في قطاع غزة**

خلال السنوات السابقة سعت وزارة التربية والتعليم خلال ساعات الفترة الدراسية إلى تخفيف حدة تأثير انقطاع الكهرباء على الطلبة والمعلمين، فقامت بتزويد بعض المدارس بالمولادات الكهربائية، والتي سببت الازعاج وغير النكفة العالية التي تتحملها، إضافة إلى كونها

ملوثة للبيئة، وحالياً هناك توجه عام نحو استخدام الخلايا الكهروضوئية في المدارس، في عام 2013 دشنت وزارة التربية والتعليم العالي في غزة بالتعاون مع الإغاثة الإسلامية أول مشروع لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في مدارسها في مدرسة إحسان الأغا الثانوية بنات- شرق خان يونس، للتغلب على مشكلة النقص الكهربائي اللازم لمدارسها انظر شكل (3.8)، حيث توفر الخلايا الكهربائية الازمة لعمل جميع مرافق المدرسة المختلفة بحيث تنتج ما يقارب من 20 كيلو واط من الطاقة الكهربائية، وهي كمية تكفي حاجة المدرسة بكافة مرافقها بما فيها الإذاعة المدرسية مختبر الحاسوب والمختبر العلمي، وإنارة الغرف الصفية خاصة في فصل الشتاء التي طالما اشتكي الطلبة والمعلمون من قلة الإنارة، وبباقي مرافق المدرسة، ويستغل الفائض في إنارة بعض الشوارع المحيطة بها وتشغيل عدد من مرافق مستشفى غزة الأوروبي (وكالة فلسطين الاخبارية، 2013م).



شكل(3.8): أول مشروع لتركيب خلايا كهروضوئية على أسطح مدرسة حسن الأغا لتوليد الكهرباء لكافة مرافق المدرسة  
 المصدر: وكالة فلسطين الاخبارية، 2013م)

وفي ديسمبر في العام نفسه وقعت وزارة التربية والتعليم العالي اتفاقية تعاون مع مؤسسة قطر الخيرية لتنفيذ مشروع تزويد مدارس بالوحدات الكهروضوئية، لعدد من مدارس الحكومة ومدارس وكالة الغوث بما لا يقل عن 10 كيلو واط/ ساعة حسب التصميم لكل مدرسة بمبلغ مليون وأربعين ألف دولار أمريكي (وكالة صفا الفلسطينية، 2013).

وتم البدء بتنفيذ هذا المشروع في ديسمبر 2016م و الانتهاء في سبتمبر 2017 على مدارس الحكومة التي بلغ عددها 14 مدرسة، جدول (3.5) يوضح أسماء المدارس وأماكن تواجدها وكمية الطاقة المتولدة منها بالكيلو واط بالساعة، الوحدات الكهروضوئية تولد الكهرباء لأهم

الفراغات الوظيفية وليس جميع مراافق المدرسة، حيث تبلغ قدرة الوحدة الكهربائية الواحدة على توليد 320 واط وبلغت تكاليف الوحدات مع ملزوماتها بحوالي 75-70 ألف دولار لكل مدرسة (هند ياسين، مقابلة شخصية، 15 نوفمبر، 2017).

جدول (3.5): مشروع تزويد 14 مدرسة حكومية بالخلايا الكهروضوئية في قطاع غزة

الرقم	اسم المدرسة	المكان	كمية الطاقة المتولدة من الخلايا الكهروضوئية KW	عدد الوحدات الكهروضوئية المركبة
1	مدرسة خليل الرحمن الثانوية للبنين	بيت لاهيا	24	75
2	مدرسة الكويت الثانوية للبنات	بيت لاهيا	22	69
3	مدرسة الشجاعية للبنات (ابتدائية وثانوية)	الشجاعية	24	75
4	مدرسة يافا الثانوية للبنين	غزة- شارع يافا	24	75
5	مدرسة فلسطين الثانوية للبنين	عزه- الرمال	22	69
6	مدرسة الكرمل الثانوية للبنين	غزة- النصر	22	69
7	مدرسة بلقيس اليمن الثانوية للبنات	غزة- ثل المها	22	69
8	مدرسة الرياض الثانوية للبنات	النصيرات	33.3	104
9	مدرسة خولة بنت الزور الثانوية للبنات	دير البلح	22	69
10	مدرسة محمود المبحوح الابتدائية للبنين	خانيونس	22	69
11	مدرسة طيبة الثانوية للبنات	خانيونس	24	75
12	مدرسة مريم فرات الثانوية للبنات	رفح	27.8	87

69	22	رفح	مدرسة محمد يوسف النجار الثانوية للبنين	13
104	33.3	غزة- النصر	مدرسة التقوى الثانوية للبنين	14

في أكتوبر م 2016 إلى أغسطس 2017 بدأت الإغاثة الإسلامية - فلسطين بتنفيذ مشروع انشاء وتشطيب مدرسة سعاد محمد الصباح ومدرسة لولوه عبد الوهاب القطامي بتمويل من الصندوق الكويتي للتنمية العربية الاقتصادية وإدارة البنك الإسلامي للتنمية بجدة وذلك ضمن مشروع انشاء وتشطيب خمس مدارس حكومية بقطاع غزة مع تزويد المدارس بالأثاث الفصلي والإداري والحواسيب والاجهزة المخبرية، ونظام حقن مياه الامطار بالإضافة على تركيب وحدات كهروضوئية بقدرة 10 كيلوواط انظر شكل (3.9).

وتحتوي كل المدرسة على 39 غرفة صفية وغرف الإدارة ومخابر العلوم ومخابر التكنولوجيا، والمكتبة والمصحف والملعب والمظلة والأسوار والبوابات والدورات الخارجية والحدائق لراحة الطلبة (الإغاثة الإسلامية- فلسطين، 2016م).



شكل(3.9): أحد مشاريع الإغاثة الإسلامية، مدرسة سعاد الصباح التي إنشاؤها عام 2017 وتم تزويدها بوحدات كهروضوئية على سطحها

بعد ادخال نظام الخلايا الكهروضوئية بات بالมقدور انارة الفصول، واستخدام المختبرات طيلة وقت الدوام المدرسي، فضلا عن اتاحة فرصة استخدام شاشات العرض (LCD) لتقديم عروض الفيديو، وكذلك تشغيل مختبرات الحاسوب.

وبعد نجاح هذه المشاريع بتخفيف أزمة انقطاع الكهرباء، تسعى وزارة التربية والتعليم إلى تركيب الخلايا الكهروضوئية على أكبر قدر من المدارس، ولكن هذا القرار مرتبط بالتمويل الخارجي لعجزها المالي، فالتمويل الخارجي والمنح تكون أحياناً تمويلاً كلياً لتركيب الخلايا الكهروضوئية لتحمل كافة العبء، وأحياناً جزئياً لتوليد الطاقة فقط لأهم الفراغات المحتاجة إليها مثل مختبر الحاسوب والمخابر العلمي وإنارة الفصول الدراسية.

ركبت جميع الخلايا الكهروضوئية في المدارس التي تم اختيارها للتمويل على الأسطح. وتم تخصيص غرفة لوضع جميع المعدات من بطاريات ومحولات تابعة لنظام الخلايا.

### 5.5.3 الحاجة للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي في قطاع غزة

بعد استعراض الجهدود التي تم بذلها في سياق تزويد مدارس قطاع غزة بالخلايا الكهروضوئية، نلاحظ أن هناك حاجة لتبني أنظمة الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني بالإضافة إلى تلك الموجودة على السطح، وذلك للمبررات التالية:

- الوحدات الكهروضوئية المركبة على المدارس غير مرئية ولا تدعم التشكيل المعماري للمبني، وفي كثير من الأحيان تكون مرئية وغير جذابة إن ركبت فوق بعضها.
- مساحة الأسفف ليست دائماً كافية لتعطيبتها بالألوان الكهروضوئية بسبب صغر بعض المدارس واختلاف شكلها وتوجيهها، فضلاً أن 40% من مساحة السقف مستغلة بواسطة من وحدة الدرج، وبراميل المياه، ووحدات السخان الشمسي.
- التوجه العام مستقبلاً لمدارس قطاع غزة يجب أن يتبنى مفاهيم المدارس الخضراء من استغلال الطاقة ومواردها، وترشيد المياه والحفاظ على البيئة وغير ذلك، ومن أحد المعايير التي يتبعها (LEED) في تقييم مبانيه لتسمى بمباني خضراء توافر حدائق الأسطح، فيحب التفكير قبل إنشاء هذه الوحدات الكهروضوئية على الأسفف على إبقاء مساحة محددة لزراعتها واستغلالها كحديقة سقف تعليمية للطلاب، فبذلك تعطي الخلايا الكهروضوئية المتكاملة فرصة لتوفير هذه الحديقة لكبر الواجهات الجنوبية للمدارس.

### 6.3 الخلاصة

تناول هذا الفصل نبذة عن قطاع غزة من حيث موقعه، وتاريخه، وعدد سكانه ومن ثم الحديث عن واقع قطاع التعليم في القطاع احصائياً، والتركيز على واقع المدارس الحكومية، والتطرق إلى الأنماط الشكلية السائدة للمدارس الحكومية، والمعايير التخطيطية والتصميمية للمدارس المرتبطة باستخدام الطاقة الكهربائية بسبب أزمة انقطاع الكهرباء بشكل متواصل عنها، حيث تم توضيح واقع قطاع الطاقة في القطاع وأزمته وعجزه، وأنه السلبي على سير المسيرة التعليمية بسلسة، وتم ذكر بعض الحلول للتخفيف عنها، حيث يتوجه الأفراد والمؤسسات مؤخراً إلى الاعتماد على استغلال الطاقة الشمسية عن طريق الخلايا الكهروضوئية لتوليد الكهرباء، وأخيراً تم استعراض لأهم مشاريع تطبيق الخلايا الكهروضوئية في المدارس الحكومية، وتوصل الفصل إلى أن العوائق السياسية تلعب دوراً أساسياً في عدم توافر الكهرباء، وبما أن المواطنين يتوجهون لشراء الخلايا الكهروضوئية لحل هذه الأزمة إلا أن إغلاق المعابر بشكل مستمر والتحكم بعملية استيراد هذه الخلايا مكوناتها تأثر سلباً على توافر أنظمة الوحدات الكهروضوئية.

الاهتمام المتزايد بتطبيق هذه المشاريع لاستغلال الطاقة الشمسية هو أحد مبادئ المدارس المستدامة الخضراء حيث تشكل نمطاً جديداً من أنماط المحافظة على البيئة باعتبار أن المؤسسات التعليمية من أهم المرافق الصديقة للبيئة، يمثل هذا الفصل تمثيلاً للتطرق لمفهوم المدارس الخضراء ومواصفاتها كحل بيئي مستدام يوفر من استهلاك والاعتماد على مصادر الطاقة البديلة لإمكانية تطبيقها قدر المستطاع على مدارس القطاع بما يتوافق مع ظروفه الاقتصادية والمناخية بدون التعارض مع المظهر الجمالي.

## **الفصل الرابع**

**حالات دراسية للخلايا  
الكهربائية المتكاملة مع  
المباني المدرسية الخضراء**

## **الفصل الرابع**

### **حالات دراسية للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسية الخضراء**

#### **1.4 المقدمة**

مع تصاعد الاهتمام العالمي بقضايا البيئة وتنامي المطالب بضرورة التصدي بفعالية للمشكلات البيئية الملحة وعلى رأسها مشكلة التغيرات المناخية والاحتباس الحراري المرتبطة بالثلوث، وال الحاجة إلى استغلال مصادر الطاقة المتتجدة وعلى رأسها الطاقة الشمسية، ظهر مفهوم المدارس الخضراء، بهدف تطوير المؤسسات التربوية بيئياً، فالإنسان هو هدف الاستدامة والتعليم أداة من أدوات تحقيق الاستدامة، ومن أهم ما يميز هذه المدارس الخضراء استخدام الخلايا الكهروضوئية لتوليد الكهرباء الالزمة لتشغيل المبني المدرسي.

سيتم في هذا الفصل استعراض حالات دراسية لمدارس خضراء تتضمن استخداماً للخلايا الكهروضوئية لتوليد الكهرباء، مع إعطاء مقدمة عن المدارس الخضراء من حيث مفهومها ومواصفاتها كمقدمة لذلك.

#### **2.4 نبذة عن المدارس الخضراء**

##### **1.2.4 مفهوم المدارس الخضراء**

بدأت العديد من دول العالم في الاهتمام بإنشاء المدارس الخضراء، وبصفة خاصة الدول الأوروبية، استجابة لدعوة مؤتمر الأرض الذي أقيم سنة 1992 في ريو دي جانيرو وكان إعلانه بشأن البيئة والتنمية يعتمد جدول أعمال القرن 21 من خلال تحديد حقوق ومسؤوليات الدول فيما يتعلق بهذه القضايا، من مبادئه:

- أن البشر في صميم الاهتمامات المتعلقة بالتنمية المستدامة، ويحق لهم أن يحيوا حياة صحية ومنتجة في وئام مع الطبيعة.

- أن يكون للدول الحق السيادي في استغلال مواردها الخاصة ولكن لا تسبب ضرراً لبيئة الدول الأخرى.

- القضاء على الفقر وتقليل التفاوت في مستويات المعيشة في جميع أنحاء العالم

- المشاركة الكاملة للمرأة أمر ضروري لتحقيق التنمية المستدامة.

- أن تعرف البلدان المتقدمة بالمسؤولية التي تحملها في السعي الدولي لتحقيق التنمية المستدامة في ضوء الضغوط التي تلقاها مجتمعاتها على كاهل البيئة العالمية والتكنولوجيات والموارد المالية التي تحت تصرفها (UN, 1997).

ويستنتج فيما سبق أن مؤتمر الأرض الذي ركز حول كيفية تأثير الإنسان على البيئة والمجتمع، وكذلك توصيات صندوق البيئة الأوروبي، ومن منطلق التأكيد على أهمية تطوير مفهوم التنمية المستدامة باعتبارها نقطة التقاطع لاحتياجات البيئة والاقتصاد والمجتمع، وهي ذات النقطة التي يدور في فلكها نظام التربية والتعليم، ومن ثم يجب أن يكون هذا النظام قطاعاً رائداً في الاتجاه العالمي لزيادة الوعي البيئي والتنمية المستدامة، التي من أبرز أسسها التأكيد على أهمية طول المدى للعملية التربوية، والأثر الإيجابي الذي يمكن أن تتحقق في الارتفاع بالوعي البيئي، فتم تعليم خطة المدارس الخضراء، بهدف تقييم المدارس وفقاً للمعايير البيئية فيما يتعلق بالعملية التعليمية والتربوية والإدارة والمنشآت وسبل التعامل مع الموارد الطبيعية (Sharma & Pandya, 2015).

هناك العديد من التعريفات للمدارس الخضراء منها (Ministry of Education and Training-Ontario, 2010):

1-تعريف مجلس مخطط المراقب التعليمية المدرسة الخضراء (CEFPI): هي مدرسة صحية صديقة للبيئة موفقة للطاقة وتهتم بصحة ورفاهية مستخدميها.

2-تعريف دائرة شؤون الأطفال والمدارس والأسر في المملكة المتحدة: هي مدرسة مستدامة تُعد الشباب لحياة مستدامة من خلال أساليب التدريس وبناء المجتمع والممارسات اليومية، ويجب إعطاء الأهمية لثلاثة عناصر وهي أنفسنا من خلال صحتنا ورفاهيتنا، الآخرين عبر تبادل الثقافات ، والبيئة محلياً وعالمياً.

3-وأخيراً يعرف "Gordon" (2010): بأنها نتيجة فعلية لعملية توافق الآراء في التخطيط والتصميم والبناء التي تأخذ بعين الاعتبار أداء المبنى خلال دورة حياته التي تقدر بين 50 و 60 عاماً، قادرة على توفير الهواء النقي النظيف، ومعدل درجات حرارة مريح (ارتفاع حراري)، والاضاءة الوفيرة، وموقعها بعيد عن أي موضوع غير مرغوب، وكفاءة استغلال الموارد، وتقليل التلوث البيئي، وتعليم الطلاب أهمية الابتكار في البيئة المبنية.

من أحد الأنظمة لتقدير أداء المدارس الخضراء نظام الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة أو اختصاراً (LEED) Leadership in Energy and Environmental Design هو

نظام دولي كمقياس تصميم وإنشاء وتشغيل مبانٍ مراعية للبيئة وعالية الأداء. حيث يقيم نظام التصنيف ويقيس أثر أي منشأة وأدائها، والتي تأخذ بعين الاعتبار عدة نقاط منها هي جودة الهواء في الأماكن المغلقة، والراحة الحرارية والصوتية للشاغلين، توفر الإضاءة الطبيعية، توفر الألواح الكهروضوئية، وزراعة الأسقف، وكفاءة استخدام المياه والطاقة والإضاءة الموفرة للطاقة، والتدوير و استخدام المواد منخفضة الانبعاثات وغيرهم.

يتم تصنيف المبني التي تناول هذه شهادة ال LEED إلى ثلاثة مراتب حسب تطبيقها للمعايير المطلوبة، وهي: المرتبة البلاتينية والذهبية والفضية (Boeing, Church, Hubbard,

Mickens, & Rudis, 2014)

يمكن تلخيص المدرسة الخضراء بأنها بناء مستدام بيئياً ومالياً واجتماعياً، وتحافظ على البيئة المحيطة وتعزز البيئة التعليمية وذو تكلفة تشغيلية قليلة على مدى عمر المبني و وتقلل من مصروفات الطاقة وتحولها إلى عناصر مفيدة للبيئة للمبني وشاغريه.

وبذلك إن المدارس الخضراء هي أبنية كأي مبنى شيد لأغراض تعليمية، لكن الفرق يكون في التزام المبني الأخضر في مراحله كافة، التي تشمل اختيار الموقع والتصميم والتخطيط والإنشاء والإدارة والتشغيل، فالمدرسة المستدامة ليست فقط تشمل مفهوم الاستدامة من تلبية احتياجات الجيل الحالي دون المساس بقدرة الأجيال المقبلة على تلبية احتياجاتها الخاصة (United Nations General Assembly, 1987) ولكنها في حد ذاتها أداة تعليمية للاستدامة.

## 2.2.4 مواصفات المدارس الخضراء

تشمل مواصفات المدارس الخضراء ما يلي (Ministry of Education and Training, Ontario, 2010):

### أولاً: استدامة موقع المدرسة

يشمل استدامة الموقع عدة أمور يجب أخذها بعين الاعتبار ويمكن تصنيف منها اختيار الموقع بشكل مناسب بحيث لا يكون مثلاً أرضاً زراعية أو محمية طبيعية، مع ضرورة الحفاظ على المناطق الطبيعية الموجودة في الموقع واستعادة المناطق المتضررة لتوفير وتعزيز التنوع البيولوجي، وأن يكون قريباً من خط نقل عام للمواصلات، وتوفير مراافق آمنة للدراجات والسيارات، وتوفير طرق آمنة للمشاة، مع ضرورة اختيار التوجيه الأمثل للمبني لخلق بيئة حرارية أكثر اعتدالاً.

## **ثانياً: كفاءة استخدام المياه**

خفض استهلاك المياه بنسبة 20% كحد أدنى عن طريق تجميع مياه الأمطار، وكفاءة الري، واستخدام المياه الرمادية وإعادة تدويرها.

## **ثالثاً: المواد والموارد**

من خلال اعتماد مبدأ التخفيض وإعادة الاستخدام والتدوير في مراحل بناء المبني وتشغيله، وتحديد تقنيات البناء ذات الطاقة المنخفضة، واستخدام المواد المعاد تدويرها، والمواد المحلية التي تتطلب الحد الأدنى من المعالجة، وتصميم المبني لعمر زمني طويل (ديمومة المبني) من خلال مرورته لتلبية الاحتياجات المستقبلية، واستخدام مواد ذات ديمومة وقدرة عالية على مقاومة الظروف الطبيعية وتحملها لأشعة الشمس واختلاف الرطوبة ومقامتها للكائنات الحية مثل الفطريات والحشرات.

## **رابعاً: البيئة التعليمية الداخلية**

في جميع مراحل تصميم البناء وتشغيله يتم النظر في نوعية البيئة التعليمية المطلوبة من خلال تحديد أنواع المركبات العضوية منخفضة الانبعاث، واستخدام أساليب البناء الإيجابي، وأنظمة تهوية فاعلة، وأيضا الحصول على أفضل الإطلالات والإتارة الطبيعية للغرف الدراسية وكذلك التهوية الطبيعية الأفضل وجود صوتية بدون أي ضوضاء وتحقيق راحة حرارية لشاغلي المبني.

## **خامساً: كفاءة استخدام الطاقة**

تستخدم المدارس الخضراء طاقة أقل بنسبة 33% مقارنة مع المدارس بسبب التحسينات في أنظمة الإضاءة ذات الكفاءة العالية وقليلة استهلاك للطاقة أداء، واستخدام أجهزة الاستشعار، وأنظمة التدفئة والتبريد ذات الفعالية، وعزل غلاف المبني، وتحقيق تصميم متكامل للمبني المدرسي ذو استهلاك طاقة أقل من خلال استخدام برامج الطاقة النمذجة للطاقة قبل عملية البناء، وهناك تدابير منخفضة التكاليف لزيادة كفاءة استخدام الطاقة وهي:

- تحسين العالف الخارجي للمبني:

يشمل تحسين كفاءة غلاف المبني عدة جوانب وهي عزل الرطوبة من خلال منع تسرب المياه من وإلى البناء، والعزل الحراري بحيث يتم استخدام مواد خاصة تمنع انتقال وتسرب الحرارة من الداخل إلى الخارج أو العكس بوسائل الانتقال الحراري المختلفة،

فاللأداء الحراري لغلاف المبني له تأثير مباشر على كمية الطاقة المطلوبة لحفظ على مبني مريح.

#### - الإضاءة:

من خلال استخدام مصابيح فلوريسنت ذات كفاءة عالية مع ضوابط للتحكم والمجسات في حال عدم وجود أشغال في الغرفة، وبالتالي تقليل تكاليف الكهرباء، وللحصول على أفضل توفير للطاقة يتم ذلك من خلال تعظيم استخدام ضوء النهار من خلال تكامل عمليات التصميم من المراحل المبكرة، واستخدام رفوف الإنارة العاكسة والأسقف العالية واختيار التشطيبات الداخلية المناسبة لتحسين تغلغل ضوء النهار، واستخدام أنابيب الطاقة الشمسية أو أنابيب الإضاءة Light Tube.

