

دولة ليبيا
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة مصراتة - كلية الهندسة
قسم الهندسة الميكانيكية

الجدوى الفنية والاقتصادية لمقترحات إنارة الطرق الدائرية بمدينة مصراتة

مشروع تخرج استكمالاً لمتطلبات درجة البكالوريوس في (الهندسة الميكانيكية)

إعداد الطلاب:

إبراهيم محمد اشتيوي
الحسين محمد نجيب الكبتي
الحسن محمد نجيب الكبتي

إشراف:

أ. أسامة أحمد السنوسي
أ. مصطفى إدريس أبورويص

كلية الهندسة - جامعة مصراتة
قسم التسجيل والدراسة والامتحانات

السيد / رئيس قسم الهندسة الميكانيكية

مقدمو الطلب /

الاسم / إبراهيم محمد اشتيوي رقم القيد / 1601076
الاسم / الحسن محمد نجيب الكبتي رقم القيد / 1701156
الاسم / الحسين محمد نجيب الكبتي رقم القيد / 1701155

نُفيدكم ،،، بأننا قد أكملنا جميع التصحيحات المطلوبة منّا على مشروع التخرج المقدم من قبلنا والذي تمت مناقشته بتاريخ: 2023/07/23م.

☑ نرفق لكم عدد (3) نسخ من المشروع.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

..... / التوقيع

..... / التوقيع

..... / التوقيع

اعتماد الممتحنين:

الطلبة المعنيين قاموا بإجراء التعديلات المطلوبة منهم.

الاسم / د. مصطفى الطاهر العائب / التوقيع

الاسم / أ. عبد المجيد محمود قراب / التوقيع

اعتماد المشرف:

تم إجراء التعديلات المطلوبة من قبل الطلبة، ولا يترتب عليهم أية التزامات أخرى.

الاسم / أ. أسامة أحمد السنوسي / التوقيع

الاسم / أ. مصطفى ادريس أبورويص / التوقيع

التاريخ: / / 2023م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ

وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ﴾

(يونس: الآية 5)

الإهداء

إلى النبع الذي لا يمل العطاء

أمي اللبينة

إلى الذي أكد بالسلوك أن الإنسان موقف والتزام

أبي الحزين

إلى إلهام تفكيري . . . وربيع عمري . . . ونزهة صدقي

الحوتني والحماماتي

إلى من سطرت معهم على الجدران الزمان أجمل الذكريات

الأخواب والمأصقاة

إلى من صاغوا لنا علمهم حروفاً ومن فكرهم منارة تنير لنا سيرة العلم والنجاح

أساتذتنا

إلى كل هؤلاء نهدي حيلة جهدنا

شكر ونقمار

قال تعالى: ﴿رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحاً تَرْضَاهُ وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ﴾.

﴿النمل: 19﴾

اللهم أنت ربنا لا إله إلا أنت، خلقتنا ونحن عبيدك، ونحن على عهدك ووعدك ما استطعنا، نبوء لك بنعمتك علينا ونبوء لك بذنبنا فاغفر لنا، فإنه لا يغفر الذنوب إلا أنت سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت السميع العليم.

واهتداء بقوله تعالى: ﴿وَإِذْ تَأَذَّنَ رَبُّكُمْ لَئِنْ شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ وَلَئِنْ كَفَرْتُمْ إِنَّ عَذَابِي لَشَدِيدٌ﴾.

﴿إبراهيم: 7﴾

فالحمد لله حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه كما يحب ربنا ويرضى، ولك اللهم الشكر والثناء الحسن كما يليق بجلال وجهك وعظيم سلطانك، ولك اللهم الشكر على أن وفقتنا إلى تحقيق هذا الحلم واستكمال هذا البحث ولك الحمد على نعمتك والصلاة والسلام على سيد المرسلين الرسول الأكرم والنبى العظيم سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه أجمعين إلى يوم الدين، والشكر إلى من علمنا حرفا أضاء حياتنا بالعلم نورا صغيرا كان أم كبيرا واهتداء بهدي النبى صلى الله عليه وسلم في قوله: ﴿مَنْ صَنَعَ إِلَيْكُمْ مَعْرُوفًا فَكَافَتْهُ، فَإِنْ لَمْ تَجِدُوا مَا تَكَافَتْهُ فَادْعُوا لَهُ حَتَّى تَرَوْا أَنْكُمْ قَدْ كَافَأْتُمُوهُ﴾ رواه النسائي والترمذي.