#### - التوجيه الأمثل للمبني:

لاستغلال الشمس والرياح بصور ايجابية في المبني والسيطرة عليهم عندما يشكلان مصدرا سلبيا. تأثير الشمس يمكن التحكم به بسهولة في المبني قليلة العرض ذات محور طولي بحيث تكون ضمن 15 درجة شرق/غرب بحيث تواجه النوافذ الجنوبية مع وجود أجهزة التحكم في دخول الشمس مثل الرفوف العاكسة للضوء والتظليل على النوافذ الجنوبية وتحسين تغلغل ضوء النهار وأيضا السماح للطاقة الشمسية في الدخول إلى داخل المبني شتاء وحجبها في فصل الصيف.

#### - أخيرا استغلال الطاقة الشمسية:

من خلال أنظمة الطاقة الشمسية لأغراض التدفئة والتكييف وتسخين المياه وبالإضافة لتوليد الطاقة الكهربائية وذلك لتخفيض الآثار البيئية والاقتصادية الناتجة عن مصادرها التقليدية، وهذا ما سيتم استعراضه في الحالات الدراسية التالية.

### 3.4 حالات دراسية لاستخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المدارس الخضراء

لا بد من استعراض بعض الحالات الدراسية العالمية في هذا المجال بغية استخلاص الأفكار وتوظيفها في المبني المدرسي في قطاع غزة وبما ينسجم مع مناخها الحالي، وذلك مواكبة التطور التكنولوجي العالمي وإيجاد مبني كفوءة طاقويا من جهة، وتحقيق أزمة انقطاع الكهرباء المتواصل وتحقيق الاعتماد على الوقود لتشغيلها من جهة أخرى.

سيتم عرض بعض النماذج لمدارس طبقت نظام BIPV، بحيث تكاملت الوحدات الكهروضوئية مع العناصر المعمارية المختلفة من واجهات، وأسقف، ومناور، وتراسات.

#### 1.3.4 مدرسة "أنيمو ليدرشب" الثانوية

تعتبر مدرسة "أنيمو ليدرشب" أحد النماذج المميزة للمدارس الخضراء، والتي استخدمت الخلايا الكهروضوئية كجزء من تصميم المدرسة بشكل ملفت، حيث أثرت بفوائدها على الجوانب البيئية والاجتماعية والاقتصادية.

أولاً: وصف المشروع (Green Dot Animo, 2013)

تصميم: مكتب "Brooks + Scarpa Architects"

الموقع: مدينة لوس أنجلوس، ولاية كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية

مساحة الأرض: 4970.3 م<sup>2</sup>

سنة البناء: 2012م

عدد الطوابق: 3 طوابق

عدد الطلبة: 525 طالب وطالبة

الكثافة الصفية: 28 طالب وطالبة

مستويات الدراسة: من الصف التاسع إلى الثانوية العامة

التكلفة: 14.3 مليون دولار

#### ثانياً: الفكرة التصميمية

صممت المدرسة على استراتيجيات المدرسة الخضراء الموفقة للطاقة، وتسمح بتوفير الإضاءة والتهوية الطبيعية دون استخدام أي تهوية أو تكييف صناعي، والحد من الإضاءة الصناعية والتكييف مع المناخ الجنوبي.

سمح التخطيط والتصميم المعماري للمدرسة على وفرة دخول الضوء الطبيعي، وتظليل نفسها من خلال تشكيل الكتل، وتحفيز تدفق مسارات الهواء المرغوب بها، وتم توجيه المبني على محور شرق - غرب كما هو موضح في شكل (4.1) وموضحاً أيضاً عناصر المدرسة، سبب التوجيه لاكتساب أقصى قدر من الإشعاع الشمسي من جهة الجنوب، وذلك للإضاءة النهارية وتسخين المياه من النظام الحراري الشمسي وتوليد طاقة كهربائية لمراافق المدرسة من خلال الوحدات الكهروضوئية التي تم تركيبها.



شكل(4.1): المساقط الأفقية للمدرسة موضحاً توجيهها وعناصرها

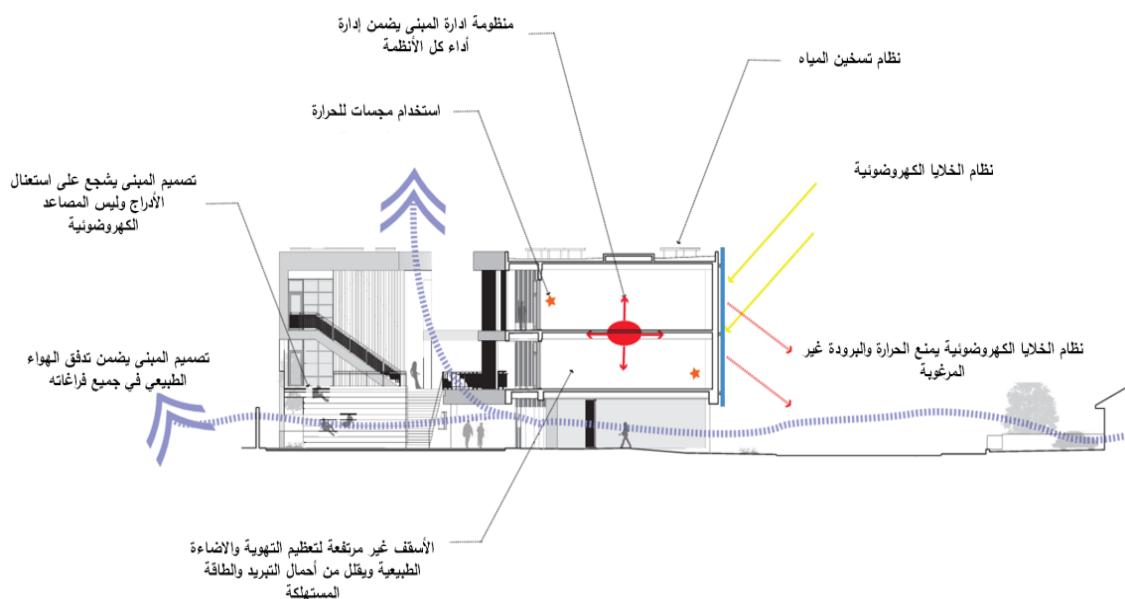
(المصدر: Green Dot Animo, 2013)

بالمختصر المدرسة صممت على مبادئ الطاقة الشمسية السلبية (passive solar principles)، فبدلاً من إنشاء كتلة مبني ضخمة تم إنشاء المبني حول فناء داخلي كبير للاستفادة من مناخ كاليفورنيا، وتعزيز ادماج المبني مع الطبيعة، وبدوره تحسين كمية الضوء والتقويم الطبيعي مما يحد من الإضاءة الداخلية الإضافية وتكييف الهواء، شكل (4.2) يوضح احتضان المبني للفناء، وشكل (4.3) يظهر تكامل المبني مع المحيط البيئي وتحقيق التصميم السلبي والفعال فتم تركيب وحدات كهروضوئية على واجهته الجنوبية للاستفادة من أشعة الشمس وتظليل الفصول وتم تقليل الفتحات الزجاجية في الواجهة الغربية، وتركيب كاسرات شمس رأسية و كاسرات شمس أفقية لفتحات الواجهة الشرقية، هذه الإجراءات قللت بحوالي 75% من احمال التدفئة والتبريد للمدرسة .(Borgobello, 2013)



**شكل(4.2): كتل المبني المدرسي واحتضانها للفناء الداخلي**

(المصدر: Green Dot Animo, 2013)



**شكل(4.3): تكامل التصميم الفعال والسلبي في مبني المدرسة**

(المصدر: Green Dot Animo, 2013)

### ثالثاً: تطبيق نظام BIPV في المدرسة

#### شكل التكامل: السقف و الواجهة جنوبية

وصف النظام: تم تركيب وحدات الكهروضوئية على سقف المدرسة باتجاه الجنوب، وعلى الواجهة الجنوبية، بواقع 200 لوحة كهروضوئية على السقف و 650 لوحة كهروضوئية على الواجهة الجنوبية لغرضين اكتساب أكبر قدر من أشعة الشمس، وتنظيم الحرارة والبرودة والاضاءة (نظليل للفصول) انظر شكل (4.4).

تولد الوحدات الكهروضوئية 100% من الطاقة اللازمة لتشغيل جميع فراغات المبني، وتنتج 126 كيلو واط ساعة، الوحدات على السطح تولد 25% والواجهة الجنوبية 75% (Green dot, 2013 ..).

هذه الاعتبارات التخطيطية والتصميمية يتوقع أن تقلل من انبعاثات الكربون بـ 1.36 مليون كيلوغرام، أي ما يعادل الانبعاثات السنوية من أكثر من 1000 سيارة ( Borgobello, 2013 ).



شكل(4.4): تكامل الخلايا الكهروضوئية مع الواجهة الجنوبية للمدرسة

(المصدر: Green Dot Animo, 2013)

#### **رابعاً: تقييم المشروع والنتائج المستخلصة**

- يشبه مناخ الجزء الأكبر من الولاية مناخ البحر الأبيض المتوسط حيث فصل الشتاء بارد ممطر والصيف جاف، وهذا مشابه بمناخ قطاع غزة.
- تعتبر مدرسة "أنيمو ليدرشب" نموذج مميز للتصميم المستدام والمدارس الخضراء الصديقة للبيئة.
- المدرسة حققت الاستدامة في التصميم المعماري لمبانيها وفي التصميم البيئي لموقعها الخاص، وطاعت الوحدات الكهروضوئية بالمبنى بشكل عصري يتناسب مع التصميم ويزيد من جماله وأصالته وبذلك حققت نظام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبنى.
- الاستفادة القصوى من الإضاءة النهارية وتيارات الهواء المرغوب بها للفراغات الداخلية
- استغلال الطاقة الشمسية من خلال النظام الحراري بتسخين المياه المغذية لدورات المياه والمطابخ والمخابرات
- استغلال الطاقة الشمسية من خلال الوحدات الكهروضوئية وفر من استخدام مصادر الطاقة البديلة بشكل تام وتم توليد الكهرباء بشكل صديق للبيئة بدون أي انبعاثات مضرية لها.
- الوحدات الكهروضوئية تكاملت مع التصميم المعماري ولم تكن مجرد تقنية أضيف فيما بعد لحل مشكلة، بل جزء من وظيفة وجمال المبنى ككل.
- استخدام أجهزة استشعار عن بعد ومجسات لإطفاء وتشغيل الإنارة الصناعية حسب وجود شاغري بالفراغ واستخدام أجهزة وأنواع إضاءة قليلة استهلاك الكهرباء، يعتبر جزء هام في تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية
- نظراً لـكبير أسطح المدارس وواجهاتها فإن استغلال غلاف المبنى ليكون جزء من النظام الكهروضوئي سيولد طاقة كهربائية تسد حاجة المدرسة لأي مصادر طاقة أخرى، يمكن تطبيقها في مدارس قطاع غزة القائمة و المراد انشاؤها لتوليد الكهرباء بشكل يتكامل مع التصميم.

#### **"Westborough Primary School" 2.3.4 مدرسة ويستبوروغ الابتدائية**

المدارس تنتج حوالي 15% من انبعاثات الكربون في المملكة المتحدة، ومن منطلق أن المدارس تحمل مسؤولية بيئية ومجتمعية للحد من آثار الكربون، كان لابد من وجود برامج بناء وتجديد المدارس بطريقة مستدامة وبأسعار معقولة ومنخفضة الكربون.

تم إنشاء مدرسة "ويستبوروغ" عام 1915 من الطوب الأحمر ومرت منذ إنشاؤها بالعديد من الإضافات والتغييرات على هيكلها العام لاستيعاب المتطلبات الأكademie الجديدة، آخر عملية

للمدرسة في عام 2012 وهي بحد ذاتها فرصة تعليمية لتعزيز المجتمع و مفهوم المدرسة الخضراء المستدامة (Westborough Primary School, 2011).

### أولاً: وصف المشروع

تصميم: مكتب " Cottrell & Vermeulen"

الموقع: ضاحية ويستكليف، المملكة المتحدة البريطانية

مساحة المبني : 2328 م<sup>2</sup>

سنة اكتمال البناء: 1915م وتم تجديد جزء منها عام 2012

عدد الطوابق: طابقين

عدد الطلبة: 638 طالب وطالبة

الكثافة الصفية: 32 طالب وطالبة

مستويات الدراسة: المرحلة التحضيرية إلى الصف السادس

تكلفة تجديد المدرسة: 1.6 مليون دولار

### ثانياً: الفكرة التصميمية

تسعى المدرسة للوصول على بناء مستدام لا ينتج أي انبعاثات كربونية (zero carbon school)، لذلك كان لابد من وضع نهج بيئية لتجديدها، وكانت بعض الأفكار مستوحاة من الطلبة للوصول لمبني مستدام بيئياً مستقبلاً. واستند النهج المتبعة في تجديد المدرسة هو خفض الطلب على الطاقة من خلال تحسين عزل غلاف المبني من أسقف وجدران وفتحات، وتقادي تيارات الهواء غير المرغوبية، وتحسين كفاءة الإضاءة الطبيعية والصناعية وتزويد المدرسة بالكهرباء الازمة لفراغاتها بمعداتها عن طريق نظم الطاقة المتتجدة من تركيب خلايا كهروضوئية، وخلايا شمسية للتడفئة، واستخدام نظام الكتلة الحيوية (Biomass system) كمصدر أساسى للحرارة من خلال حرق قطع الخشب، ويفتهر الشكل التالي الموقع العام للمدرسة والجزء الذي تم تجديده باللون الأحمر (4.5).

ولتوفير استهلاك الطاقة الكهربائية تم استخدام ضوابط للإنارة وأي نظم كهربائية أخرى .(Westborough Primary School, 2011)



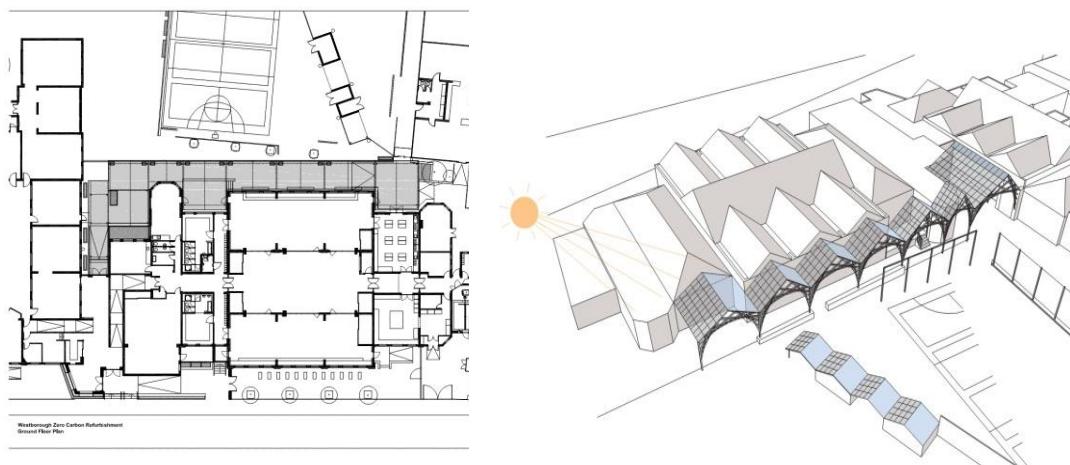
شكل(4.5): الموقع العام للمدرسة وتم تحديد الجزء الذي تم تجديده

(المصدر: Westborough Primary School, 2011)

### ثالثاً: تطبيق نظام BIPV في المدرسة

#### شكل التكامل: مع مظلات الممرات

**وصف النظام:** تم دمج 400 م<sup>2</sup> لوحات من الخلايا الكهروضوئية في تصميم مظلة الممر يستخدمه الطلبة للتنقل بين الغرف الصفية، فشكّلت جزءاً من هيكل بناء المظلة، وليس تركيبها فوقها فحسب بعد إنشاؤها وبذلك توفرت مواد البناء، وتم وضعها لتواجه الجهة الجنوبية كما يبيّن شكل (4.6)، وتولّد حوالي 100 كيلوواط ساعة بالمتر المربع الواحد. المظلات الكهروضوئية وفرت 70% من الكهرباء اللازمة لتشغيل المبني، وإلى خفض انبعاثات الكربون بمقدار بكمية 17 ألف كغم سنوي .(Holden,2015)





**شكل(4.6):** دمج الخلايا الكهروضوئية في مظلات الممر بين الصفوف

(المصدر: Westborough Primary School, 2011)

#### رابعاً: تقييم المشروع والنتائج المستخلصة

- من المعروف أن مشاريع التجديد أكثر تعقيداً وتكلفة مقارنة ببناء مشروع جديد ولكن بسبب أن مشاريع المنشآت البناء الجديدة يمكن أن تتبع منها أكثر من أربعة أضعاف كمية ثاني أكسيد الكربون من عمليات التجديد الشاملة، لذلك اتبع منهاج تجديد المدرسة بدلاً من هدمها وانشائها مجدداً نظراً للتأثيرات البيئية الناجمة.
- عزل جميع عنصر غلاف المبني من أرضيات وأسقف وجدران وفتحات وعزل أي تسرب هوائي من الفتحات، له دور كبير في حفظ الطاقة لأمور التدفئة والتبريد في كلا الفصلين الشتاء والصيف وبالتالي خفض استهلاك الطاقة الكهربائية.
- عزل أنابيب المياه الساخنة وأنابيب التدفئة حد من الخسائر الحرارية وتحسين السيطرة على تسخين الفراغات
- الاعتماد على مصادر الطاقة المتجدددة، مثل الكتلة الحيوية هي وسيلة لتلبية مطالب التدفئة للمدرسة، والطاقة الشمسية لتسخين المياه و توليد الكهرباء.
- لتوفير كمية الطاقة الكهربائية المنتجة من الوحدات الكهروضوئية تم استخدام أجهزة ومعدات ذات كفاءة عالية وقليلة الاستهلاك للطاقة مثل استخدام أضواء الفلورستن T5، واستخدام أجهزة الاستشعار لضوء النهار المستخدمة للسيطرة على الإضاءة في الفصول الدراسية.
- استخدام الخلايا الكهروضوئية في الأجزاء الخارجية للمبني لتحمل محل مواد البناء التقليدية وتم تسقيف الممرات بالوحدات الكهروضوئي لتحمل محل ألواح الخشب.

- حق تكامل الخلايا الكهروضوئية مع تصميم المظلات فائدة اقتصادية لنظام استخدام الطاقة الشمسية بالإضافة إلى الحصول على معلم مثير في تصميمه.
- تميزت الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع أسقف ممرات المدرسة بقدرتها على توفير الظل حيث كانت شبه شفافة وتحمي من الأمطار ونقلبات الطقس فيمكن التنقل بين الفراغات الصفية بأريحية، انظر إلى الشكل (4.7).
- أشكال الخلايا وأنواعها وألوانها ودرجة شفافيتها تلعب دور في تعزيز التكامل مع التصميم المعماري للمبني واعطائه لمسة فنية وتقنية خاصة.



شكل (4.7): الخلايا الكهروضوئية الشبه شفافة توفر الظل للطلبة للتنقل واللعب في الممرات  
(المصدر: Westborough Primary School, 2011)

### 3.3.4 حضانة ومدرسة "كاثلين غريم" الابتدائية "The Kathleen Grimm School"

تعد مدرسة "كاثلين غريم" الابتدائية في نيويورك أفضل وأول الأمثلة عن المباني التعليمية ليس من ناحية توفير بيئة صحية مناسبة للطلبة فحسب بل أيضا بتقديمها حلولاً جذرية وبكونها مثالاً رائعاً عن الأبنية الخدماتية عديمة الاستهلاك للطاقة (Net zero energy school)، بحيث

يُحصد المبني الكثير من الطاقة من المصادر المتجددة في الموقع دون الاعتماد على مصادر الطاقة من الوقود الأحفوري .

### أولاً: وصف المشروع

تصميم: مؤسسة "The SOM"

الموقع: جزيرة ستاتن في ولاية نيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية

مساحة المبني :  $6317 \text{ م}^2$

سنة اكتمال البناء: 2015م

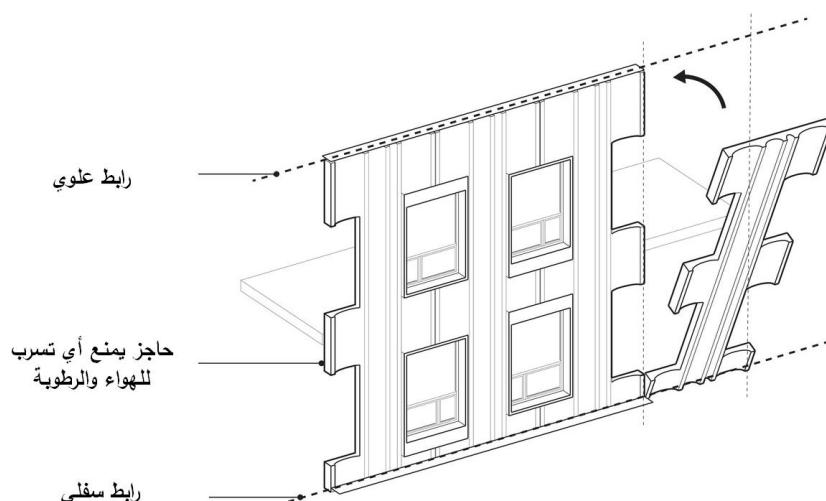
عدد الطوابق: طابق أرضي فقط

عدد الطلبة: 444 طالب وطالبة

مستويات الدراسة: من المرحلة التحضيرية للصف الرابع

### ثانياً: الفكرة التصميمية

تم تصميم المدرسة وكأنها تطفو فوق الملعب العشبي ، النظام الإنثائي كان من وحدات خرسانية مسبقة الصنع تم تركيبها بالموقع، وظللت من الجهة الشمالية الشرقية كما غطت الواجهة الغربية بكاسرات من الألواح الخرسانية، كل لوح يرتفع نحو 9.1م ويثبت من الأعلى والأسفل لتشكيل غلاف ذو شقوق ضيقة لتقليل كميات الهواء والرطوبة الداخلة غير المرغوب بها انظر شكل (4.8).



شكل(4.8): الألواح الخرسانية المكونة لحوائط مبني المدرسة

(المصدر: The Kathleen Grimm School, 2016)

تقطع الواجهة نوافذ ذات ثلاث طبقات من الزجاج، محددة ضمن إطار زاهية الألوان. النوافذ الواسعة و الفناء والفراغات الداخلية والفتحات السماوية توصل كمية واسعة من الضوء إلى الصفوف المدرسية، فتؤمن بذلك 90% من كل الاحتياج الصوتي اللازم، يوضح شكل(4.9) وصول الإضاءة الطبيعية خلال النهار إلى أغلب الفراغات الداخلية من خلال الفتحات بفضل التوجيه الصحيح للمبني. يحفز تأثير هذه الإضاءة الطبيعية عن طريق استخدام الجدران البيضاء أو فاتحة اللون والأرضيات الفينيلية "Vinyle Tile" ودراسة أنواع خصائص ألواح السيراميك المثبتة على الجدران والأسقف المستعارة.