فبأسمى معاني الشكر والتقدير واعترافا بمن كان لهم الجهد بعد الله في إنجاز هذا البحث، نتقدم بجزيل الشكر والعرفان الجميل إلى مشرفي المشروع:

أ. أسامة محمد السنوسي أ. مصطفى إدريس أبورويص

الذين أنارا لنا الطريق ولم يبخلا علينا بتوجيهاتهما ونصائحهما التي كان لها بالغ الأثر في إخراج هذا العمل بهذه الصورة فجزاهما الله عنا خيرا الجزاء ولهما كل الاحترام والتقدير.

وأخيرا فائق شكرنا وتقديرنا إلى كل من أسدى لنا مشورة أو قدم لنا نصيحة ومد لنا يد العون والمساعدة ونخص بالشكر الشركة العامة للكهرباء وشركة القلعة للصناعات الحديدية لمساعدتنا في إنجاز هذا البحث وإخراجه على الوجه الأكمل.

فجزاهم الله خير الجزاء

معدو المشروع

الملخص

تعتبر الإنارة من العوامل الأساسية التي تساعد في إظهار جمال المدن وجعلها أكثر أمانًا وراحة للسكان. وتلعب الإنارة دورًا حيويًا في الحفاظ على سلامة السائقين والمشاة وتوفير الرؤية الكافية في الطرق والشوارع. بالإضافة إلى ذلك، تساعد الإنارة في تحسين مستوى الأمان والأمان الشخصي للأفراد في المدن وتقليل معدلات الجريمة، وبالنسبة للمدن التي تستخدم الإنارة الشمسية، فإنها تساعد في توفير الطاقة وتقليل تلوث البيئة، حيث تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة وتحافظ على البيئة وتقلل من انبعاثات الكربون، بشكل عام، تعتبر الإنارة أمرًا ضروريًا في المدن وتساعد في تحسين الراحة والأمان والجمال وتوفير الطاقة والحفاظ على البيئة.

في ليبيا يتم إضاءة المدن باستخدام مصابيح الصوديوم وهو أمر مكلف ناهيك عن التوصيلات الكهربائية التي تحتاجها المصابيح وهو ما يزيد من تكلفته. لاحظنا مؤخرًا اهتمام الحكومة الليبية باستخدام الإنارة الشمسية للطرق في المدن. في مدينة مصراتة يتم تركيب حيث لاحظنا تركيب إنارة شمسية لشارع طرابلس، كما تم تركيب إنارة شمسية لطريق النقل الثقيل.

من منطلق المسؤولية المجتمعية للمهندس تحتم عليه دراسة جدوى هذه المنظومات ومدى جودتها وملائمتها وموثوقيتها. في هذا البحث تم دراسة إنارة طرق الدوائر الأربعة بمدينة مصراتة ووضع تصور لثلاث مقترحات من الإنارة وهي الإنارة الشمسية المستقلة والهجينة ومصابيح LED.

تم تصميم ومحاكاة توزيع الإضاءة وحساب حجم المصابيح وقدرتها باستخدام برنامج *DIALux* ، حيث اعتمدت 3 مصابيح بقوة $196W, 120W, 99W$ للإنارة الطرق، كذلك تم تصميم منظومات الإنارة الشمسية الهجينة والمستقلة من خلال استخدام برنامج *PVSyst*، حيث اعتمدت ألواح شمسية بقدرات مختلفة لكل مصباح لشحن البطارية. كما تم اعتماد تغيير الأعمدة الموجودة حالياً لعدم وجود مواصفات موحدة للأعمدة من حيث طول الذراع وزاويته وغيرها من المواصفات الأخرى. تم دراسة الجدوى الاقتصادية

للمقترحات السابقة والمفاضلة بينها على أساس التكلفة ومعيار فترة الاسترداد بالإضافة إلى معيار العائد / التكلفة وكذلك كمية الطاقة الموفرة، حيث استرجعت أعمدة الإنارة الشمسية بنوعيتها المستقل والهجين تكلفتها في 30 سنة، دون الأخذ في الحسيان التوفير في أسعار الوقود المحروق، وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، في حين أن استخدام مصابيح *LED* تساهم في توفير ما قيمته \$1,56,204 سنويًا على الدولة مقارنة بمصابيح الصوديوم التقليدية.

فهرس المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع	ر. م
أ	الآية	
ب	الإهداء	
ج	الشكر والتقدير	
د	ملخص	
و	فهرس المحتويات	
ح	فهرس الجداول	
ط	فهرس الأشكال	
ك	قائمة الرموز	
م	مقدمة	
الفصل الأول الطاقة الشمسية		
2	الطاقة الشمسية	1-1
3	الطاقة الشمسية في ليبيا	2-1
7	الكهرباء في ليبيا	3-1
10	تقنيات الاستفادة من الطاقة الشمسية	4-1
11	الخلايا الشمسية	5-1
12	أنواع الخلايا الشمسية	1-5-1
13	أنواع الأنظمة الكهربائية للخلايا الشمسية	2-5-1
الفصل الثاني إنارة الطرق		
18	أهمية الإنارة في الطرق	1-2
18	مميزات الإنارة في الطرق	2-2
19	عيوب إنارة الطرق	3-2
20	أنواع إنارة الطرق	4-2
20	الإنارة التقليدية	1-4-2
21	الإنارة الشمسية للطرق	2-4-2
22	الترشيد في استهلاك الطاقة الكهربائية في إنارة الطرق	5-2
23	معايير الجودة في إنارة الطرق	6-2
24	الاستضاءة	1-6-2
24	الوهج	2-6-2
25	لون الضوء	3-6-2
26	إظهار الألوان	4-6-2
27	مكونات منظومة الإنارة الشمسية	7-2
27	اللوح الشمسي	1-7-2
28	البطارية	2-7-2
29	منظم الشحن	3-7-2
31	أعمدة الإنارة	4-7-2
34	مصابيح الإنارة	5-7-2
الفصل الثالث		

متطلبات تصميم الإنارة الشمسية وبرامج المحاكاة		
40	مفاهيم مرتبطة بتصميم إنارة الطرق	1-3
43	تصنيف إنارة الطرق	2-3
44	المؤشرات التصميمية لفئات الإنارة	3-3
46	تصميم منظومة الإنارة الشمسية	4-3
47	حساب حجم اللوح الشمسي	1-4-3
48	حساب حجم ساعات خزن الطاقة في البطاريات	2-4-3
48	حساب حجم منظم الشحن	3-4-3
50	حساب حجم العاكس	4-4-3
50	البرنامج المستخدم في تصميم ومحاكاة إنارة الطرق	5-3
55	البرنامج المستخدم في تصميم ومحاكاة منظومة الإنارة الشمسية	6-3
56	فكرة عمل برنامج المحاكاة	1-6-3
الفصل الرابع تصميم الإنارة		
61	الحالة الدراسية	1-4
61	فرضيات تصميم إنارة الطرق الأربعة قيد الدراسة	2-4
63	تحديد شدة الإضاءة	3-4
65	تصميم إنارة الطرق	4-4
69	محاكاة الإنارة بمصباح LED195	1-4-4
73	محاكاة الإنارة بمصباح LED120	2-4-4
77	محاكاة الإنارة بمصباح LED99	3-4-4
81	تصميم إنارة ممر المشاة	5-4
الفصل الخامس تصميم أعمدة الإنارة الشمسية		
85	المنهجية المتبعة في تصميم ومحاكاة منظومة الإنارة الشمسية	1-5
86	تصميم ومحاكاة منظومة الإنارة الشمسية	2-5
87	المقترح الأول: إنارة الطرق الأربعة باستخدام نظام شمسي مستقل عن الشبكة	1-2-5
93	المقترح الثاني: إنارة الطرق الأربعة باستخدام نظام شمسي هجين	2-2-5
99	مناقشة المقترحات قيد الدراسة	3-5
الفصل السادس الخلاصة والتوصيات		
106	الخلاصة	1.6
108	التوصيات	2.6
109	المراجع	-
114	الملاحق	-