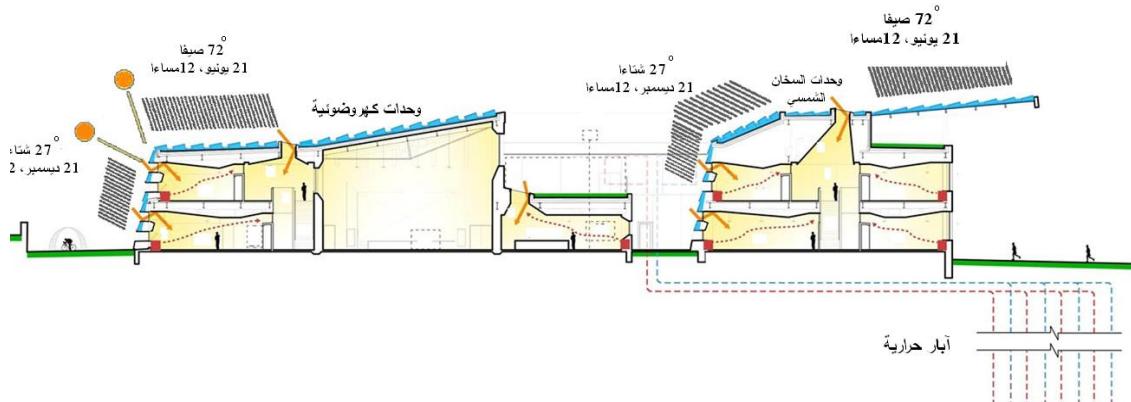
شكل(4.9): فتحات الأسقف وفتحات النوافذ الكبيرة تسمح بتغلغل ضوء النهار إلى فراغات المدرسة الداخلية  
(المصدر: The Kathleen Grimm School, 2016)

ويضخ الهواء إلى داخل المدرسة عبر نظام تهوية يعتمد على الهواء الخارجي، كما يتميز هذا النظام بكونه مجدد للطاقة وحياته على نظام للتحكم بالرطوبة. حفر أسفل الملعب الرياضي

80 بئرا حراريا للاعتماد عليها كمصادر أساسية للتدفئة، وتحتوي المدرسة على فناء داخلي للاستفادة من أشعة الشمس من حيث ضوء النهار، واستغلال الاشعة من خلال الوحدات الكهروضوئية لتوليد الكهرباء على لواجهات الجنوبية والاسطح و تركيب نظام حراري شمسي للمياه الساخنة ولأمور لتدفئة على الاسطح كما في الشكل (4.10).

تشمل المدرسة أغلب سمات المدارس الخضراء من حيث استغلال الطاقة الشمسية بكفاءة، وحصاد مياه المطر وكما تم تركيب توربينات هوانية والاستفادة من آبار حرارية أرضية "Geothermal wells" لأمور التدفئة، ومصادر أخرى للطاقة النظيفة كما ذكر سابقا.

كما تم تثبيت أجهزة تحكم في كامل المدرسة بهدف قياس الطاقة الحقيقية المنتجة والمصروفة. تحتوي المدرسة بالإضافة إلى الفراغات الواجب توافرها بكل مدرسة إلى كافيتريا، وصالات رياضية، ومكتبة عامة يمكن الوصول إليها من مجتمع ساندي غروندا، وحديقة خضراء في الفناء ، تخلق المدرسة فرصة لمشاركة أفراد المجتمع لمحي مع الخدمات التي تقدمها المدرسة والمشاركة بأي فعاليات خاصة بالمدرسة أو المجتمع من خلال فراغاتها.



شكل(4.10): الاعتماد على الآبار الحرارية والوحدات السخان الشمسي للتدفئة ، واستغلال الطاقة الشمسية من خلال الوحدات الكهروضوئية المدمجة مع غلاف المبنى  
(المصدر: The Kathleen Grimm School, 2016)

### ثالثاً: تطبيق نظام BIPV في المدرسة

#### شكل التكامل: السقف و الواجهة جنوبية

**وصف النظام:** تم تصميم المدرسة لتنتج على مدار العام طاقة تغطي مقدار صرفها السنوي من خلال استغلال الطاقة الشمسية بتركيب وحدات كهروضوئية بمساحة  $6300 \text{ m}^2$

الواجهة الجنوبية وتمتد على سقفها وتغطي جزء من الملعب، بالإضافة إلى 400 لوح كهروضوئية كمظلة لموقف السيارات، وتولد ما يقارب 662 ميغاواط. ساعة من الكهرباء. المدرسة تستهلك طاقة أقل تقدر بنصف الطاقة المطلوبة لتشغيل المدارس وذلك حسب الأسس والنظم الضابطة لتصميم وإدارة المدارس في مدينة نيويورك.

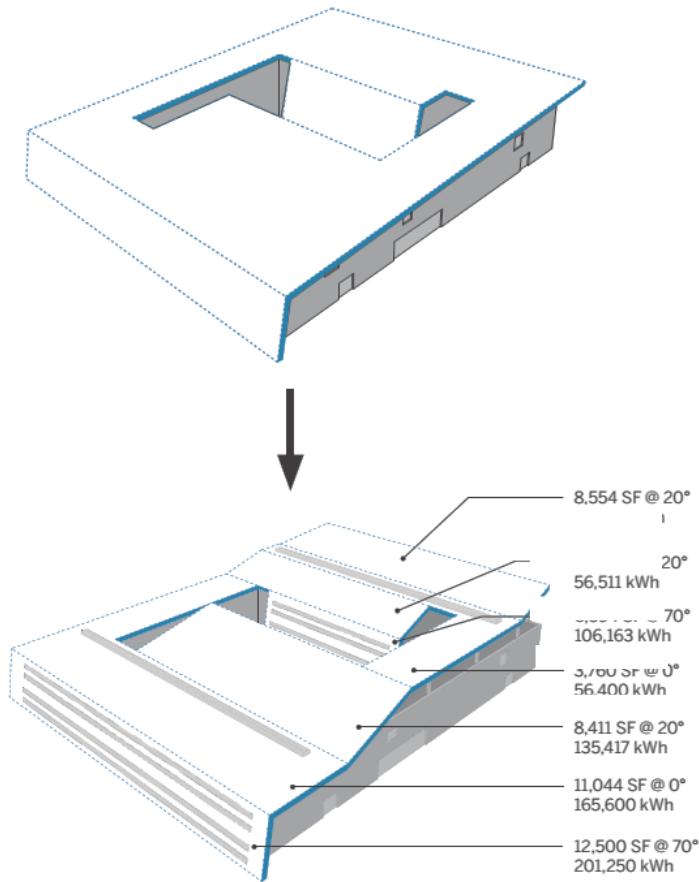
وبدلاً من فصل اللوحات، تم التعامل معها على هيئة لوحة واحدة متلاصقة بإحكام وتميل بزاوية واحدة معاً، فالأسطح الرأسية والأفقية الكهروضوئية تكمل بعضها البعض لتزويد الطاقة اللازمة في جميع أنحاء المدرسة.

وقبل تنفيذ المشروع تم الانتهاء من النموذجة المحوسبة لضمان أن الطاقة الصادرة من النظام الكهروضوئي ستنتج سنوياً ما يقارب 685 ميغاواط ساعة سنوياً وأن مقدار الطاقة المنتجة أكثر من مقدار الطاقة المستهلكة انظر شكل (4.11) و شكل (4.12)



**شكل(4.11):** دمج الخلايا الكهروضوئية في غلاف المبني الخارجي في الواجهة الجنوبية والأسقف وسقف موقف السيارات

(المصدر: The Kathleen Grimm School, 2016)



**شكل(4.12):** كمية الطاقة الناتجة من كل مجموعة من الألواح الكهروضوئية حسب موقعها في غلاف المبني

(المصدر: The Kathleen Grimm School, 2016)

#### رابعاً: تقييم المشروع والنتائج المستخلصة

- توجيه الفصول الدراسية كان على محور شرق - غرب، بحيث كانت الفصول الدراسية تواجه يا جهة الجنوب أو الشمال لخلق ظروف مثلى ل توفير أقصى قدر من الوصول إلى الضوء والهواء.
- مدرسة تعتبر مدرسة كاسبة للطاقة أي أنها تنتج طاقة أكثر من التي تستهلك وهذا نتيجة استغلال مصادر الطاقة المتجددة وكفاءة التقنيات المستخدمة وأساليب التصميم المعماري البيئي في تشييد مبني المدرسة.
- ركز مشروع المدرسة بشكل كامل على فكرة الاستدامة ليس فقط من ناحية تصميمه المعماري والبيئة الصحية الملائمة للتعليم التي يخلقها بل أيضا من خلال المناهج الدراسية العلمية المقدمة للأطفال، فالتفكير المستدام فكر شامل يقوم على عدد كبير من المفاهيم التي يتوجب

علينا سوي العمل بها وإدراجهما في روتين الحياة اليومية وتطبيقها ما أمكن في جميع المشاريع المستقبل.

- الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع مبني المدرسة ومظلة موقف السيارات كانت جزءا لا يتجزأ من التصميم، فشكلت مزيجاً أفضل وأكثر جاذبية من الناحية الجمالية من خيارات أخرى مختلفة للطاقة الشمسية.

- الوحدات الكهروضوئية المتكاملة شكلت عباءة لتعطية مبني المدرسة وموقف السيارات وجزء من الملعب ضد تقلبات الطقس، وتوفير الظل للحماية من أشعة الشمس وكذلك الحماية من الرياح والأمطار، وبسبب كونها مقاومة كهربائية لذا فيمكنها الحماية من البرق.

- عندما يكون الطقس بارداً أو حاراً فإن الوحدات المترادفة معاً تعمل بمثابة عازل حراري من خلال طبقة الهواء التي تخلل هذه الوحدات، وكذا من خلال امتصاص الأشعة التي يقوم بها السليكون البلوري وطبقة رقيقة للخلايا الشمسية، وهذا يعني أن مقدار قليل من الطاقة تهدر من فقدان الحرارة من الداخل، وبذلك خفض تكاليف التدفئة والحفاظ على درجة الحرارة في الداخل في الدرجة العاديّة.

- الوحدات الكهروضوئية أدت إلى تشييد مبني مدرسي عصري جميل، فمرونة هذه الوحدات من الممكن أن تكون ذخراً لخيال مهندسي المعمار ومن ثم فسوف ينتج عن ذلك مباني أكثر جمالاً وفي الوقت ذاته صديقة للبيئة.

- كل ما سبق يوضح سبب كون المشروع مثلاً يحتذى به في بناء المدارس وبسب اعتباره أول مختبر حي للاستدامة في مدينة نيويورك.

#### 4.4 الخلاصة

يتضح مما سبق أن تصميم المدرسة الخضراء هو تطوير مرفق صديق بيئياً وصحيحاً ويقلل من استهلاك الطاقة ويعزز العملية التعليمية، وهي مفهوم جديد يضم العديد من الميزات المختلفة التي تشمل:

- كفاءة استخدام الطاقة وهي عدة حلول تخص الطاقة التي يحتاج إليها المبني وتتوفر الاستهلاك، كاستخدام بعض منظمات الطاقة الحديثة، والاستفادة من الطاقة البديلة كالرياح والطاقة الشمسية.

- الحفاظ على المياه والموارد الطبيعية

- مبادئ سليمة لإدارة النفايات

- تحقيق بيئة داخلية صحية نظيفة
- الإضاءة الطبيعية والتهدئة الطبيعية
- كفاءة الصيانة والتشغيل
- تعزيز المشاركة الجماعية فهي مبادر شاملة للمدرسة بأكلها من طلبة وملئين وأولياء أمور ، وتعمل على ربطهم بالمجتمع، من خلال شبكة واسعة لتعزيز جهود الاستدامة البيئية.

فالمدارس في المستقبل، لابد أن تتحول إلى مصانع الابتكار والإبداع، وأن تكون بكل مراافقها وأجهزتها وโคادرها، تستند على البناء الأخضر.

ركزت الدراسة على كفاءة استخدام الطاقة الشمسية وكيفية استغلالها لتوليد الطاقة الكهروضوئية للمبني المدرسي وامكانية دمجها بالتصميم المعماري بالمراحل الأولى بدون الشعور كأنها دخيلة على كتلته بدون أي فائدة جمالية، بحيث يمكن أن تمثل تشكيل وترتيب الوحدات الكهروضوئية فكرة تصميمية تحقق الوظيفة والجمال والأصالحة بشكل عصري حديث.

حيث بينت الحالات الدراسية أنه يمكن تركيب الأنظمة الكهروضوئية في المبني بطرق مختلفة وتعود بمنافع طاقوية كبيرة في البلدان ذات المناخ البارد وبذلك فإمكانية تطبيقها في بلدان الشرق الأوسط بشكل عام وفي قطاع غزة بشكل خاص الذي يعاني من أزمة الكهرباء ستعود بنتائج مرضية نظراً للتعرض لساعات الإشعاع الشمسي الجيد على مدار السنة، حيث يمكن تثبيت هذه الأنظمة ودمجها على السقف أو على الحوائط الخارجية للمبني، هذا بالإضافة لإمكانية استخدامها كمادة تشطيب خارجية أو كمظلة للمطر أو ككسرات لأشعة الشمس، وهناك العديد من الأمثلة الناجحة في الوطن العربي لمشاريع تجارية وإدارية وسكنية تتبع هذه الأنظمة وتم توظيفها وفق البيئة المناخية المحلية لحفظ الطاقة مع مواكبة التطور التكنولوجي. إمكانيات تكامل الخلايا الكهروضوئية مع المبني بمختلف عناصر المبني سيتم دراستها في الفصل القادم باستخدام النماذج على عدة بدائل تصميمية لمدارس ذات أشكال وتوجيهات مختلفة.

## **الفصل الخامس**

**تقييم أداء الخلايا الكهروضوئية**

**المتكاملة مع المبنى المدرسي**

**باستخدام التمثيل المح osp**

## الفصل الخامس

### تقييم أداء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي باستخدام التمثيل المح osp

#### 1.5 المقدمة

المشاكل الحاصلة في أدائية المبني بشكل عام لا يتم اكتشافها عادة إلا بعد تشغيل المبني، لذلك يتم الاستعانة ببرامج المحاكاة الحاسوبية أو ما تسمى بالتمثيل المح osp خلال مرحلة التصميم كونها تعمل بصورة متزامنة مع عملية التصميم مما يتاح الفرصة لإيجاد حلول وبدائل للمشاكل المتوقعة قبل حدوثها.

يتناول هذا الفصل دراسة مفهوم التمثيل المح osp، والتطرق إلى أحد أهم البرامج الخاصة بالتمثيل وهو الإيكوتكت "Ecotect" والتعرف على أهم عمليات المحاكاة التي يقدمها وبالأخص عملية تحليل الإشعاع الشمسي لتوليد الطاقة الكهربائية في المبني المدرسي من خلال الاستعانة بالأنظمة الكهروضوئية، ومن ثم يتناول الفصل التحليل الكمي لبدائل تصميمية مختلفة للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي من خلال خطوات اتبعت بالدراسة للوصول إلى النتائج النهائية بواسطة برنامج الإيكوتكت وفي نهاية الفصل تم تقييم أداء الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي.

#### 2.5 التمثيل المح osp باستخدام برنامج الإيكوتكت "Ecotect"

نظراً لصعوبة استعمال المعادلات الرياضية في تضمين جميع جوانب أدائية المبني وتطور تكنولوجيا المعلومات وصناعة الحواسيب ظهرت تقنية حاسوبية تسمى بالتمثيل المح osp تتيح إمكانية تمثيل العالم الحقيقي من قبل برنامج حاسوبي، واجراء الاختبارات والتحاليل عليه.

وحققت هذه التقنية رواجاً عالياً بسبب دقة نتائجها وثبتت مصادقتها من خلال سلسلة اختبارات خضعت لها، واستعملت هذه التقنية في تقويم مبانٍ مشيدة فعلياً وقورنت نتائجها مع قراءات ميدانية، ووجد أنها مترابطة لحد كبير أو متطابقة (حسين ومحمود، 2010م).

سيتم التطرق لمفهوم التمثيل المح osp وبرنامج الإيكوتكت والتعرف على أهم عملياته في تحليل أدائية المبني من ناحية الطاقة الشمسية (الإشعاع الشمسي).

## 1.2.5 التمثيل المحوسب

التمثيل المحوسب أو النمذجة المحوسبة "Computer Simulation" يعرف بأنه برنامج حاسوبي أو شبكة من أجهزة الكمبيوتر، تحاول عمل محاكاة نموذج مجرد من النظام المعين (أي محاكاة نظرية بالحاسوب).

ويعرف أيضاً بأنه تقنية تعليمية تدخل في مجالات عديدة مثل الصناعة، والعلوم، والتعليم وغيرها، وتقدم الواقعية والمعالجات في ظروف اختبارية (Smith, 1998).

يستعمل التمثيل المحوسب في دراسة السلوك الديناميكي للأشياء أو الأنظمة استجابة للظروف التي لا يمكن تطبيقها بسهولة وبشكل آمن في الحياة الحقيقة، مما يمكن من القياس والتتبُّوء بالوظيفة التشغيلية لنظام بأكمله والتي تتأثر بعدة أجزاء منفصلة ضمن النظام. بذلك فالتمثيل المحوسب هو محرك يقود التكنولوجيا إلى تكوين نموذج افتراضي وتنفيذه واختبار أدائه وتحليل نتائجه. ولا يمكن إهمال اغفال كون العمارة أحد أهم الحقول الهندسية المتأثرة بالحاسوب والنمذجة الحاسوبية. (حسين ومحمود، 2010)

وتعتمد دقة النتائج المستخرجة من هذه البرامج على دقة المدخلات، إذ يتم جمع ادخال جميع البيانات المتعلقة بالمبنى واختيار نوع التحليل وما يتربّ عليه من متطلبات لتعبئتها، ويقوم البرنامج بتحليل سلوك المبني وفق الجوانب المطلوبة خلال فترة زمنية يحددها مستخدم البرنامج وفي أي وقت من السنة، وبتعبير آخر تحاكي هذه البرامج المبني كما لو كان موجوداً على أرض الواقع ولكن بصورة افتراضية داخل الحاسوب (Fishwick, 1995).

وقد ظهرت في الآونة الأخيرة العديد من برامج التمثيل المحوسب ومنها برنامج الإيكوتكت "ECOTECT" الذي سيتم الاستعانة به في هذه الدراسة لأداء تحليل كفاءة أماكن الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني.

## 2.5 برنامج الإيكوتكت "ECOTECT"

يعرف برنامج الإيكوتكت "ECOTECT" المملوك من قبل شركة أوتوديسك بأنه أداة تحليلية بيئية متكاملة تسمح للمصممين بمحاكاة أداء المباني من المراحل الأولى في الفكرة التصميمية ويقدم البرنامج مختلف التحاليل والاختبارات من حيث تحليل الطاقة، والتحليل الحراري، وتحليل الإضاءة و الظلal وتحليل الصوتيات.

- يشمل تحليل الطاقة و التحليل الحراري عدة عناصر وهي:
  - إدارة الموارد Resource management

- أحمال التدفئة والتبريد Heating and cooling loads

- التهوية وتدفق الهواء Ventilation and airflow

• أما تحليل الإضاءة والظلal يشمل التالي:

- تحليل الإشعاع الشمسي Solar analysis

- تحليل الإضاءة الطبيعية Lighting analysis

- تحليل الظلal والانعكاسات Shadows and reflections analysis

- تقييم الإضاءة النهارية Daylighting assessment

والعديد من وسائل التحليل المختلفة من صوتيات وحساب التكلفة، والتي تمنح المعماري فرصة اتخاذ قرارات تصميمية صحيحة قبل البدء الفعلي في نمذجة المبنى (Azhar, Brown (& Farooqui, 2009).

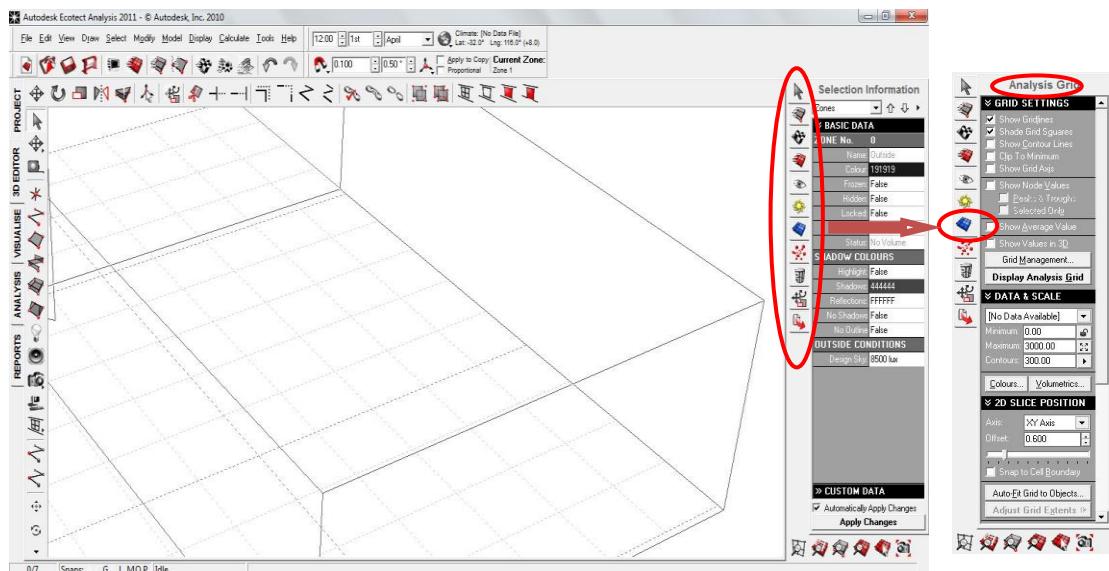
واجهة البرنامج تجعل عملية إدخال المعلومات أسهل من البرامج الأخرى ويحوي البرنامج على أدوات تحليلية خاصة به، وتعطي النتائج بهيئة صور ومخططات وجداول يمكن تخزينها في أي لحظة من عمل البرنامج (حسين ومحمود، 2010).

ولعرض استخدام البرنامج في اختبار أدائية المبنى ولمختلف الجوانب فإن ذلك يتطلب بعض الاعدادات المساعدة التي على المستخدم القيام بها قبل اجراء الاختبارات، كما يتطلب معرفة الافتراضات الأساسية التي يضعها البرنامج للجانب قيد الاختبار (الاشعاع الشمسي) سبق التطرق إليها في الفقرات التالية.

### 3.2.5 التحليل الشبكي "Analysis Grid" (Autodesk, 2011)

بما أن الدراسة تهم بدراسة وتحليل الطاقة الكهربائية الناتجة من الاشعاع الشمسي بالاستعانة ببرنامج الإيكوتكت فلا بد التطرق الى لوحة تحكم Analysis Grid التي ستساهم في تقدير الطاقة الكهربائية المتولدة على أسطح غلاف المبنى.

شبكة التحليل "Analysis Grid" هي أحد لوحات التحكم في واجهة برنامج ECOTECT التي تظهر على يمين واجهة البرنامج كما في الشكل (5.1)



شكل (5.1): قائمة Analysis grid وخيارات Control panels على شبكة زرقاء

تعرف شبكة التحليل "Analysis Grid" بأنها شبكة متعمدة من النقاط داخل النموذج المراد تحليله من حيث قيم الإضاءة "Light"، والإشعاع الشمسي "Solar Insolation"، والراحة الحرارية "Thermal Comfort"، والعديد من القيم الأخرى المراد حسابها وعرضها. شبكة التحليل ممكن أن تكون إما مستوى مسطح ثالثي الأبعاد 2D من النقاط، أو شبكة ثلاثة الأبعاد 3D. يتم عرض البيانات على شكل شريحة مسطحة مقسمة إلى مستويات مشكّلة شبكة تم تحديدها بالنسبة للمحاور الرئيسية XYZ.

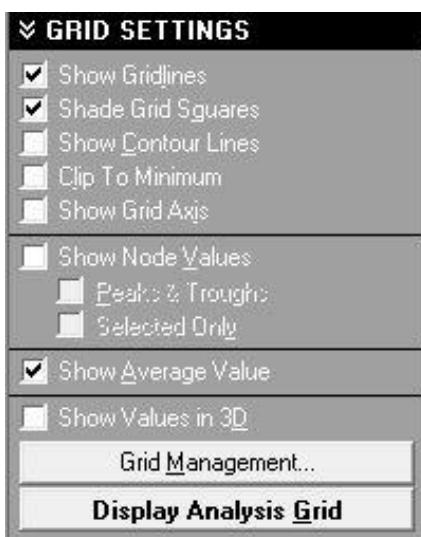
في حين يتم توجيه الشبكة دائماً على طول محوريين XY أو YZ أو XZ، ولكن ليس بالضرورة أن يكون سطح الشبكة مستطيل ومنظم بحيث يمكن إجراء التحليل على سطح غير منتظم من خلال خيار Fit to Selected Objects.

تضم لوحة تحكم "Analysis Grid" عدداً من الخيارات، تقابل تقريباً الخطوات التي يجب أن تمر بها لإنشاء الشبكة، هذه الخيارات بمثابة عناصر التحكم في الشبكة المعروضة. إذا تم عرض الشبكة، ومن ثم تغيير أي من هذه الخيارات فسوف يتولد رسم تلقائي جديد للشبكة بناءً على مختلفة.

هذا عرض لمجموعات "Analysis Grid" التي ستساهم في عرض النتائج المرغوبة الخاصة بالدراسة:

## 1- مجموعة Grid settings

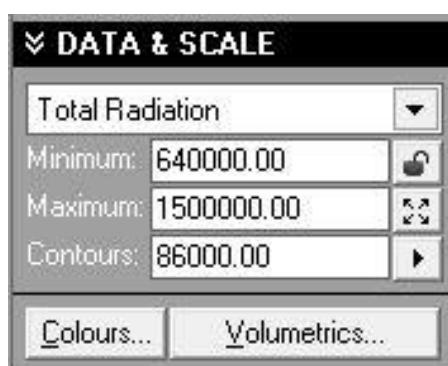
تستخدم عناصر التحكم الموجودة في هذه المجموعة لضبط خيارات الإظهار الخاصة بالشبكة انظر شكل (5.2). فأي تغيير من هذه الخيارات سوف يولد تلقائياً رسم مختلف للشبكة.



شكل (5.2): مجموعة Grid settings و الخيارات التي تشملها

## 2- مجموعة Date and scale

تتيح هذه المجموعة التحكم في مجموعة البيانات المعروضة في الشبكة وكذلك نطاق وعدد الخطوط الوهمية "Contour". ويحتوي مربع الاختيار العلوي على المعلومات الموجودة حالياً داخل الشبكة، و بالإضافة لعرض قيم الحد الأدنى والأقصى للعنصر المحدد فمثلاً عند اختيار Total Radiation تظهر القيمة الأدنى والأقصى للتحليل كما يبين في شكل (5.3)



شكل (5.3): مجموعة Date and scale والخيارات التي تشملها

### 2D Slice position -3

هذه المجموعة تعمل على ضبط موقع ومساحة الشبكة تحوي المجموعة عدة خيارات سنتطرق الي ما تم استخدامه للدراسة:

Axis -

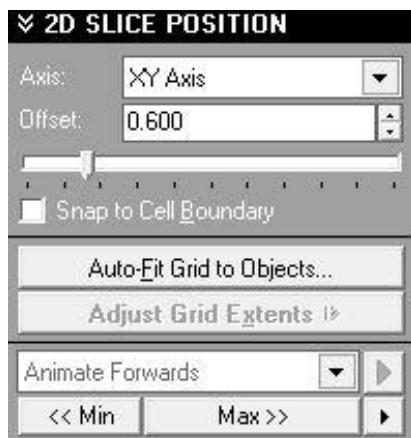
يتتيح اختيار مستوى شبكة التحليل للعنصر المراد اجراء الدراسة عليه في من المستويات الثلاث (XY, XZ, YZ).

Offset -

قيمة الازاحة (Offset) خاصة بتعيين موقع شبكة التحليل الخاصة.

Fit to Selected Objects -

هذه الخاصية هامة لتحديد موقع ومساحة شبكة التحليل بالنسبة للعنصر المراد تحليله في النموذج، فيتم تحديد مساحة شبكة التحليل لتناسب مع مساحة العنصر المراد تحليله وتغطي كافية مساحته. انظر إلى الشكل (5.4).



شكل (5.4): مجموعة Slice position

### Grid nodes -4

هذه المجموعة من الضوابط تسمح يدويا بإظهار وإخفاء العقد أو النقاط المقاطعة بين خلايا الشبكة. امر إلى شكل (5.5) من خلال النقر على خيار Select Grid Nodes فتتحول الشبكة إلى خطوط زرقاء مع عقد وعند النقر على أي عقدة يظهر مربع أحمر يمكن إخفاؤه عند النقر على Hide، أي عقد يتم إخفاؤها لا تدخل في عمليات الحسابات أو أي تحليل والعكس صحيح عند النقر على Show لإظهار العقد المخفية.



شكل (5.5): مجموعة Hidden nodes لإظهار وإخفاء العقد

### Calculations -5

تحتوي هذه المجموعة على العمليات الحسابية التي يمكن إجراؤها باستخدام تحليل الشبكة انظر إلى الشكل (5.6)، وسيتم عرض الأكثر استخداما هي كالتالي :

Lighting Levels –

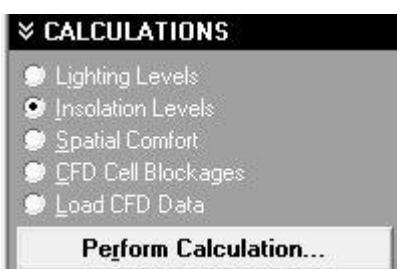
عرض وتحليل الاضاءة وحساب مستويات الإضاءة الطبيعية والاصطناعية على شبكة التحليل.

Solar Insolation –

عرض وتحليل الطاقة الشمسية لحساب كمية الإشعاع الشمسي الواقع على الشبكة خلال فترة زمنية محددة وهذا التحليل الذي تم اختياره لإجراء الدراسة.

Thermal Comfort –

يتم إجراء تحليل حراري للنموذج في تاريخ معين لتحديد درجة حرارة الهواء لكل منطقة، وتحديد درجات الحرارة السطحية لكل عنصر.



شكل (5.6): مجموعة Calculations لتحديد نوع التحليل المراد اجرائه

### 3.5 التحليل الكمي لبدائل تصميمية مختلفة للخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي

اتبعت بالدراسة مجموعة من الخطوات المتسلسلة للوصول للتحليل النهائي بواسطة برنامج الإيكوتكت، وهي بالترتيب كالتالي:

### **1.3.5 تحديد المتغيرات المستقلة والتابعة للدراسة**

تعرف المتغيرات بأنها أي شيء يمكن أن تكون له قيمة، إذ يمكن أن يكون عدد لعدد من المتغيرات قيم مختلفة في نفس الوقت مثل درجات الحرارة (النجار والزغبي، 2013). تقسم المتغيرات حسب طبيعة المعلومات المراد قياسها، أنواع المتغيرات بهذه الدراسة نوعان:

#### **"Dependent variables" أولاً: المتغيرات التابعة**

هي المتغيرات التي تقدم نفسها كقضية قابلة للدراسة (النجار والزغبي، 2013م)، فمثلاً عند دراسة أثر توجيه وشكل المبني على كمية الإشعاع الشمسي "Insolation" المعرضة للمبني فإن الإشعاع الشمسي هو المتغير التابع القابل للدراسة.

ويعرف الإشعاع الشمسي بأنه هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة والقادرة على توليد طاقة كهربائية. لا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو 130 ميجاواط لكل متر مربع من سطح الشمس، وهذا القدر الضئيل هو المسئول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي (شرف، 1983م).

تقع فلسطين ضمن ما يعرف بالحزام الشمسي (المنطقة المحصورة بين خطى عرض 40 درجة شمالاً و 40 درجة جنوباً) فيما يزيد عن 300 يوم مشمس في السنة بمتوسط ساعات سطوع يومي حوالي 8 ساعات، تزداد صيفاً و تقل شتاءً، حيث أن متوسط الإشعاع الشمسي في اليوم يصل إلى ما يقارب 5.46 كيلوواط شمسي على المتر المربع يومياً وهذا يعادل إنتاج سنوي 1950 كيلوواط ساعة من الطاقة (سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية، 2013)

وتعتمد قوة الإشعة على زاوية سقوط الإشعة التي هي بدورها تعتمد على الموقع الفلكي. في قطاع غزة ترکب الوحدات الكهروضوئية بزاوية 30 درجة مواجهة للجنوب لاكتساب أكبر قدر من أشعة الشمس.

#### **"Independent variables" ثانياً: المتغيرات المستقلة**

هي المتغيرات التي تملك تأثيراً إيجابياً أو سلبياً على المتغير التابع (النجار والزغبي، 2013)، ويلاحظ التغير في المتغير التابع يفسر من قبل التغير في المتغير المستقل، ويكون بذلك توجيه المبني حسب الاتجاهات الأربع وشكله متغيرات مستقلة.

#### **"Orientation" - توجيه المبني**

أحد المتغيرات المستقلة في الدراسة بحيث سيتم توجيه المبني المدرسي إلى الجهات الأربع الرئيسية (الشمال، والجنوب، والشرق، والغرب) ليتم فيما بعد دراسة أثر توجيه المبني

لأحد المحاور عن غيرها في كمية الاشعاع الشمسي الساقطة على المبني لتوليد الكهرباء منها فيما بعد من خلال الوحدات الكهروضوئية.

#### - شكل المبني "Form"

كما ذكر سابقاً فشكل المبني متغير مستقل وفق هذه الدراسة، وتم اعتماد شكلين شائعين لمباني المدارس لتحليلهما وهما على حرف L و H وتم اختيارهما بناء على دراسة الأشكال المتكررة في قطاع غزة بناءاً على دراسة الفصل الثالث، فجزء كبير من المدارس القديمة ذات حرف L، والمدارس ذات الأنماط الحديثة ذات حرف H. لذلك تم تبني هذان الشكلان ليتمثلا المدارس القديمة والحديثة المراد تركيب الوحدات الكهروضوئية عليها أو دمجها في غلاف المبني أثناء إنشاؤها.

للوصول إلى نتائج موضوعية تم توحيد مساحة أشكال المدارس، كل مدرسة بمساحة 1000 متر مربع ذات ثلاثة طوابق، ومكان وحدة الدرج في الشكل الواحد، كذلك توحيد مساحة الوحدات الكهروضوئية في كل مدرسة بحيث شكلت 365 متر مربع تم تحديدها بعد عدة حسابات توضح بالجزئية التالية.

#### 2.3.5 حساب أحمال الكهرباء لنموذج مدرسة ذات فترة دوام واحدة

لتقدير كمية الوحدات الكهروضوئية اللازمة لتشغيل مبني مدرسي مساحته  $1000\text{m}^2$  ذو ثلاثة طوابق بفترة دوام واحدة وتتوافق بها محطة تحلية للمياه لابد من تقدير الأحمال المتوقعة لمعرفة مساحة الوحدات الكهروضوئية لإنتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل المبني بشكل تام خلال فترة الدوام.

التحليل التالي يغطي حاجة المدرسة بمرافقها ومعداتها خلال فترة الدوام من اضاءة وأجهزة كهربائية في المختبرات ومضخة المياه وأباريز حية لكافة مرافق المدرسة من الفصول الدراسية والإدارة والمطبخ والمصحف، يجدر بالذكر أن المدرسة تحتوي ثلاثة مختبرات (حاسوب، فيزياء، كيمياء)، هذه الأحمال المحسوبة لوحدات إضاءة موفقة للطاقة ليد وأجهزة المختبرات من الحواسيب الحديثة ذات استغلالية للطاقة الكهربائية بشكل أقل، الجدول (5.1) يوضح الطاقة الكهربائية المتوقعة لتشغيل المدرسة خلال يوم واحد في فصلي الصيف والشتاء، وتم تقدير الأحمال بالاستعانة مع مهندس كهربائي متخصص بالوحدات الكهروضوئية في المبني المدرسي (إسماعيل كردية، مقابلة شخصية، 5 ديسمبر، 2017).

جدول (5.1): الأحمال الكهربائية المتوقعة للمدرسة خلال يوم واحد خلال فصل الصيف والشتاء

كلا الفصلين	فصل الشتاء				فصل الصيف				البند
	الطاقة KWH	القدرة KWH	ساعات التشغيل	القدرة بالوات (KW)	القدرة KW	ساعات التشغيل	القدرة بالوات (KW)		
35	35	5	7	35	5	7	7	الاضاءة	
25	25	5	5	25	5	5	5	قسم الإدارة (أجهزة واضاءة ومعدات)	
39	39	5	7.8	39	5	7.8	7.8	المختبرات	
9.2	9.2	4	2.3	9.2	4	2.3	2.3	مضخة مياه	
35	35	5	7	9.2	4	2.3	2.3	وحدات تحلية مياه	
12.5	-	-	-	25	5	5	5	مراوح	
15				15	5	3	3	أباريز حية	
108.6	96.1			121.1				المجموع	
10.86	9.61			12.1				أحمال أخرى (%10 من المجموع)	
119.46	105.7			133.2				المجموع (KWH/ (day)	
<b>155.3</b>	<b>137.4</b>			<b>173.2</b>				<b>المجموع (KWP/ (day)</b>	

يوضح الجدول الاحمال اللازمة خلال اليوم الواحد ب KWH/day وتم حساب الأحمال KWP/ day والمقصود بها الطاقة القصوى المطلوب توفيرها من النظام الكهروضوئي تحت الشروط المثلثى من توافر الشمس وغياب الرطوبة والظلال والغبار وأى عائق.

وتم حسابها وفق وعامل فقدان كفاءة النظام الكهروضوئي "The System Losses Facto" ، وعادة المفقود من الطاقة هو (20-30)% في النظام المركب (Zemanta, 2013)، والفارق قد ينجم بسبب تراكم الأتربة في دون أي تنظيف، أو بسبب كثافة البيئة العمرانية المحيطة، أو سرعة الرياح وقياس لذلك يتم تركيب خلايا أكثر للتعويض عن الخسائر المفقودة (Virkar, 2017).

في هذا التحليل تم اعتماد نسبة الفاقد 30% ليكون مجموع الطاقة القصوى الناتجة من الخلايا الكهروضوئية 155.3 kwp/day

لحساب مساحة نظام الخلايا الكهروضوئية يتبع المعادلة التالية:

$$(Asfour, 2013) \quad A = \text{Load} / (S * n)$$

حيث،

A: هي مساحة النظام الكهروضوئي "Area" بالمتر

S: هي الطاقة الشمسية "Solar energy" كيلو واط ساعة/ متر مربع

n: معامل كفاءة وحدة الخلايا الكهروضوئية وتم فرضه 10%

كما ذكر سابقاً فإن المعدل السنوي للإشعاع الشمسي في فلسطين يصل إلى 5.46 كيلوواط ساعة / متر مربع يومياً (سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية، 2013)، ولكن سيعتمد معدل الإشعاع بمقدار 4.25 كيلو واط ساعة / متر مربع يومياً بسبب عدم توافر ملف المناخ في برنامج الإيكوتكت خاص بقطاع غزة أو إحدى مدنه، فاعتمد على مناخ مدينة يافا (تل أبيب) لتوافره، وتم حساب معدل الإشعاع الشمسي خلال فصلي الصيف والشتاء في المتر المربع الواحد بواقع 5.8 كيلوواط ساعة / متر مربع يومياً صيفاً، و 2.7 كيلوواط ساعة / متر مربع يومياً شتاءً.

بعد تطبيق المعادلة كالتالي

المساحة  $M^2 = \text{الحمل المتوقع KWH} / (\text{معدل الإشعاع الشمسي} \text{KWH/M}^2 * \text{معامل كفاءة الخلايا الكهروضوئية})$

$$= 365.4 / (4.25 * 0.1) = 860 \text{ م}^2$$

وبذلك فالمساحة المطلوبة للخلايا تقدر بـ 860 م²،

**- المنهجية المعتمدة في توزيع الوحدات الكهروضوئية على نماذج المدرسة**

1- نسبة الوحدات المركبة على الأسفف إلى الوحدات المدمجة مع غلاف المبني (50:50) أي بمساحة 182.5 متر مربع مجموعه.

حيث سيتم اعتماد مساحة الوحدات الكهروضوئية المركبة على السطح بنسبة 50% من مجموع مساحة الوحدات المراد تركيبها ودمجها مع غلاف المبني المدرسي، و 50% الأخرى سيتم تطبيق نظام BIPV حيث تدمج الخلايا مع الأسطح المائلة مثل سقف الدرج، وكاسرات الشمس الأفقية ذات الميل لفاعليتها أكثر في تحصيل الطاقة الشمسية من

الأسطح المستوية (Asfour, 2013)، ومع الواجهات الجنوبية الرأسية، وأخيراً في تغطية مقدمة واجهات الممرات (التراسات).

2- استغلال الواجهة الجنوبية فقط بدون الواجهات الأخرى، وبأقصى قدر لدمج الوحدات الكهروضوئية لاكتساب الأشعة الشمسية، الوحدات تم توجيهها إلى الجنوب بزاوية ميل 33° سواء كانت على السطح أم الكاسرات الشمسية.

3- مكان كتلة الدرج ثابت بالشكل الواحد لدراسة تأثيره على كفاءة الخلايا الكهروضوئية في خلال الواجهات الأربع، وكذلك توحيد مساحة الفتحات من الشبابيك.

سيتم توليد الطاقة الكهربائية خلال اليوم بمعدل 8 ساعات وهو معدل ساعات الإشعاع الشمسي في فلسطين يومياً، وعليه فإن

معدل القوة الناتجة من وحدات الخلايا الكهروضوئية =  $KW = 8h / 155.3 \text{ KWP}$

### 3.3.5 عملية النمذجة باستخدام البرنامج

لإتمام كفاءة تحليل الإشعاع الشمسي بصورة دقيقة دون الدخول في تفاصيل الإعدادات المطلوبة لأنواع الاختبارات الأخرى التي يوفرها البرنامج

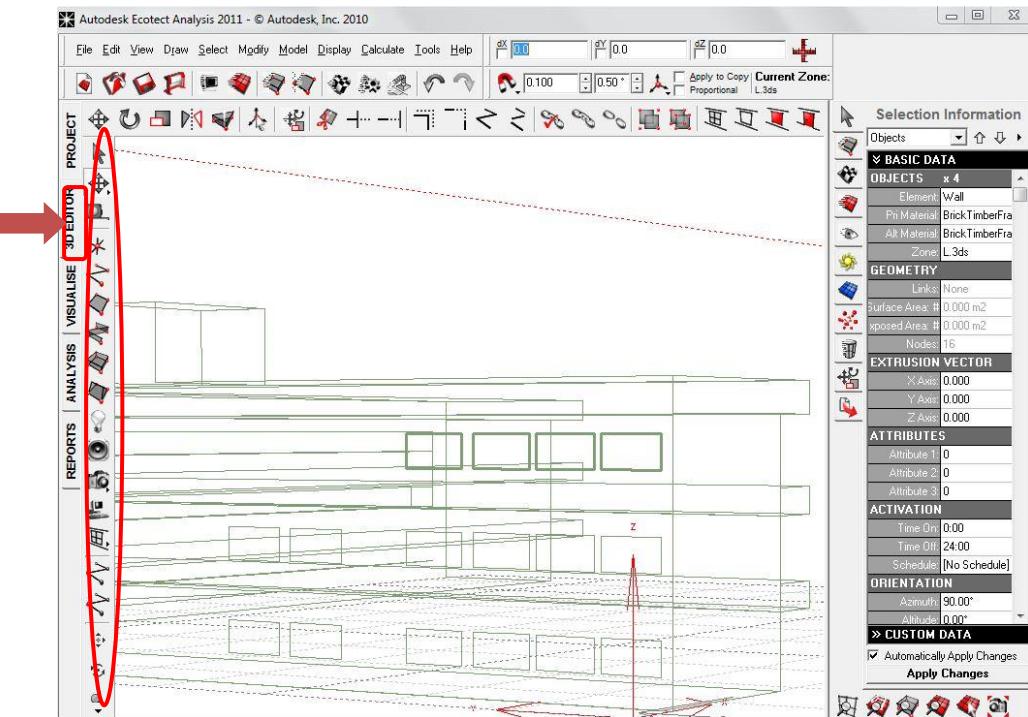
#### أولاً: إنشاء نموذج المبنى

يعد إنشاء نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد للمبني قيد الدراسة من أولى الخطوات الأساسية المطلوبة، ورغم أن البرنامج يدعم استيراد نموذج ثلاثي الأبعاد من برامج أخرى مثل الماكس والاسكتش أب، إلا وأنه لضمان دقة وصحة النتائج فإنه يفضل أن يتم رسم النموذج في بيئه البرنامج نفسه، وذلك لأن النموذج ثلاثي الأبعاد يمثل بالنسبة للبرنامج المنشأ ضمنه طريقة لترميز مجموعة من المعلومات بحيث يستطيع البرنامج تحليلها أو تحويلها للاستخدام في الحسابات الرياضية (Andrew & March, 2006).

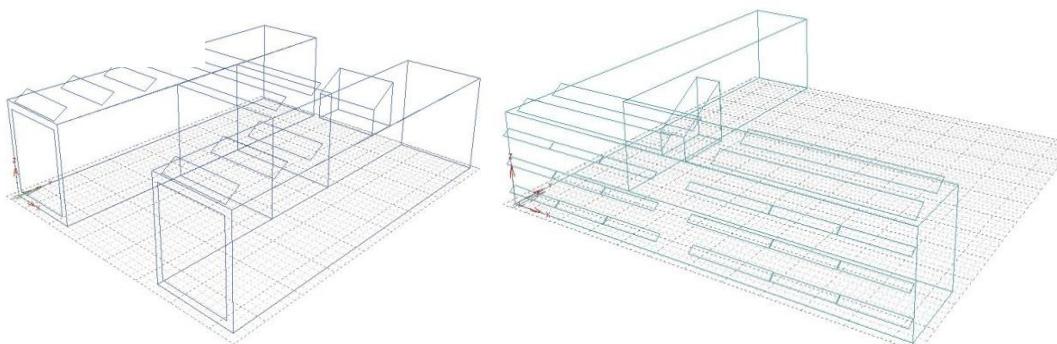
يتطلب البرنامج تحديد عناصر نموذج الثلاثي الأبعاد (حوائط، وأسقف، وفتحات، وأرضيات) والمواد الانشائية لأجزاء غلاف المبني المختلفة، ولكن لأن التحليل الخاص بالدراسة يتضمن فقط تحليل الإشعاع الشمسي وكمية الطاقة الكهربائية المتولدة منها فلا يلزم تحديد المواد الانشائية للعناصر.

تم رسم نماذج المبني المدرسية ذات الأشكال المختلفة خلال الاستعانة بصفحة 3D Editor وهي موجودة على يسار الشاشة ومن خلالها يتم فيها إنشاء النموذج و تعديله. وهي تتألف من

منطقة الرسم الرئيسية ومحاطة بشرط من أدوات الرسم على الجانب الأيسر كما يظهر في الشكل (5.7) و الشكل (5.8) يبين نموذجي المدرستين بعد رسمهما.



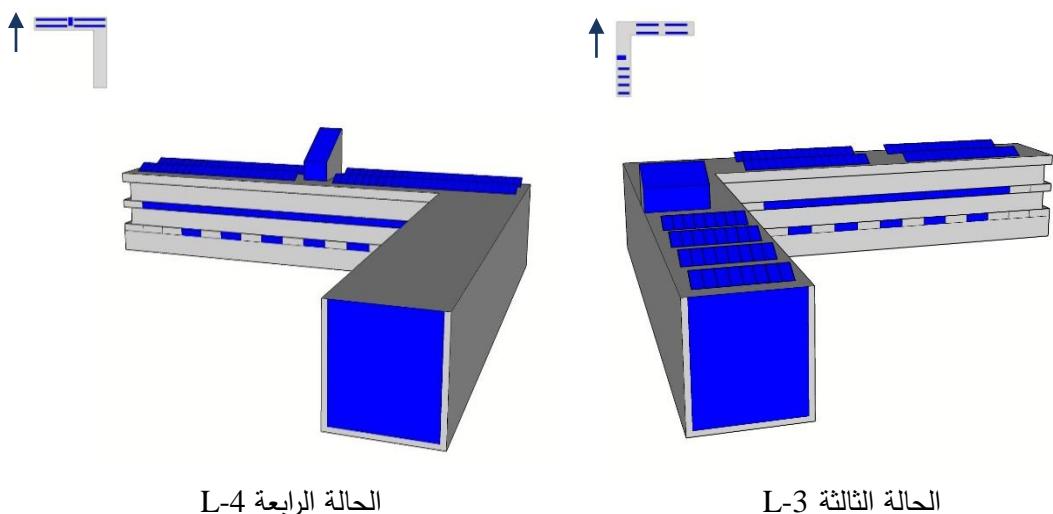
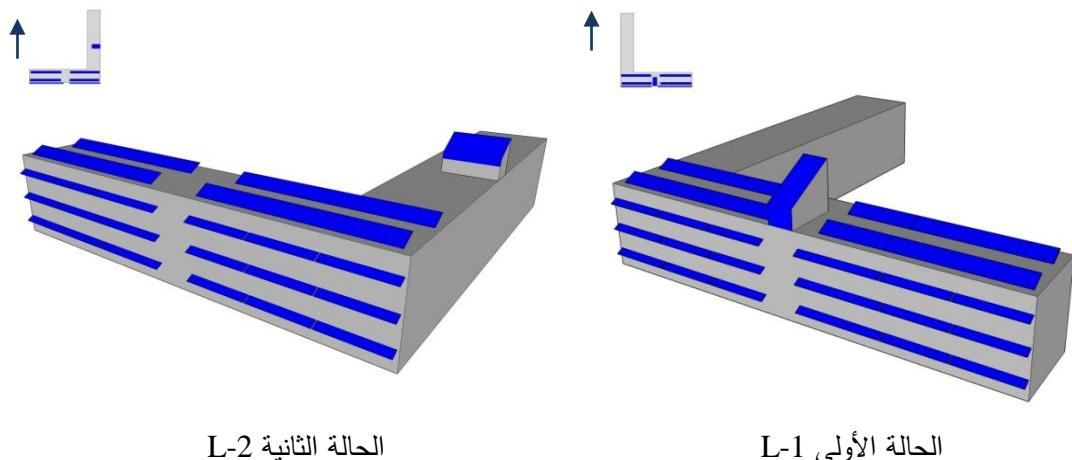
شكل (5.7): صفحة 3D Editor على يسار البرنامج مع شريط أدوات الرسم التابع لها



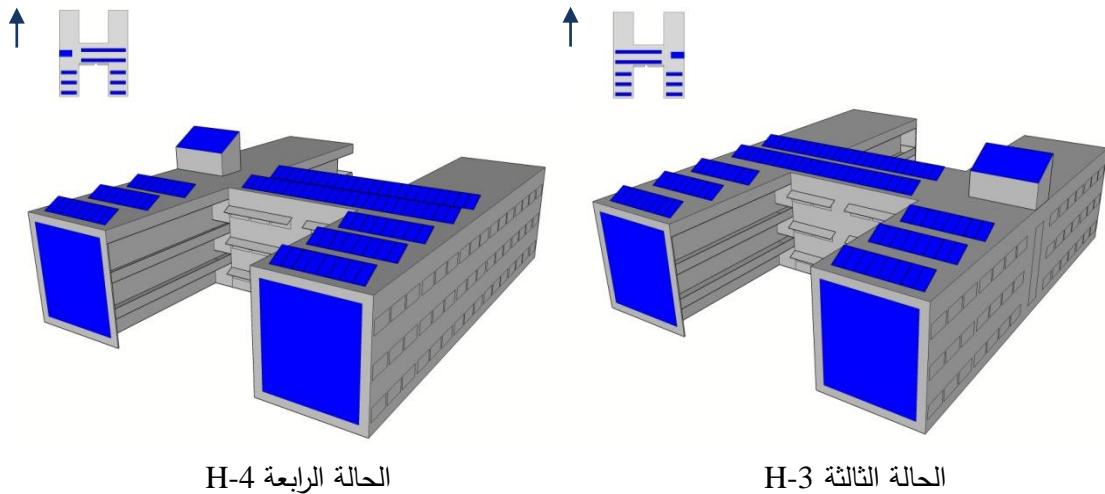
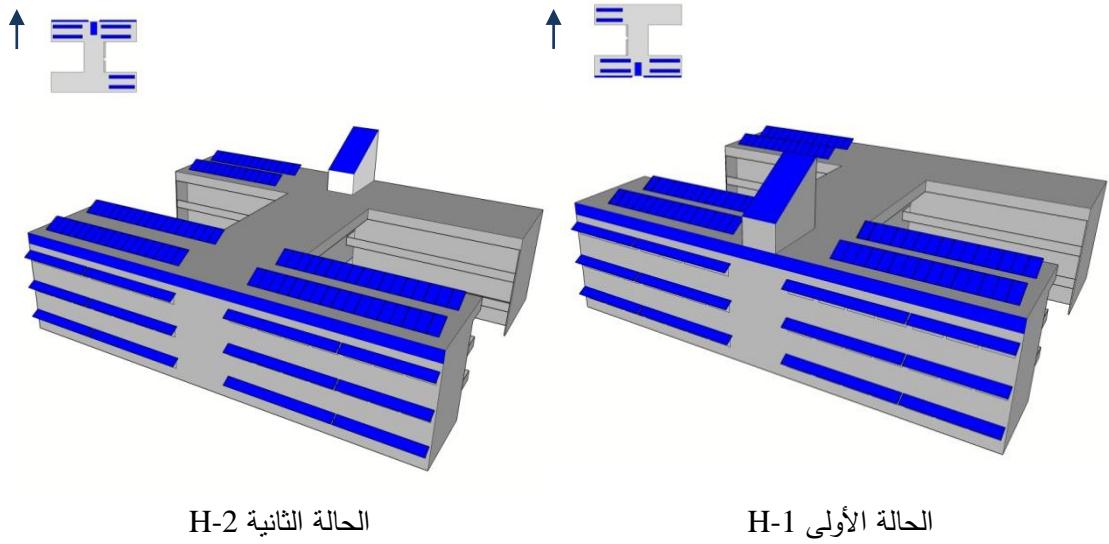
شكل (5.8): نموذج مدرسة شكل حرف L بالأعلى، و شكل H بالأسفل بعد انشائهما على البرنامج 3D Editor بالاستعانة بشرط أدوات الرسم

بعد إنشاء نموذجي المدرسة تم تركيب الوحدات الكهروضوئية على الأسقف ودمج بعضها من خلال الكاسرات الأفقية، سقف الدرج، والواجهات الرأسية، وواجهات الممرات على

الأربع واجهات بنسبة 50:50 مع مراعاة المسافات بين الوحدات المركبة على الأسقف منعا للظلال من خلال التجربة على البرنامج لأماكن الظلال خلال النهار في كلا الفصلين، وتم اختبار نوع الوحدات ذات قدرة إنتاج 320 واط ذات ابعاد 196\*99 سم لتوفيرها بقطاع غزة.  
انظر شكل (5.9) و (5.10).



شكل (5.9): الوحدات الكهروضوئية المركبة والمدمجة مع غلاف المبني على كل واجهة من مدرسة حرف L



**شكل (5.10):** الوحدات الكهروضوئية المركبة والمدمجة مع غلاف المبني على كل واجهة من مدرسة

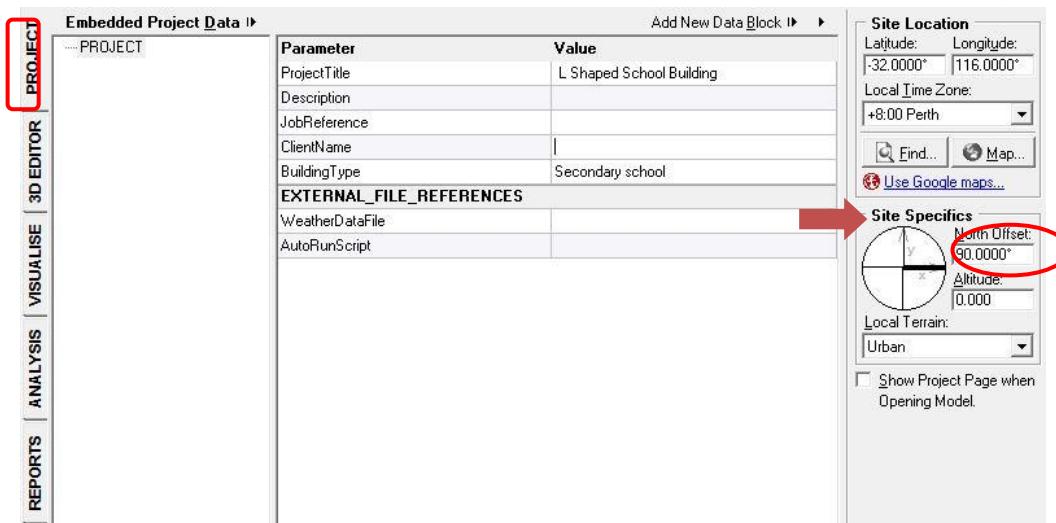
## حرف H

## ١- تحديد اتجاه المبني بالنسبة للشمال

يتم تحديد اتجاه الشمال من خلال صفحة Project على يسار الشاشة وفوق صفحة 3D Editor، وتسمح هذه الصفحة بإضافة معلومات حول المشروع الذي سيتم تخزينه مع النموذج المنشأ من حيث عرض عنوان المشروع ونوع المبني و المالك وغيرها من المعلومات.

لتحديد اتجاه الشمال من خلال النقر على صفحة Project فيظهر على يمينها Site Specifics عن طريقها يتم تغيير الاتجاه من خيار North offset فيضبط اتجاه الشمال

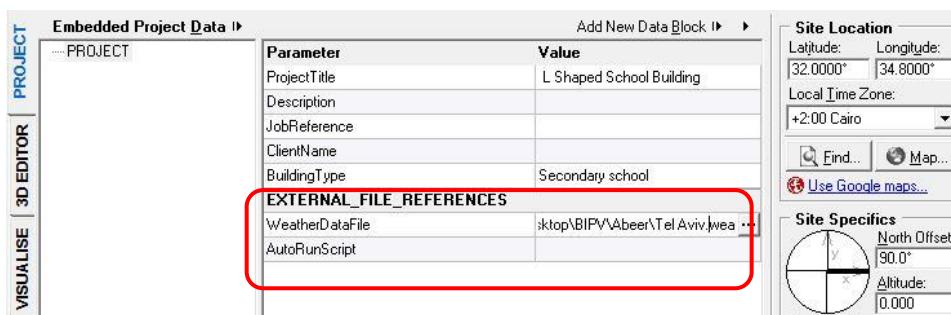
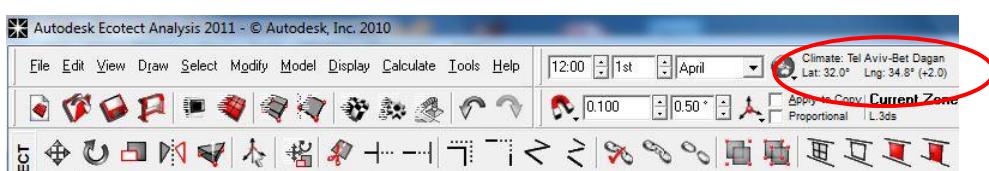
بالدرجات ويؤخذ في اتجاه عقارب الساعة بالنسبة إلى المحور Y الموجب. كما في الشكل .(5.11)



شكل (5.11): تحديد وضبط اتجاه الشمال للنموذج المنـاـخـاً من خـلـال صـفـحة Project

### ثانياً: اختيار وتحميل ملف المناخ

نظراً لعدم توفر ملف المناخ الخاص بمدينة غزة تم تحميل ملف يافا (تل أبيب) لتشابه المناخ بين المدينتين الفلسطينيتين، ويتم تحميل الملف عبر البرنامج بعدة طرق من خلال لوحة تحكم المتواجدة في أعلى الشاشة عن طريق النقر على أيقونة ☰ ، أو من خلال صفة Project والذهاب إلى خيار External file references ومن ثم تحميل الملف من مقابل نص حوار Weather Data File كما يوضح شكل (5.12).

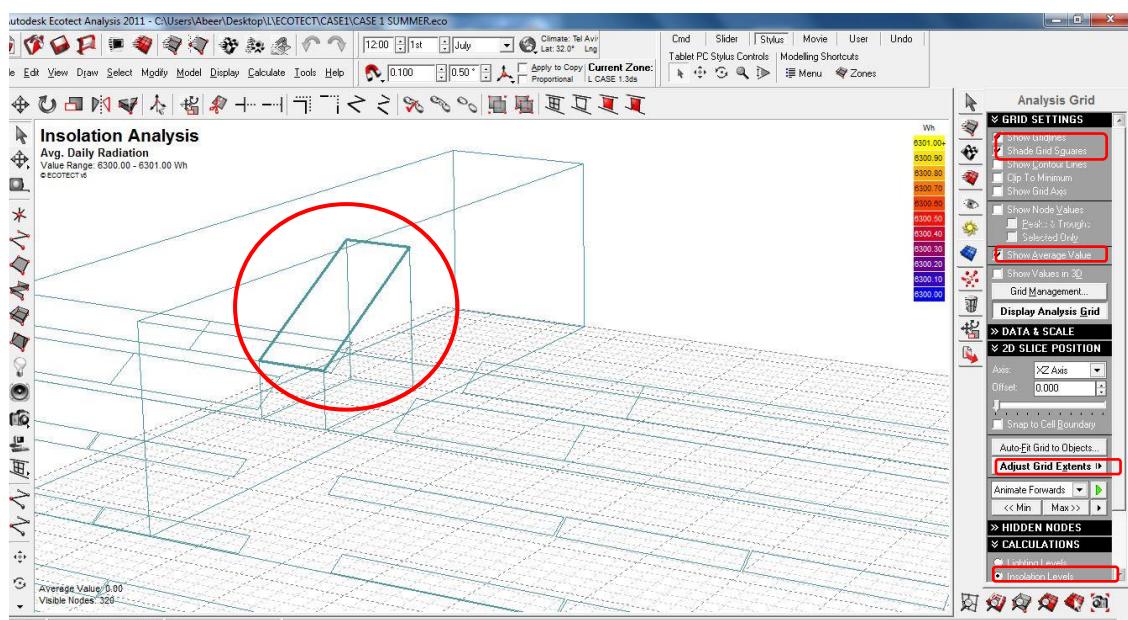


شكل (5.12): من طرق تحميل ملف المناخ للنموذج المنـاـخـاً في بيـئة الإيكوـتـكـتـ

### ثالثاً: تحليل النموذجين

تم اجراء تحليل الشبكة لجميع عناصر النموذج المدرسي المركب والمدمج معه الوحدات الكهروضوئية من خلال خطوات متسلسلة تم تكرارها لكل عنصر خلال فصلي الصيف والشتاء و هي كالتالي

- تحديد الوحدات الكهروضوئية المراد تحليلها أو العنصر المعماري المدمج مع الوحدات
- الذهاب لقائمة Analysis grid و ضبط التالي من كل مجموعة (انظر شكل (5.13)

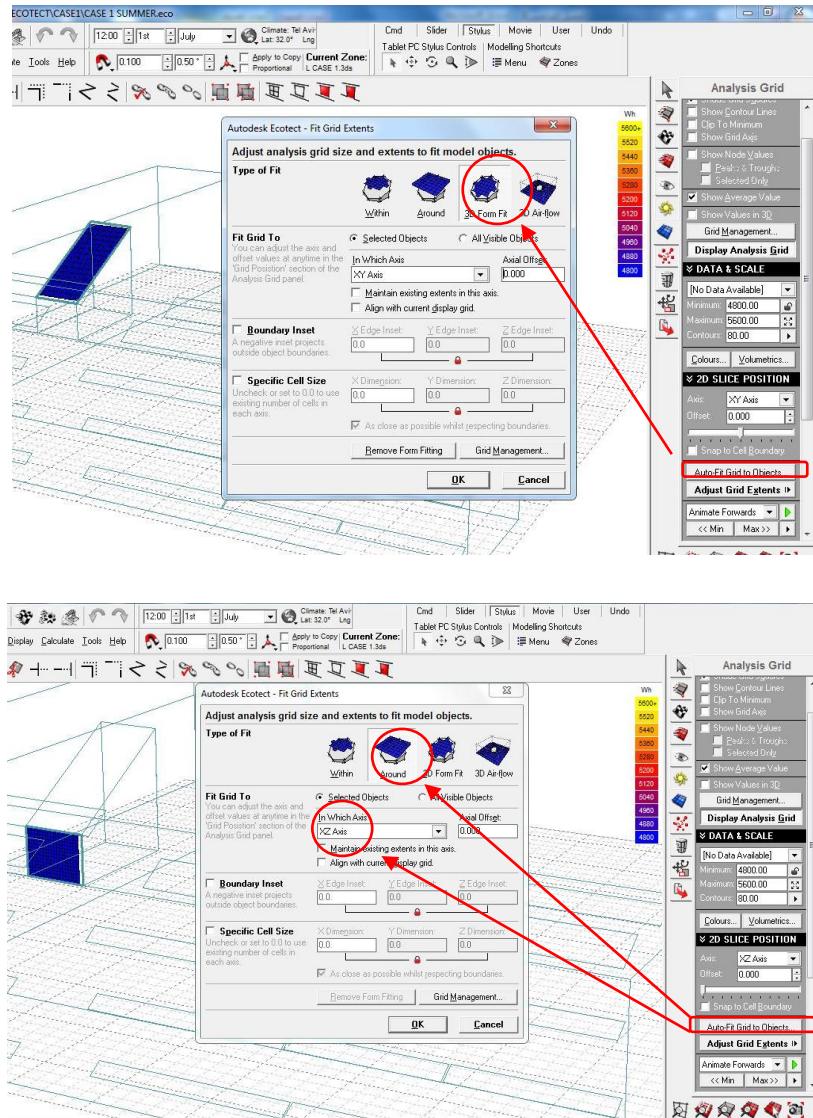


شكل (5.13): ضبط اعدادات قائمة Analysis grid

▪ مجموعة "Show average value": اختيار "Show average value" لإظهار متوسط قيمة الإشعاع الشمسي على سطح العنصر المختار بالإضافة إلى إظهار خطوط الشبكة "Shade grid square" و "Show grid lines" لون لكل خلية في الشبكة

▪ مجموعة "Auto-fit grid to object": الضغط على خيار "2D slice position" ليتناسب حجم الشبكة مع سطح العنصر المختار و تحديد المحور المتواجد به، إذا كان سطح العنصر مائل مثل الوحدات المركبة على الأسقف ووحدات الكاسرات الأفقية يتم

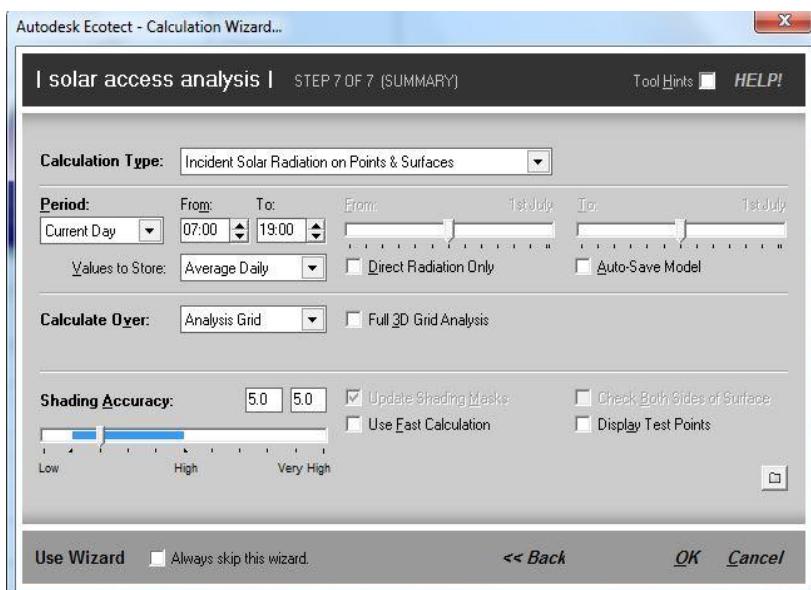
اختيار 3D from fit كما يظهر بالشكل، أما إذا كان السطح مستوي يتم اختيار .(5.14) أو "Around" في الشكل



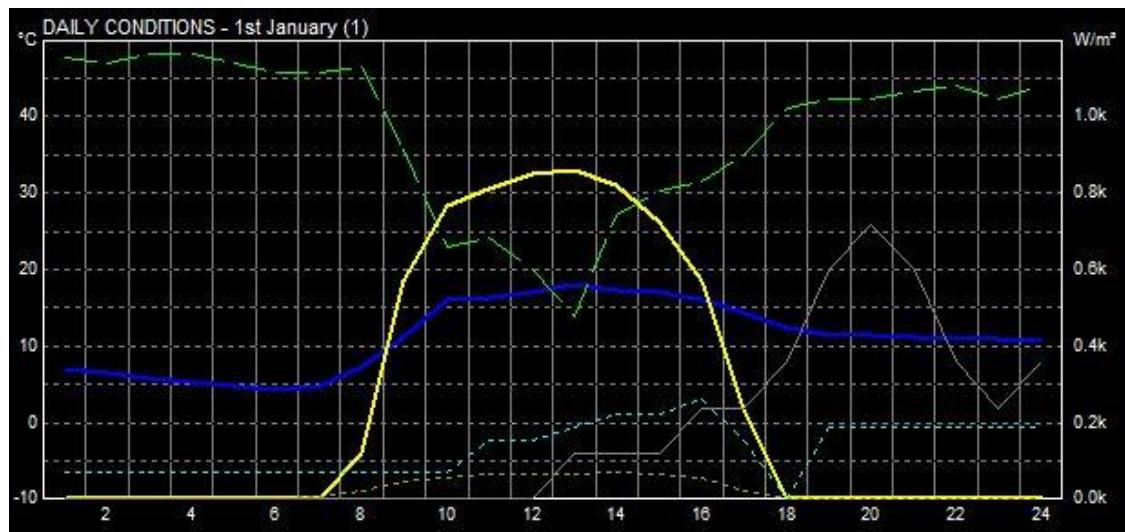
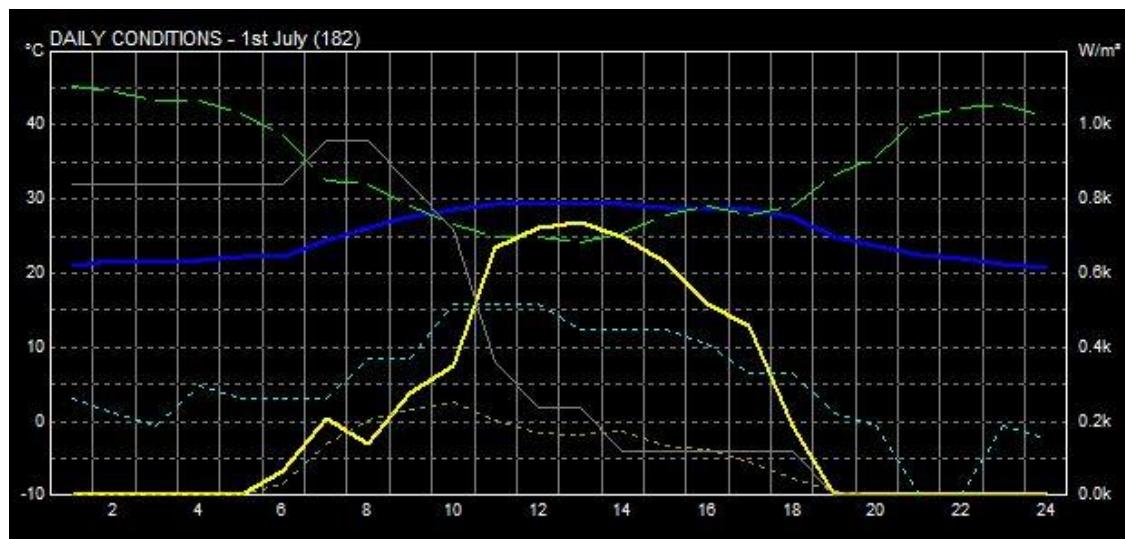
شكل (5.14): تناسب حجم شبكة التحليل مع السطح المحدد حسب نوعه من الاستواء و المحورية،  
الشكل بالأعلى العنصر المحدد مائل المستوى ويستعان ب 3D from fit لتناسب الحجم، أما الشكل  
السفلي لسطح رأسي فهو ذو محور رأسي ويتناصف الحجم معه من خلال Around ومحور XZ

▪ مجموعة Calculations : اختيار "Insolation" لإجراء اختبار الإشعاع الشمسي  
ومقدار الطاقة المتولدة على سطح خلال يوم معين بالسنة على المتر المربع الواحد كما  
يوضح الشكل (5.15)، التالي يوضح الخيارات لإجراء الاختبار المراد

- اختيار "Incident solar radiation" لحساب الإشعاع الشمسي الكلي والمبادر والمنتشر الساقط على العنصر.
- اختيار "For current day" حساب القيمة المطلوبة خلال اليوم المحدد، خلال التحليل تم اعتماد يومين، أحدهما يوم صيفي في الأول من يوليو، والأخر شتوي في الأول من يناير.
- اختيار "Average daily value" لحساب قيمة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح العنصر لكل متر مربع خلال المدة الزمنية المختارة وفي الدراسة التحليل ليوم واحد بالصيف ويوم بالشتاء ولكن بساعات اشعاع شمسي مختلفة.
- اختيار "Analysis grid" حساب القيمة على نقاط وأسطح شبكة العنصر المراد تحليله
- اختيار "Period" لحساب قيمة الإشعاع الشمسي خلال تواجد الشمس في كل فصل، في فصل الصيف خاصة في الأول من يوليو ساعات تواجد الشمس بشكل ملحوظ من الساعة السابعة صباحاً حتى السابعة مساءً، أما في فصل الشتاء خاصة في الأول من يناير من الساعة الثامنة حتى الخامسة، تم التوصل لهذه النتائج من خلال التحليل الشمسي لطقس مدينة يافا كما يظهرها الشكل (5.16)

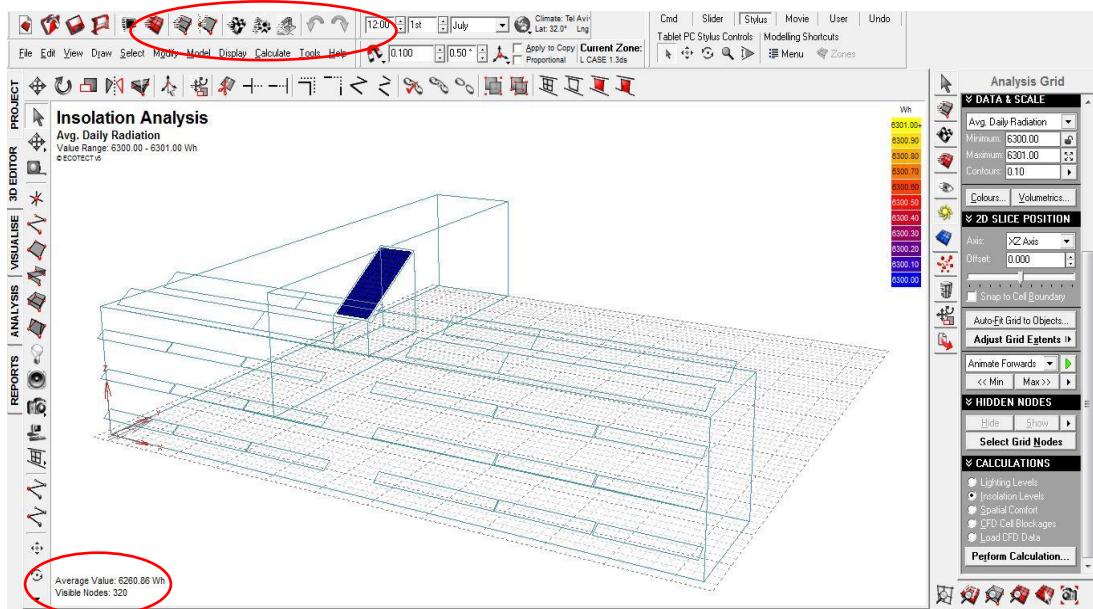


شكل (5.15): مجموعة خيارات Calculations للوصول للتحليل الصحيح حسب الدراسة



شكل (5.16): معدل الاشعاع الشمسي خلال ساعات تواجد الشمس خلال أحد أيام الصيف والشتاء

بعد اجراء التحليل تظهر قيمة معدل الاشعاع الشمسي اليومي بالكيلو واط للمتر المربع لوحدة السقف المختارة في أسفل يسار الشاشة وكانت 6261WH أي ما يعادل  $6.261 \text{ KWH/M}^2$ ، كما يظهر بالشكل التالي (5.17)



شكل (5.17): قيمة الإشعاع الشمسي لسقف الدرج خلال الأول من يوليو تظهر على أسفل يسار الشاشة

## 4.5 تقييم أداء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي للحالات الأربع لكل نموذج

بعد اجراء التحليل لمختلف العناصر في جميع النماذج لحساب قيمة معدل الاشعاع الشمسي اليومي بالكيلو واط ساعة للمتر المربع على جميع أسطح الخلايا الكهروضوئية، يتم حساب كمية الطاقة الناتجة من هذه الخلايا من المعادلة التالية ومقارنتها بالحمل المطلوب بحسب جدول (1-5)، فعلى فرض أن العنصر المحدد المطلوب الحساب له هو سقف الدرج؛ تكون المعادلة كالتالي:

$$\text{الطاقة الناتجة} = \text{المساحة} * (\text{معدل الإشعاع الشمسي} \text{ KWH/M}^2) * \text{معامل كفاءة الخلايا الكهروضوئية)$$

$$KW\ 15.1 = .1 * KWH/M^2\ 6.261 * M^2\ 24.13 =$$

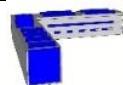
تنفذ الخطوات السابقة لكل عنصر في الحالات الأربع لكل شكل.

جدول (5.2) و(5.3) و(5.4) يظهران النتائج للمدرستين ذات حرف L و H مع أربع حالات لكل مدرسة بتوجيه مختلف.

**جدول (5.2): الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في المدرسة على شكل L بتوجيهات مختلفة خلال فصلي الصيف والشتاء**

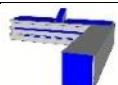
الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة L (الحالة الأولى L-1) خلال فصلي الصيف والشتاء						
فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة M <sup>2</sup>	البند	
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>		السقف	صفوف الدرج
54.3	2.973	108.1	5.926	182.5	السقف	BIPV
7.3	3.039	15.1	6.261	24.13	صفوف الدرج	
2.3	2.914	3.8	4.804	8	واجهة رئيسية من الدرج	
38.5	2.562	47.2	3.138	150.3	الكاشرات الأفقية المائلة	
102.4		174.2		365	المجموع	
%74.5		%100.6			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب	
الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة L (الحالة الثانية L-2) خلال فصلي الصيف والشتاء						
فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة M <sup>2</sup>	البند	
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>		السقف	صفوف الدرج
56.94	3.120	113.8	6.234	182.5	السقف	BIPV
7.4	3.063	14.3	5.924	24.2	صفوف الدرج	
2.3	2.930	3.9	4.880	8	واجهة رئيسية من الدرج	
38.5	2.562	47.2	3.138	150.3	الكاشرات الأفقية المائلة	

فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة $M^2$	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$		
105.1		179.2		365	المجموع
%76.5		%103.5			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب



**الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة L**  
**(الحالة الثالثة L-3) خلال فصلي الصيف والشتاء**

فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة $M^2$	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$		
48.7	2.668	91.25	5.000	182.5	السقف
7.5	3.081	11.6	4.811	24.2	سقف الدرج
4.6	2.914	8	4.804	15.8	واجهة الرأسية من الدرج
13.5	2.808	22.3	4.637	48	واجهة الممرات
27.4	2.900	44.6	4.717	94.5	واجهة الرأسية
101.7		177.8		365	المجموع
%74		%102.6			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب



**الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة L**  
**(الحالة الرابعة L-4) خلال فصلي الصيف والشتاء**

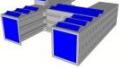
فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة $M^2$	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$		
55.7	3.054	102	5.589	182.5	السقف

فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة $M^2$	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$		
7.4	3.071	13	5.399	24.13	سقف الدرج
2.9	2.895	4.7	4.802	9.87	واجهة الرئيسية من الدرج
15.5	2.877	25.1	4.647	54	واجهة الممرات
27.4	2.897	44.2	4.674	94.5	واجهة الرئيسية
108.9		189		365	المجموع
%79.2		%109.1			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب

جدول (5.3): الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في المدرسة على شكل H بتوجيهات مختلفة خلال فصلي الصيف والشتاء

الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة H (الحالة الأولى H-1) خلال فصلي الصيف والشتاء					
فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة $M^2$	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$		
52.5	2.877	101.1	5.541	182.5	السقف
7.3	3.039	13	5.367	24.13	سقف الدرج
14.2	2.930	22.7	4.682	48.57	الدروة
31.6	2.874	35.2	3.206	109.8	الكافارات الأفقية المائلة
105.6		172		365	المجموع
%76.8		%99.3			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب

الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة H (الحالة الثانية H-2) خلال فصلي الصيف والشتاء					
فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة M <sup>2</sup>	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>		
56.7	3.108	113.4	6.214	182.5	السقف
6.7	2.777	11.3	4.669	24.13	سقف الدرج
14.2	2.930	22.7	4.682	48.57	الذروة
31.6	2.874	35.2	3.206	109.8	الكاسرات الأفقية المائلة
109.2		182.6		365	المجموع
%79.5		%105.5			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب
الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة H (الحالة الثالثة H-3) خلال فصلي الصيف والشتاء					
فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة M <sup>2</sup>	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي KWH/M <sup>2</sup>		
56	3.068	97.74	5.3558	182.5	السقف
6.16	2.544	14.3	5.920	24.2	سقف الدرج
22.9	2.895	36.8	4.652	79.15	واجهة رئيسية (1)
22.9	2.895	36.8	4.652	79.15	واجهة رئيسية (2)
108		185.6		365	المجموع
%78.6		%107.2			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب



الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية في مدرسة H (الحالة الرابعة-4 H-4) خلال فصلي الصيف والشتاء					
فصل الشتاء		فصل الصيف		المساحة $M^2$	البند
الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$	الطاقة الناتجة من الخلايا KW	الإشعاع الشمسي $KWH/M^2$		
55.5	3.043	97.74	5.3558	182.5	السقف
6.16	2.544	14.3	5.920	24.2	سقف الدرج
22.9	2.895	36.8	4.652	79.15	واجهة رئيسية (1)
22.9	2.895	36.8	4.652	79.15	واجهة رئيسية (2)
107.5		185.6		365	المجموع
%78.2		%107.2			نسبة الحمل الناتج من الحمل المطلوب

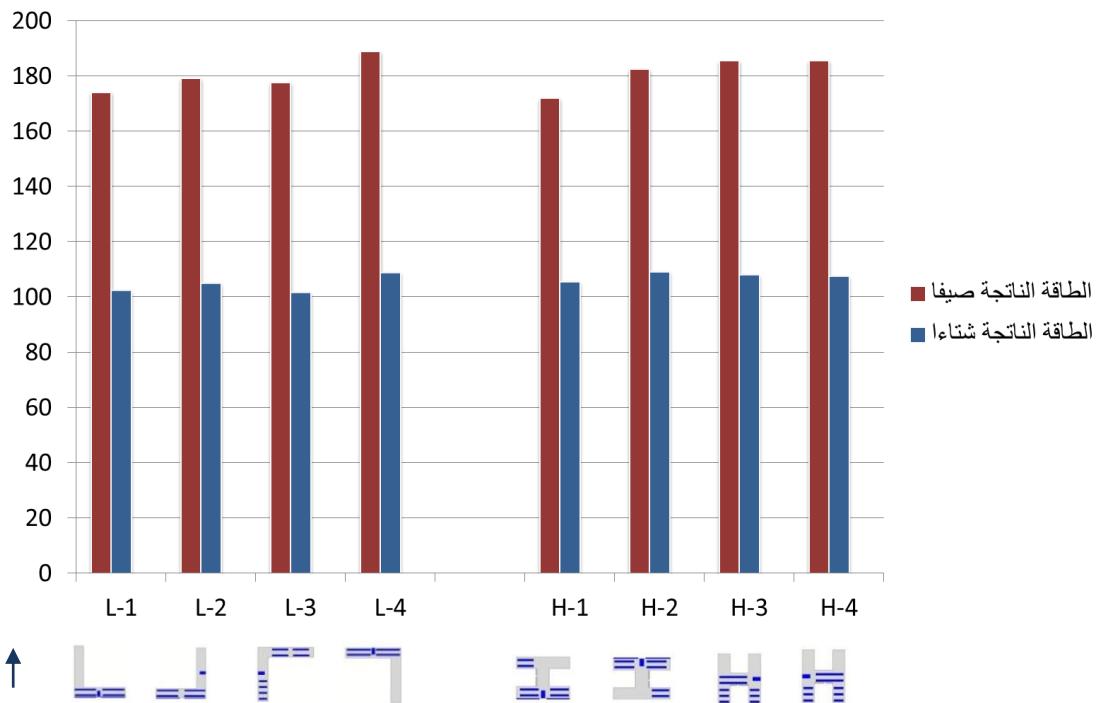
ويلخص الجدول التالي النتائج الواردة أعلاه:

جدول (5.4): مجموع الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الكهروضوئية من كل نموذج مدرسة خلال فصلي الصيف والشتاء

النسبة مقارنة بالطاقة المطلوبة خلال الفصلين	متوسط ناتج الطاقة خلال الفصلين $KWH$	النسبة مقارنة مع الطاقة المطلوب شتاء	الطاقة الناتجة شتاء $KWH$	النسبة مقارنة مع الطاقة المطلوبة صيفا	متوسط الطاقة اليومية الناتجة عن الخلايا صيفا $KWH$	الحالة	البند
%89.1	138.3	%74.5	102.4	%100.6	174.2		الحالة الأولى L-1

النسبة مقارنة بالطاقة المطلوبة خلال الفصلين	متوسط ناتج الطاقة خلال الفصلين <b>KWH</b>	النسبة مقارنة مع الطاقة المطلوب شتاء KWH	الطاقة الناتجة شتاء KWH	النسبة مقارنة مع الطاقة المطلوبة صيفا	متوسط الطاقة اليومية الناتجة عن الخلايا صيفا <b>KWH</b>	الحالة	البند	
%91.5	142.1 5	%76.5	105.1	%103.5	179.2		الحالة الثانية L-2	حرف L
%90	139.7 5	%74	101.7	%102.6	177.8		الحالة الثالثة L-3	
%95.9	<b>148.9</b>	<b>%79.1</b>	<b>108.9</b>	<b>%109.1</b>	<b>189</b>		الحالة الرابعة L-4	
%89.4	138.8	%76.8	105.6	%99.3	172		الحالة الأولى H-1	
%93.9	145.9	%79.5	109.2	%105.8	182.6		الحالة الثانية H-2	حرف H
%94.5	<b>146.8</b>	<b>%78.6</b>	<b>108</b>	<b>%107.2</b>	<b>185.6</b>		الحالة الثالثة H-3	
%94.4	<b>146.6</b>	<b>%78.2</b>	<b>107.5</b>	<b>%107.2</b>	<b>185.6</b>		الحالة الرابعة H-4	

والشكل (5.18) يوضح ناتج الطاقة الكهروضوئية من الخلايا الكهروضوئية المركبة والمتكاملة مع المبني المدرسي على شكلي L و H خلال فصلي الصيف والشتاء ويبين الشكل أن الحالة الرابعة L-4 والثالثة والرابعة H-3 و H-4 سجلوا أعلى قيم طاقوية.



شكل (5.18): الطاقة الكهربائية الناتجة من البدائل التصميمية المختلفة للخلايا الكهروضوئية المركبة والمدمجة مع مبني المدارس على شكل L و H في فصل الصيف والشتاء

#### النتائج المستخلصة من الجدولين السابقين:

- الطاقة الناتجة من الوحدات الكهربائية بنوعيها المركب والمدمج تسد كافة حاجة المبني المدرسي للطاقة الكهربائية خلال فصل الصيف، بل هناك فائض يتم تخزينه في البطاريات يستخدم في أوقات.
- الطاقة الناتجة من الوحدات الكهربائية بنوعيها المركب والمدمج في فصل الشتاء تسد أغلبية حاجة الفراغات للطاقة الكهربائية أما العجز فيمكن الاعتماد على كهرباء البلدية، سبب العجز قلة ساعات سطوع الشمس خلال النهار وكثرة الظلل المتكونة على سطح الوحدات.
- الوحدات الكهروضوئية المدمجة مع غلاف المبني في الحالات الثمان السابقة أثبتت كفاءتها في توليد الكهرباء من خلال تكاملها مع عناصر المبني المدرسي المختلفة من واجهات وأسقف كتل الدرج وكاسرات شمسية وحتى في المرارات من خلال الدرابزين (أي سطح معرض للأشعة الشمسية بنسبة ساعات جيدة مؤهل لتوليد الكهرباء) حيث بلغت نسبة الطاقة الناتجة من الخلايا المركبة على الأسقف بالنسبة إلى المدمجة مع المبني (54.3%)

: جدول (5.5) و(5.6) يوضحان نسبة مساهمة BIPV في توليد الطاقة الكهربائية مقارنة مع الخلايا الكهروضوئية المركبة على الأسطح.

جدول (5.5): الطاقة الكهربائية الناتجة من مدرسة L من الوحدات المركبة على السقف و الوحدات المدمجة مع غلاف المبني خلال فصلي الصيف والشتاء

الشكل	حرف L	الحالة الرابعة L-4	حرف L	الحالة الثالثة L-3	حرف L	الحالة الثانية L-2	حرف L	الحالة الأولى L-1
الفصل	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف
السقف	55.7	102	48.7	91.25	56.9	113.8	54.3	108.1
النسبة	%51.1	%54	%47.9	%51.3	%54.1	%63.5	%53	%62.1
BIPV	53.2	86.9	53	86.55	48.2	65.4	48.1	66.1
النسبة	%48.9	%46	%48.1	%48.7	%45.9	%36.5	%47	%37.9

جدول (5.6): الطاقة الكهربائية الناتجة من مدرسة H من الوحدات المركبة على السقف و الوحدات المدمجة مع غلاف المبني خلال فصلي الصيف والشتاء

الشكل	حرف H	الحالة الرابعة H-4	حرف H	الحالة الثالثة H-3	حرف H	الحالة الثانية H-2	حرف H	الحالة الأولى H-1
الفصل	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف	شتاء صيف
السقف	55.5	97.7	56	97.7	56.7	113.4	52.5	101.1
النسبة	%51.6	%52.6	%51.9	%52.6	%51.9	%62.1	%49.7	%58.8
BIPV	52	87.9	52	87.9	52.5	69.2	53.1	70.9
النسبة	%48.4	%47.4	%48.1	%47.4	%48.1	%37.9	%50.3	%41.2

4- أيضاً تبين الجدول السابقة أن كفاءة الخلايا الكهروضوئية تكون أعلى خلال فصل الشتاء من الصيف بسبب أن تعرض غلاف المبني من واجهات دون أسقف لفترات طويلة من أشعة الشمس وبما أن الوحدات مدمجة مع الغلاف فزاد نصيب تحصيل الطاقة الكهربائية بسببيها.

5- من الجداول السابقة يتضح أن الشكل L في الحالة الثالثة L-3 والشكل H في الحالة الثالثة والرابعة H-3 وH-4 لهم امكانية توليد الكهرباء أكثر من الأشكال الأخرى لعدة أسباب:

- من خلال الدراسة أثبتت أنه عندما تكون الوحدات الكهروضوئية متراصة وكثلة واحدة تعمل معاً لتوليد الطاقة أفضل من لو كانت الوحدات مجزأة على عناصر مختلفة، فمثلاً الواجهات الرئيسية الصماء لكبر مساحتها تم استغلالها لعمل كوحدة كهروضوئية واحدة وهذا أفضل لو كانت على كاسرات أو أسطح متفرقة.

- تواجد كثلة الدرج بين الوحدات الكهروضوئية المركبة على الأسطح ترمي ظلال نحو الغرب وقت الشروق، ونحو الشرق ووقت الغروب فتتأثر كفاءة الوحدات من خلال ظلال كثلة الدرج.

6- من الملاحظ في الحالات أن الحالة الأولى والثانية من كل نموذج مدرسة متشابهتين وكذلك الحالة الثالثة والرابعة ولكن موقع كثلة الدرج مختلف وهذا أدى إلى اختلاف قيم الطاقة الناتجة من نفس الأسطح المعرضة للإشعاع الشمسي.

- ففي الشكل L وH، نتائج الحالة الثانية كانت أعلى بشكل طفيف مقارنة مع الحالة الأولى بسبب ظلال كثلة الدرج على جانبيه خلال النهار.

- كذلك كان من الواضح أن الحالة الثالثة والرابعة من كل شكل كانت أعلى مقارنة بالأخترين بسبب استغلال الواجهة الرئيسية الصماء بأكملها لتكون وحدة كهروضوئية.

7- شكل مدارس حرف H أعلى كفاءة في تحصيل الطاقة الشمسية في الحالتين الثالثة والرابعة مقارنة بالحالات الأخرى من نفس الشكل وحالات حرف L المختلفة بسبب تواجد مساحات صماء كبيرة "الواجهات الرئيسية"، وغير مستغلة فعلياً في المبني المدرسي بالأخص في قطاع غزة بتركيب وحدات كهروضوئية، الواجهات الصماء في المبني المدرسي يوضع عليها اسم المدرسة وأحياناً لوحات فنية لمليء الفراغ، فاستغلالها لتركيب وحدات كهروضوئية سيعود بفائدة جمالية ووظيفية.

8- تناولت الدراسة فرص دمج الوحدات الكهروضوئية لأكثر الكتل والعناصر المعمارية المعرضة لأشعة الشمس، فدمجت سقف كثلة الدرج، والواجهات الرئيسية، والكاسرات الأفقية، وجميعها كان لها دور ملحوظ في توليد الطاقة وهي بالترتيب من الأعلى انتاجاً للطاقة للأقل سقف الدرج، الواجهات الرئيسية، وأخيراً الكاسرات الأفقية كما كان موضحاً في

الجدول (5.2) و(5.3). سقف الدرج كان ذو امكانية عالية لتحصيل الطاقة الشمسية ولكن بسبب قلة مساحته استغلت الواجهات الرأسية والكاسرات.

9- تم دمج الوحدات الكهروضوئية في الكاسرات الأفقية المائلة في الثلاث مستويات (الطابق الأرضي، و الأول، والثاني) وكانت نتائج الطاقة المتولدة من الكاسرات مقاومة حسب بعدها عن الاشعاع الشمسي، يبين الجدول (5.7) معدل الطاقة الناتجة من الكاسرات الشمسية المركبة في الطوابق الثلاث بغض النظر عن شكل المبني، و كما يظهر الجدول فالكاسرات في الطابق الثاني ذات كفاءة عالية من الطوابق الأدنى، والطابق الأول ذو تحصيل أعلى من الأرضي ويعزى السبب لقرب الكاسرات العلوية من أشعة الشمس وقلة تعرضها للظلل.

**جدول (5.7): الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات المدمجة مع الكاسرات الرأسية**

البند	الطاقة الناتجة خالل الصيف	الطاقة الناتجة خالل الشتاء	معدل الطاقة الناتجة خالل الفصلين
الكاسرات الأفقية العلوية (الطابق الثاني)	4051	2833	3442
الكاسرات الأفقية الوسطى(الطابق الأول)	2582	2867	2724.5
الكاسرات الأفقية السفلية (الطابق الأرضي)	2439	2841	2640

## 5.5 الجدوى الاقتصادية لاستخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبنى المدرسي

التكلفة البدائية لاستخدام الخلايا الكهروضوئية بشكل عام مكلفة إلى حد ما بسبب مكونات أنظمتها من الوحدات الكهروضوئية والمحلولات وبطاريات التخزين وملحقاتها، والإكسسوارات من أسلاك وإطارات التثبيت، لكن يمكن استرداد ثمن هذه التكلفة في سنوات قليلة، بحيث يتم تحصيل الطاقة الكهربائية مجانيا فيما إذا لم تكن هناك حاجة للصيانة.

لحساب الجدوى الاقتصادية لابد من التطرق لفترة الاسترداد لمشروع تركيب وحدات كهروضوئية متكاملة مع المبنى، وتعرف فترة الاسترداد "Payback period" هي تلك الفترة التي تسترد فيها المشاريع التكاليف الاستثمارية أو الفترة التي تتساوى عندها التدفقات الداخلة والخارجية.

كلما كانت فترة الاسترداد سيكون تطبيق أنظمة الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني المدرسي أفضل وذات فعالية.

فترة الاسترداد = كلفة نظام الخلايا الكهروضوئية / الفواتير النقدية السنوية  
 - تكالفة الخلايا الكهروضوئية = \$113900 كما يوضحها الجدول (6.5) التالي.

**جدول (6.5):** تكالفة إنشاء نظام كهروضوئي متكامل مع المبني لتعطية 19.4 كيلوواط

المجموع	سعر الوحدة \$	عدد الوحدات	البند
76800	1600	48	البطاريات عدد وحدات (2 فولت و 2500 أمبير)
9900	3300	3	نظام On grid
16200	الخلايا الكهروضوئية		
11000	إكسسوارات من كابل وأطارات تثبيت وملحقات أخرى		
113900	المجموع		

- أما لحساب الفواتير السنوية للمبني المدرسية فهي

= الطاقة الكهربائية الازمة سنوياً \* سعر الواط بالشيكل

$$6. * (12 * 26 * 155.3) =$$

$$48153.6 \text{ شيكل اسرائيلي} =$$

$$13459.3 \text{ دولار أمريكي}=$$

إذا فترة الاسترداد = كلفة نظام الخلايا الكهروضوئية / الفواتير النقدية السنوية

$$= 113900 / 13459.3 = 8.5 \text{ سنوات}$$

بعد ثمان ونصف سيحقق النظام ثمراته بحيث لا يعتمد المبني المدرسي على كهرباء البلدية وأي مصادر طاقة بديلة من الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة الكهربائية بحيث تحصل الطاقة بشكل مجاني.

## 6.5 الخلاصة

ابتدأ الفصل بالحديث عن التمثيل المح osp و أهميته والتطرق لأحد برامجه و هو الإيكوتكت "Ecotect" الذي يوفر العديد من عمليات المحاكاة وتحليلات الطاقة لتزيد من كفاءة المبني القائمة أو الجديدة، بحيث تم التطرق بالتفصيل إلى إعداداته التي تخدم هدف الدراسة

من خلال إجراء اختبار وتحليل لبدائل مختلفة لمدارس ذات شكل L و H لدراسة امكانية توليد الطاقة الكهربائية من خلال استغلال غلاف المبنى والعناصر المعمارية فيه للتكامل مع الوحدات الكهروضوئي "BIPV"، وبعد اجراء التحليل على عدة بدائل توصلت الدراسة إلى فعالية الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى في توليد الطاقة الكهربائية بنسبة كبيرة وإن كانت أقل من الوحدات المركبة على الأسفف بالطريقة التقليدية، وبذلك فإن حل أزمة الكهرباء في المبني المدرسية ممكن حلها بطريقة بيئية مستدامة ومحققة فائدة جمالية من خلال دراسة أساليب تكامل الوحدات الكهروضوئية مع مراحل التصميم المعماري الأولى من الفكرة التصميمية للمبني المدرسي وكتله وعناصره، بالإضافة لفائدة الاقتصادية على المدى البعيد من توفير مواد البناء وعدم الاعتماد على الوقود الأحفوري.

لتحقيق هذه المميزات لنظام الكهروضوئي المتكامل مع المبني يستلزم اقتراح توصيات واستراتيجيات ستعرض في الفصل السادس والأخير

## **الفصل السادس**

### **النتائج والتوصيات**

## الفصل السادس

### النتائج والتوصيات

#### 1.6 المقدمة

يشمل هذا الفصل خلاصة الدراسة بجزئها النظري والعملي، مع تقديم التوصيات والاقتراحات الممكنة لتفعيل دور الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني بشكل عام والمبني المدرسي بشكل خاص لحل أزمة انقطاع التيار الكهربائي المتواصل في قطاع غزة .

استنادا إلى الدراسة الوصفية والتحليلية والتي تمت في الفصول السابقة عن الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني، وواقع الطاقة في قطاع غزة وأثرها على أداء المبني المدرسي والوصول إلى عدة بدائل تصميمية لتكامل الخلايا الكهروضوئية في التشكيل المعماري للمبني المدرسي، اتضح إلى دور الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع العناصر المختلفة في غلاف المبني المدرسي في إنتاج الطاقة الكهربائية بنسبة عالية نسبيا باستخدام التمثيل المح osp.

حيث أفرد الفصل السادس للحديث عن النتائج المستسقة من الدراسة، وأهم التوصيات المستخلصة منها، وينقسم الفصل السادس لشقيين الأول النتائج والثاني التوصيات.

#### 2.6 النتائج

توصلت الدراسة من خلال الفصول السابقة إلى النتائج التالية:

1- التوجهات العالمية المتزايدة لاستغلال مصادر الطاقة البديلة بالأخص الطاقة الشمسية

وذلك بعد تفاقم الأضرار الكبيرة الناجمة من مصادر الوقود الأحفوري ومخاطرها

الواضحة على صحة الإنسان والبيئة على حد سواء، فضلا عن ارتفاع أسعار الوقود

الأحفوري واحتمالية نفاده باعتباره من المصادر غير التجددية.

2- تقدم الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني "BIPV" الحل الذي يمكنه

معالجة كل التحديات العالمية بسهولة من نفاذ المصادر الغير متتجدة وتقليل انبعاثات

غاز ثاني أكسيد الكربون لتوليد الطاقة الكهربائية بشكل نظيف، ونظراً لإمكانية اندماج هذه الأنظمة مع غلاف المبني فإن هذا يتيح لها أن تكون جزءاً من التصميم المعماري والخصائص الفنية والتحول الاقتصادي للطاقة المتجددة.

3- هناك العديد من العوامل الأخرى التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند اختيار دمج الخلايا الكهروضوئية مع غلاف المبني وأهمها المتغيرات البيئية مثل الاتجاه والموقع العام وزاوية الميل والأترة والغبار وتوفير التهوية وأخيراً دراسة ظلال المبني المحيطة.

4- الخلايا الكهروضوئية المتكلمة مع المبني تعتبر واحدة من أسرع القطاعات نمواً في صناعة الطاقة الشمسية، وتشهد تطوراً مستمراً لزيادة كفاءة عملها.

5- إمكانية استخدام نظام الخلايا الكهروضوئية كمواد انتهاء خارجية في غلاف المبني بدلاً من استخدام مواد الانتهاء التقليدية وبذلك تقليل كمية المواد المستخدمة في البناء.

6- إمكانية تكامل الخلايا الكهروضوئية كعناصر تكسية للمبني في الأسقف والواجهات المائلة، وأفقية، والمنحدرة، والتفاصيل المعمارية من فتحات أو مظلات أو كاسرات شمسية وحتى في التراسات وهذه الخلايا تتتنوع في درجة شفافيتها فمنها المعتم لتوفير الظل أسفل الفراغات التي تغطيها مثل الخلايا المدمجة مع المظلات وأسقف الممرات و التراسات.

7- دراسة عملية تكامل الأنظمة الكهروضوئية مع المبني منذ الأفكار التصميمية الأولية للمباني لزيادة القيمة الجمالية والاقتصادية والوظيفية للمبني.

8- توصف الطاقة الشمسية في الشرق الأوسط بأنها بديل فعال للطاقة في العالم حيث تتعافى بأشعة الشمس الوفيرة لإمكانية تركيب وتشغيل الأنظمة الكهروضوئية مما يزيد من فرص الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع الأبنية في فلسطين بالأخص قطاع غزة حيث أن معدل الإشعاع الشمسي السنوي تقريباً يصل إلى 5.46 كيلوواط ساعة/متربع يومياً وهي قيمة عالية نسبياً.

9- يعني قطاع غزة من شح في الطاقة الكهربائية وقطعها بشكل متواصل ووصلها إلى أقل من 4 ساعات مما أثر سلباً على نواحي الحياة المختلفة بسبب عدم كفاءة تشغيل المبني بمختلف أنواعها صحي، سكني، تعليمي وغير ذلك، وخصت الدراسة المبنية

التعليمية من المدارس الحكومية نظراً لأهميتها في اعداد الأجيال وتنشئهم والتي شل جزء كبير من أداء فراغات.

10- في السنوات الماضية بدأ باستحياء استخدام الأنظمة الكهروضوئية في المباني العامة، وتم تركيبها على أسفف عدد محدود من المباني المدرسية لتفعيل حمل جزئي من الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل بعض فراغات المبني دون غيره، هذه الأنظمة لأسباب اقتصادية لم تغطي كامل عبء المدرسة من الطاقة الكهربائية وتم اضافتها لتلبي دور وظيفي دون مراعاة الناتج الجمالى، وكانت دخول على المبني لم يتم دراسته شكلياً وجمالياً.

11- يعتبر استغلال الطاقة الشمسية هو أحد مبادئ المدارس المستدامة الخضراء حيث تشكل نمطاً جديداً من أنماط المحافظة على البيئة باعتبار أن المؤسسات التعليمية من أهم المرافق الصديقة للبيئة، والعديد من الدول المتقدمة اعتمدت هذا المبدأ في مدارسها لما يعم من فائدة بيئية واقتصادية ومجتمعية.

12- بعد إجراء تقييم لعدة بدائل تصميمية لمبني مدرسي تم التوصل أن الخلايا المتكاملة والمدمجة مع المبني لها قدرة كبيرة بتوفير الطاقة الكهربائية من خلال دمجها مع الواجهات الرأسية والأسفف المائلة والتفاصيل المعمارية من كاسرات شمسية وواجهات التراسات.

13- الوحدات الكهروضوئية المركبة على أسفف المدارس أعطت نتائج أعلى بنسبة طفيفة من الوحدات المدمجة مع الغلاف (45.7% : 54.3%) نتيجة لدرجة الإشعاع الشمسي العالية التي تتعرض لها.

14- توصلت الدراسة أن الواجهات الرأسية الصماء ذات المساحات الكبيرة تعطي ناتج طاقة أكبر من الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع الكاسرات الشمسية بسبب تراصها فتعمل كوحدة واحدة لإنتاج الكهرباء أفضل من لو كانت الوحدات متفرقة على تفاصيل معمارية صغيرة، لذلك نماذج المدارس ذات حرف H و L واتجاه واجهاتها الرأسية الصماء للجنوب أعطت قيم أعلى من نماذج المدارس ذات الواجهة الجنوبية المحتوية على فتحات و كاسرات فقط.

15- الكاسرات الشمسية تعطي نتائج عالية للطاقة الكهربائية لو تم وضعها في الطوابق العليا نتيجة لعرضها لإشعاع شمسي أفضل من التي في الطوابق السفلية وبسبب كثرة الظل التي تحول دون كفاءة عمل الخلايا بشكل أفضل.

16- بالنسبة للمباني التي تتبنى فكرة الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني، فإن المكتسبات لا تقتصر على مسألة الحفاظ على البيئة، فالخلايا المتكاملة تشتمل على عامل جذب من الناحية الاقتصادية، من تكلفة مواد البناء وتوليد الطاقة الكهربائية.

### 3.6 التوصيات

سيعرض هذا الشق إلى توصيات توجه لصناعة القرار والمهندسين المعماريين والجامعات والوزارات وتحص الدراسة وزارة التربية والتعليم بهدف رسم مستقبل أفضل بيئياً وجمالياً، وفي هذا الإطار أدرجت توصيات خاصة لكل فئة على النحو التالي:

#### أولاً: توصيات خاصة بصناعة القرار من الحكومات

- سن قوانين وتشريعات خاصة باستخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني من خلال التأكيد على ضرورة الاستفادة من الطاقة الشمسية.
- عمل دراسة جدوى حول آليات حفظ الطاقة والاستفادة من الطاقة الشمسية باستخدام الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع المبني.
- توعية المواطنين عبر وسائل الإعلام المختلفة بضرورة ترشيد استهلاك الطاقة، وتشجيع إنشاء وحدات لأبحاث الطاقة المتعددة خاصة في الجامعات والمراكم العلمية والتي من شأنها تطوير مجال الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع المبني ودراسة إمكانيات التطبيق في قطاع غزة.
- حث وتشجيع المواطنين والمؤسسات على استغلال الطاقة الشمسية في المبني وتبني مفهوم الخلايا المتكاملة مع المبني المراد انشائها.
- تسهيل و توفير استيراد أنظمة الخلايا الكهروضوئية المتكاملة لتقليل تكلفتها على المواطنين، وتبني الحكومة لمثل هذه الأنظمة البيئية وتقديم تسهيلات لمواطنيها عند انشائها.

- تطوير قاعدة بيانات مع مختلف الجهات المعنية لتوفير بيانات محدثة عن حالات الطقس والمناخ والبيانات الأخرى التي يحتاجها الباحثون لمدن قطاع غزة.

### ثانياً : توصيات خاصة بالمهندسين المعماريين

- الاهتمام عند تصميم المبني بالبعد البيئي وامكانية دمج الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع عناصر غلاف المبني بشكل متزامن ومتناقض، وبل يمكن أن تكون هذه الخلايا المتكاملة فكرة أصلية من تصميم المبني المعماري.

- ضرورة دراسة موقع البناء جيداً وتحديد أفضل التشكيلات المعمارية جمالياً ووظيفياً لفرص دمج الخلايا الكهروضوئية مع المبني.

- استغلال الواجهات الجنوبية بعناصرها من حواطط، وفتحات، وكاسرات لتكون عناصر انتاج طاقوية من خلال الخلايا الكهروضوئية المدمجة معها.

- اعتماد برامج التمثيل المح osp كأساس لتصميم المبني المتكامل طاقوياً من الخلايا الكهروضوئية للحصول على أعلى نتائج من الاشعاع الشمسي من خلال شكل المبني وتوجيهه و دراسة بيئته المحيطة.

- الاستفادة القصوى من الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع عناصر المبني لكونها مواد تشطيب خارجية وعازلة للرطوبة والحرارة وتقلل من الاعتماد على مواد البناء التقليدية وبالتالي تقليل تكلفة شراء هذه المواد.

- وضع مرجع تفصيلي خاص وشامل للمعايير التصميمية والمتطلبات الخاصة بالخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع مبني قطاع غزة

### ثالثاً: توصيات خاصة بوزارة التربية والتعليم

- توعية مهندسي الوزارة من معماريين وكهربائيين بأهمية دور الخلايا الكهروضوئية المتكاملة مع مبني المدارس بسبب كبر مساحات واجهاتها وتواجد مساحات صماء فترتداد فرص اقتناص الأشعة الشمسية لو تم توجيهها للجنوب.

- تركيب الخلايا الكهروضوئية على الأسقف بنسبة معينة لاستغلال المتبقي من مساحة أسقف المدارس كسطح خضراء للزراعة وبمثابة بيئة تعليمية خارجية أو كفراغ لأنشطة الرياضية لتحقيق قدر المستطاع إلى بعض مواصفات المدارس الخضراء من سطح خضراء واستغلال الطاقة الشمسية من الخلايا كما تدعوا لها أنظمة تقييم أداء المدارس الخضراء .“LEED”.
- التركيز عند اضافة الخلايا الكهروضوئية للمدارس القائمة إلى دراسة أماكن توقيع الخلايا المتكاملة من واجهات رأسية وأسقف مائلة وكاسرات لمدى جدتها الوظيفية في تحقيق الطاقة دون اهدر المساحات المتبقية من سطح المبني.
- تعزيز المناهج الدراسية وتعليم الطلبة فكرة وآلية عمل أساليب المدارس الخضراء لترسيخ مفاهيم الاستدامة والمحافظة على البيئة.

#### **رابعاً: توصيات خاصة بالجامعات**

- توجيه أحد المساقات البيئية في تخصص كلية الهندسة المعمارية إلى أنظمة البناء الأخضر بشكل عام والأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع المبني لاستغلال أكبر قدر من الطاقة الشمسية المتعددة، وتطبيقها على أحد مساقات التصميم المعماري بشكل يتناسب وظيفياً وجمالياً.
- عقد مؤتمرات وورشات عمل في الجامعات لأهم مشاريع الخلايا المتكاملة مع غلاف المبني وكيفية تطبيقها وما هي أساسها ومعاييرها التصميمية.
- توجيه الطلبة لأهمية مبادئ العمارة الخضراء الصديقة للبيئة وذات إنتاج صفرى للغازات الكربونية وحثهم على تضمين فكرة المبني المتكاملة طاقوياً مع الأفكار الأولية التصميمية.

#### **خامساً: توصيات خاصة للمواطنين**

- عقد لقاءات وورشات عمل للمواطنين حول أهمية مصادر الطاقة بنوعيها المتعددة وغير المتجددة وترشيد استخدامها.
- توعية المواطنين بأهمية استخدام الطاقة الشمسية من خلال وسائل الإعلام المرئية والمسموعة والمكتوبة بالإضافة إلى وسائل التواصل الاجتماعي الإلكترونية.

- ارشاد وتوجيه المواطنين حول امكانيات أنظمة الوحدات الكهروضوئية وأنظمة الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع المبني في تشغيل المبني من حيث إنارةه وأجهزته ومعداته والإرشاد في تشغيل.

- عقد دورات لتوسيع المواطنين حول كيفية حساب الأحمال الكهربائية اللازمة لحساب كمية ومساحة الأنظمة الكهروضوئية المراد تركيبها وترشيد استهلاكم للطاقة الكهربائية وعدم اهدارها، وما هي المعدات والأجهزة التي يمكن تشغيلها حسب النظام الكهروضوئي المطبق.

#### **سادساً: توصيات خاصة للباحثين والمهتمين بمجال الطاقة الشمسية**

- تقديم حلول وتوصيات علمية لصانعي القرار وفق أسس علمية بحثية تجريبية مما سيساهم في وضع التنظيمات والتشريعات المناسبة لتنظيم تطبيقات واستثمارات الطاقات المتجددة.

- تعزيز التعاون المشترك بين الباحثين والمؤسسات البحثية محلية وعالمياً، وزيادة الترابط بين الأبحاث العلمية والتطبيقية والتطوير والتعاون مع القطاعات الصناعية ذات الصلة بمواضيع استغلال الطاقات المتجددة و بالأخص الطاقة الشمسية من خلال الأنظمة الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبني.

- تنفيذ مجموعة من البرامج التوعوية لجميع الجهات المعنية بأهم برامج استغلال الطاقات الشمسية عبر الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع المبني من خلال عرض نتائج وتصنيفات دراستهم.

- إجراء أبحاث متخصصة عن العوامل المؤثرة على كفاءة أنظمة الوحدات الكهروضوئية المتكاملة مع المبني في قطاع غزة مثل دراسة أثر البيئة العمرانية وزوايا الميل الأفضل للوحدات حسب موقع تواجدها غي غلاف المبني وأثر اللاندسكيب والعوامل الجوية وغيرها ذلك من العوامل.

تمت بحمد الله وتوفيقه

## **المصادر والمراجع**

## المصادر والمراجع

### أولاً: المراجع العربية

استخدام الطاقة الشمسية يزدهر إثر تفاقم أزمة الكهرباء. (2016م). جريدة الأيام. تاريخ الاطلاع: 20 يونيو، 2017م، على شبكة الانترنت: [http://www.al-ayyam.ps/ar\\_page.php?id=11164d13y286674195Y11164d13http://www.alhaya.ps/arch\\_page.php?nid=217583](http://www.al-ayyam.ps/ar_page.php?id=11164d13y286674195Y11164d13http://www.alhaya.ps/arch_page.php?nid=217583)

الإغاثة الإسلامية. (2016م). بناء مدرستين جديدين. تاريخ الاطلاع: 12 أكتوبر، 2017م، على شبكة الانترنت: <http://irpal.ps/ar/index.php/2016/10/27/new-schools>

بلحاج، محمد، الشامس، زينب، ومحمد، وسام. (2003). فرص ادماج منظومات الخلايا الشمسية في المبني. مجلة الثقافة والحياة، 19، 70-81.

الجادري، احسان، وسليم، يوسف. (2010م). أثر استخدام تقنية المنظومات الشمسية كمواد إنتهاء خارجية في النتاج المعماري. مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 28(11)، 520-534.

جهاز الاحصاء المركزي الفلسطيني. (2017م). الإحصاء الفلسطيني ولللجنة الوطنية للسكان يصدران بياناً صحفيًّا عشية اليوم العالمي للسكان 2016/7/11. تاريخ الاطلاع: 13 أكتوبر، 2017م، على شبكة الانترنت: <http://www.pcbs.gov.ps/postar.aspx?lang=ar&ItemID=1702>

حسين، صفاء الدين، ومحمود رضاب. (2010م). أثر التقانة المعلوماتية في توفير الراحة الصوتية في قاعات المعارض باستخدام برنامج Ecotect. المجلة العراقية للهندسة المعمارية، 9(19-20-21)، 384-410.

الخطيب، محمد. (2015م). دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة والتشكيل المعماري للمبني السكني في قطاع غزة. (رسالة ماجستير غير منشورة)، الجامعة الإسلامية، غزة.

الخياط، محمد مصطفى. (2006م). الطاقة ومصادرها وأنواعها، القاهرة. . تاريخ الاطلاع: 3 مايو، 2017، على شبكة الانترنت <https://www.scribd.com>

رشدي، كريم. (2016م). الطاقة الشمسية للمنازل .. تاريخ الاطلاع: 15 يوليو، 2017م، على شبكة الانترنت: [http://solarsnipers.com/pages/article\\_details/Solar-power-for-homes](http://solarsnipers.com/pages/article_details/Solar-power-for-homes)

رمانة، رامي. (2017، 25 مارس). 40 شركة غزية تتنافس على تركيب أنظمة الطاقة الشمسية. جريدة فلسطين. تاريخ الاطلاع: 15 نوفمبر، 2017م، على شبكة الانترنت: <http://felesteen.ps/article/40-shrkt-fy-ghzt-ttnafs-ly-trkyb-anzmt-altaqt-alshmsyt>

أبو الروس، خالد. (2015م، 18 يناير). أزمة كهرباء غزة.. الأسباب والحلول. صحيفة الرأي. تاريخ الاطلاع: 18 أكتوبر، 2017م، على شبكة الانترنت: <http://alray.ps/ar/post/130672>

سعادة، بسمة. (2014م). دراسة تقييمية للمدارس الحكومية الخضراء في الضفة الغربية. (رسالة ماجستير غير منشورة)، جامعة النجاح الوطنية، نابلس.

سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية. (2013م). سلطة الطاقة تشرف على مشاريع الطاقة الشمسية بقدرة 50 كيلوواط وبقيمة 290 ألف دولار. تاريخ الاطلاع: 8 ديسمبر، 2017م، على شبكة الانترنت: <http://penra.gov.ps>

سلطة الطاقة والموارد الطبيعية الفلسطينية. (2014م). الكهرباء في غزة.. المرض المزمن. زيارة 18 أكتوبر، 2017م، على شبكة الانترنت: [http://www.penra.ps/index.php?option=com\\_content&view=article&id=864:2014-01-06-08-30-53&catid=4:2009-12-31-08-00-48&Itemid=21](http://www.penra.ps/index.php?option=com_content&view=article&id=864:2014-01-06-08-30-53&catid=4:2009-12-31-08-00-48&Itemid=21)

شرف، عبد العزيز طريح. (1983م). الجغرافيا المناخية والنباتية مع التطبيق على مناخ أفريقيا ومناخ العالم العربي ط9، الإسكندرية: دار المكتبات المصرية.

شركة توزيع الكهرباء. (2017م)، استهلاك الكهرباء لأنواع المبني المختلفة في قطاع غزة. بيانات غير منشورة. غزة: شركة توزيع الكهرباء.

الشلبي، فتحية. (2012م، 15 سبتمبر). مواصفات المبني المدرسي الجيد. ملتقى الوطني الأول للتربية والتعليم. طرابلس، ليبيا.

صالحة، رائد. (1997م). مدينة غزة دراسة في جغرافية المدن ط1، فلسطين، غزة: مطبعة الرنتيسي.

عبد الحافظ، نشوى. (2006م). العلاقة التكاملية بين المباني والخلايا الكهروضوئية .(رسالة ماجستير غير منشورة)، جامعة القاهرة، مصر.

عبد الكريم، نصر. (2010م). تحليل خدمات قطاع التعليم العام من منظور النوع الاجتماعي : دراسة ميدانية من وجهة نظر الفئات المستهدفة. فلسطين، رام الله: المبادرة الفلسطينية لتعزيز الحوار العالمي والديمقراطية.

عبد الهادي، مروة. (2011م) نحو تشكيل معماري مستدام باستخدام الخلايا الكهروضوئية .(رسالة ماجستير غير منشورة)، الجامعة المنصورة، مصر.

عويضة، حاتم. (2010م، 24 مايو). استراتيجيات مواجهة تحديات قطاع الخدمات- القطاع التجاري. رؤية تنموية لمواجهة آثار الحرب والحصار على قطاع غزة. الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين.

كمونة، غادة، ورفو، لينزر. (2011م). تكاملية عمل المبني كمنظومة موظفة للتكنولوجيا المتقدمة في مواجهة الظروف المناخية الخارجية. مجلة الهندسة- بغداد، 17(2)، 37-57.

محيسن، أحمد. (2006م).أنظمة صديقة للبيئة- استخدام الأنظمة الكهروضوئية في المباني. مجلة العمران، العدد الخامس، 8-20، الجامعة الإسلامية، غزة.

المركز الفلسطيني للديمقراطية و حل النزاعات. (2012م). أثر انقطاع التيار الكهربائي على قطاع غزة. تاريخ الاطلاع: 14 أكتوبر، 2017م، على شبكة الانترنت: <http://www.pcdcr.org/arabic/>

النجار، نبيل، والزعبي، ماجد. (2013م). أساليب البحث العلمي- منظور تطبيقي ط3، الأردن، عمان: دار الحامد للنشر والتوزيع.

النمر، نادر. (2004م). المعايير التخطيطية والتصميمية لمباني التعليم الأساسي في قطاع غزة. (أطروحة دكتوراة غير منشورة)، جامعة الأزهر، مصر.

وزارة الإعلام الفلسطيني. (2016). أزمة الكهرباء.. أسبابها ومستقبلها. تاريخ الاطلاع: 17 أغسطس ،2016، على شبكة الانترنت:  
<http://www.gedco.ps/index.php>

وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية-دولة فلسطين. (2017). الكتاب الإحصائي السنوي 2016/2017 فلسطين غزة: الإدارة العامة للتخطيط التربوي.

وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية-دولة فلسطين. (2017). النظام التعليمي. تاريخ الاطلاع: 16 أكتوبر ،2017، على شبكة الانترنت:  
[www.mohe.pna.ps/general-education/Education-System](http://www.mohe.pna.ps/general-education/general-education/Education-System)

وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية-دولة فلسطين. (2017). انقطاع الكهرباء يؤثر سلباً على الاستعداد لامتحانات والبرامج التعليمية. تاريخ الاطلاع: 16 نوفمبر 2017م، على شبكة الانترنت:  
<http://www.mohe.ps/home/2017/05/03/تعليم-غزة-انقطاع-الكهرباء- يؤثر-سلباً-ع/>

وزارة التربية والتعليم العالي الفلسطينية-دولة فلسطين. (2007). تشخيص الواقع التربوي. فلسطين، رام الله: الإدارة العامة للتخطيط التربوي.

وزارة الداخلية والأمن الوطني -دولة فلسطين. (2017). إحصائية: 82% من سكان غزة من الشباب والأطفال. تاريخ الاطلاع: 23 أكتوبر 2017م، على شبكة الانترنت:  
<https://moi.gov.ps/Home/Post/121453>

وزارة الداخلية والأمن الوطني. (2017). إحصائية: عدد سكان القطاع ينطوى 2.2 مليون و15 ألف نسمة. تاريخ الاطلاع: 23 أكتوبر 2017م، على شبكة الانترنت:  
<https://moi.gov.ps/Home/> <https://moi.gov.ps/home/post/111699>

وكالة صفا الفلسطينية. (2013). توقيع 3 اتفاقيات مع قطر الخيرية لمشاريع تعليمية. زيارة 16 نوفمبر ،2017، على شبكة الانترنت:  
<http://safa.ps/post/118880> توقيع-3-اتفاقيات-مع-قطر-الخيرية-لمشاريع-تعليمية

وكالة فلسطين الاخبارية. (2013). التعليم بغزة يشن أول مشروع لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في مدارسه. تاريخ الاطلاع: 21 نوفمبر ،2017م، على شبكة الانترنت:  
<https://paltoday.ps/ar/post/179523>

وكالة معا الاخبارية. (2013م). أزمة الكهرباء ترک المسيرة التعليمية في غزة. تاريخ الاطلاع: 15 شبکة على 2017، يوليو، [الانترنت: http://www.maannews.net/Content.aspx?id=651381](http://www.maannews.net/Content.aspx?id=651381)

ويكيبيديا. (2010م). قطاع غزة، تاريخ الاطلاع: 19 نوفمبر، 2017م، على شبکة انترنت [https://ar.wikipedia.org/wiki/قطاع\\_غزة](https://ar.wikipedia.org/wiki/قطاع_غزة)

## ثانياً: المراجع الأجنبية

Andrew, DR, & March, J. (2006). Thermal Modeling: The ECOTECT Way. *The Natural Frequency Journal*, (002). Retrieved from <http://naturalfrequency.com/articles/thermalelements>

Asfour, O. (2013) . Integration of Photovoltaics into Gaza Strip Residential Buildings: A Comparison between Roof and Façade Installation. *ScienceDirect*,2(1/2), 93-100.

Autodesk. (2011). Ecotect Analysis Help menu.

Azhar, S., Brown, J., & Farooqui R. (2009). *BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software*. Retrieved December 8, 2017, from [https://www.researchgate.net/publication/237835268\\_BIM\\_based\\_Sustainability\\_Analysis\\_An\\_Evaluation\\_of\\_Building\\_Performance\\_Analysis\\_Software](https://www.researchgate.net/publication/237835268_BIM_based_Sustainability_Analysis_An_Evaluation_of_Building_Performance_Analysis_Software)

Basnet, A. (2012). *Architectural integration of photovoltaic and solar thermal collector systems into buildings*. Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.

Boeing, G., Church, D., Hubbard, H., Mickens, J., & Rudis L. (2014). LEED-ND and Livability. *Berkeley Planning Journal*. 27(1), 31-55.

Borgobello, B. (2013, 8 March). *Los Angeles school gets a giant solar wall*. Newatla. Retrieved November 25, 2017, from <https://newatlas.com/green-dot-solar-high-school/26566/>

- Brook Scarpa (2013). *Green dot charter high schools* Retrieved November 25, 2017, from [img.archilovers.com/projects/39b0d21c65004d698ec122b5c2ac07e8.pdf](http://img.archilovers.com/projects/39b0d21c65004d698ec122b5c2ac07e8.pdf)
- Eiffert, P., & Thompson, A. (2000). *U.S. Guidelines for the Economic Analysis of Building-Integrated Photovoltaic Power Systems*. Retrieved July 6, 2017, from [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)
- Eikeland, J. (2015). *What Energy Shortage?*. Retrieved November 20, 2017, from [www.project-syndicate.org/commentary/energy-storage-alevo-by-jostein-eikeland-2015-07?barrier=accessreg](http://www.project-syndicate.org/commentary/energy-storage-alevo-by-jostein-eikeland-2015-07?barrier=accessreg)
- Fantechi, S. (Eds). (2010). *Photovoltaics and nanotechnology: from innovation to industry*. The European Photovoltaics Clusters
- Fishwick, P.A. (1995). *Computer Simulation: The Art and Science of Digital World Construction*. Retrieved December 8, 2017, from <http://ufdc.ufl.edu/UF00095334/00001>
- Fuentes, M. (2007). *Integration of PV into the built environment*. Retrieved July 5, 2017, from [www.brita-in-pubs.eu/bit/uk/03viewer/retrofit\\_measures/pdf/FINAL\\_12\\_Integration\\_of\\_PV\\_red\\_kth\\_rev1.pdf](http://www.brita-in-pubs.eu/bit/uk/03viewer/retrofit_measures/pdf/FINAL_12_Integration_of_PV_red_kth_rev1.pdf)
- Gordon, D. (2010). *Green Schools as High Performance Learning Facilities*. National Clearinghouse for Educational Facilities. Retrieved November 26, 2017, from [www.ncef.org/pubs/greenschools.pdf](http://www.ncef.org/pubs/greenschools.pdf)
- Green Dot Animo Leadership High School / Brooks + Scarpa Architects (2013, 6 March). *Archdaily* . Retrieved November 26, 2017, from <https://www.archdaily.com/340616/green-dot-animo-leadership-high-school-brooks-scarpa-architects>
- Holden, G. (2015). Westborough Academy. *CIBSE Journal*, Retrieved November 29, 2017, from [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/CIBSE\\_Case\\_Study:\\_Westborough\\_Academy](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/CIBSE_Case_Study:_Westborough_Academy)
- Horizon Renewables. (2010). *Solar Photovoltaics & Wind Turbines for homes, farms, schools, commercial and public sector in UK*. Retrieved June 25, 2017, from <http://nienvironmentlink.org/news/HorizonRenewables.php>

Howe, J.C. (2010). Overview of green buildings. *National Wetlands Newsletter*, 33(1).

IEA. (2002). *Building Integrated Photovoltaic Power Systems Guidelines for Economic Evaluation*.

The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability at Sandy Ground / SOM. (2011, 18 January). *Archdaily*. Retrieved November 26, 2017, from <https://www.archdaily.com/780383/the-kathleen-grimmm-school-for-leadership-and-sustainability-at-sandy-ground-som>

The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability at Sandy Ground (2016). AIANY. Retrieved November 27, 2017, from [ainycoteawards.org/2016/wp.../2016/10/THE-KATHLEEN-GRIMM-SCHOOL.pdf](http://ainycoteawards.org/2016/wp.../2016/10/THE-KATHLEEN-GRIMM-SCHOOL.pdf)

Kaundinya, D.P., Balachandra, P.,& Ravindranath, N.H. (2009). Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power- Areview of literature, *ScienceDirect*,13(8), 2041-2050.

Kayal , S. (2009). *Architectural integration of photovoltaic and solar thermal collector systems into buildings*. Master thesis, California Polytechnic State University, USA.

Kone, A. Ç., & Buke, T. (2010). Forecasting of CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion using trend analysis. *ScienceDirect*,14(9), 2906-2915.

Lowder, T. (2012). *The Challenges of Building-Integrated Photovoltaics*. Retrieved November 6, 2017, from <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2012/05/the-challenges-building-integrated-photovoltaics.html>

Masson G., Latour M., Rekinger M., Theologitis I.T., & Papoutsi M.(2013). *Global Market Outlook For Photovoltaics 2013-2017 (2013)*. Retrieved July 26, 2017, from [www.solarpowereurope.org/home/](http://www.solarpowereurope.org/home/)

Ministry of Education and Training – Ontario. (2010). *A Practical Resource for Planning and Building Green Schools in Ontario*. Retrieved November 3, 2017, from [http://www.edu.gov.on.ca/eng/policyfunding/GreenSchools\\_Guide.pdf](http://www.edu.gov.on.ca/eng/policyfunding/GreenSchools_Guide.pdf)

Nair, P. (2006). Planning Technology Friendly School Buildings. Retrieved November 20, 2017, from

<http://www.designshare.com/index.php/articles/planning-technology-friendly-school-buildings/>

Ministry of Education and Training-Ontario. (2010). Green Schools. Resource Guide. Ontario, Canada.

Ozmehmet, E. (2005, 27-29 Sep.). Design attitudes towards sustainability in school building. *The World Sustainable Building Conference*. Tokyo, Japan.

Pearce, J. (2002). *Photovoltaics – A Path to Sustainable Future* (Adobe Digital Editions). doi:10.1016/S0016-3287(02)00008-3.

Pintrest. (2017). Retrieved Augest 18, 2017, from [www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)

Pour, A. (2010). The best architectural form for BIPV in Tehran. *Environmental Science Journal, National Wetlands Newsletter*, 7(3), 43-54.

Salem, T., &Kinab, E. (2016). Analysis of Building-Integrated Photovoltaic Systems: A Case Study of Commercial Buildings under Mediterranean Climate. *Elsevier Journal*, 118, 538-545.

Santhanam, N. (2015). *What is Building Integrated Photovoltaics (BIPV)?* Retrieved November 12, 2017, from <http://www.solarmango.com/ask/2015/10/16/what-is-building-integrated-photovoltaics-bipv/>

Sharma, K., & Pandya, M. (2015). *Towards a Green School on Education for Sustainable Development for Elementary Schools*. NCERT (National Council of Educational Research and Training). India, New Delhi.

Smith, R.(1988). Simulation: The Engine Behind The Virtual World. *Encyclopedia of Computer Science*. Retrieved from <http://www.modelbenders.com/encyclopedia/encyclopedia.html>

Seai. (2010). In *Best Practice Guide Photovoltaics (PV.)* Retrieved July 28, 2017, from [www.seai.ie/Publications/.../Best Practice Guide for PV.pdf](http://www.seai.ie/Publications/.../Best%20Practice%20Guide%20for%20PV.pdf)

Solstice energy. (2012). *Pitched Roof*. Retrieved July 25, 2017, from <http://www.solsticenergy.co.uk/pitched-roof.htm>

- Strong, S. (2016). *Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*. Retrieved July 23, 2017, from [www.wbdg.org/resources/building-integrated-photovoltaics-bipv](http://www.wbdg.org/resources/building-integrated-photovoltaics-bipv)
- Thomas, R., Fordham, M. & Partners (Eds). (2001). *Photovoltaics and Architecture*. London: Spon Press.
- Tsakalakos, L. (Eds). (2010). *Nanotechnology for Photovoltaics*. USA: CRC press.
- UN. (1997). *United Nations Conference on Environment and Development (1992)*. Retrieved November 22, 2017, from <http://www.un.org/geninfo/bp/envirp2.html>
- United Nations General Assembly (1987, 20 March). *Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development*. Retrieved November 28, 2017, from <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>
- Westborough Primary School / Cottrell & Vermeulen Architecture Ltd. (2011, 30 December). *Archdaily* . Retrieved November 26, 2017, from <https://www.archdaily.com/193201/westborough-primary-school-cottrell-vermeulen-architecture>
- Wolter, N. 2003. *Options for Integrating PV into Your Building*. Retrieved July 15, 2017, from [www.ecw.org/wisconsun/learn/bipvoptions.pdf](http://www.ecw.org/wisconsun/learn/bipvoptions.pdf)
- Zemanta company (2013). *How Many Solar Panels Do I Need?*. Retrieved December 4, 2017, from <http://solarpanelsvenue.com/how-many-solar-panels-do-i-need/>