فهرس الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	ر. ج
5	المتوسط اليومي الإشعاع الشمسي الكلي لبعض المدن الليبية.	1-1
66	القيود المستخدمة في تحديد الوزن W لتحديد فئة التصنيف M .	1-4
67	مواصفات الطريق المستخدمة في حساب شدة الإضاءة.	2-4
67	مواصفات المصباح المستخدم في حالة الطريق رقم 1.	3-4
68	مواصفات المصباح المستخدم في حالة الطريق رقم 2.	4-4
68	مواصفات المصباح المستخدم في حالة الطريق رقم 3.	5-4
70	الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة $LED195$.	6-4
70	المؤشرات المحسوبة لفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد $M4$ للمصباح $LED195$.	7-4
71	تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح $LED195$.	8-4
75	الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة $LED120$.	9-4
75	المؤشرات المحسوبة لفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد $M4$ للمصباح $LED120$.	10-4
76	تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح $LED120$.	11-4
79	الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة $LED99$.	12-4
79	المؤشرات المحسوبة لفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد $M4$ للمصباح $LED99$.	13-4
79	تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح $LED99$.	14-4
81	القيود المستخدمة في تحديد الوزن W لتحديد فئة التصنيف P .	15-4
82	المؤشرات المحسوبة لفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد $M4$ للمصباح $LED195$.	16-4
82	تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح $LED195$.	17-4
87	قيم الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح ومعامل الوضوح المستخدمة في محاكاة منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح $LED195$ على أساس المقترح الثاني	1-5

91	نتائج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED195 على أساس المقترح الأول	2-5
93	نتائج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED120, LED99 على أساس المقترح الأول	3-5
95	لاحتياجات نتائج المحاكاة منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED195 على أساس المقترح الثاني	4-5
97	نتائج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED120 على أساس المقترح الثاني	5-5
98	نتائج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED99 على أساس المقترح الثاني	6-5
100	عائد الطاقة من الألواح الشمسية للمقترح الأول	7-5
101	الفيض النقدي مع سنوات استرجاع القيمة	8-5
102	العائد السنوي من طاقة الألواح الشمسية للمقترح الثاني.	9-5
102	المقارنة بين المقترحات طريق قيد الدراسة	10-5

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	ر. ش
8	الوقود المحروق في محطات الكهرباء في ليبيا	1-1
13	الخلايا السليكونية	2-1
26	درجة الحرارة اللونية ودرجة اللون المرتبط بها	1-2
28	تثبيت اللوح الشمسي أعلى عمود الإنارة	2-2
29	تثبيت البطارية على عمود الإنارة	3-2
33	أنواع أعمدة الإنارة حسب الأذرع	4-2
43	الفرق بين المفاهيم الأساسية (السطوع، الإضاءة، شدة الضوء، التدفق الضوئي)	1-3
48	نظام جهد الربط اعتمادا على الطاقة اليومية المطلوبة	2-3
51	واجهة بدء التشغيل برنامج DIALux	3-3
52	يوضح الشكل الواجهة الرئيسية للبرنامج	4-3

54	معايير التصميم المستخدمة في برنامج <i>DIALux</i>	5-3
54	نوافذ إدخال معلومات الطرق لبرنامج <i>DIALux</i>	6-3
56	الواجهة الرئيسية لبرنامج <i>PVsyst</i>	7-3
57	اختيار موقع نصب المنظومة	8-3
57	بيانات المدينة من الإشعاع الكلي، والإشعاع المنتشر، وسرعة الرياح	9-3
59	نافذة اختيار مكونات المنظومة	10-3
59	عرض نتائج المحاكاة في البرنامج	11-3
62	خريطة توضح طرق الدوائر الأربعة قيد الدراسة	1-4
64	جهاز قياس شدة الإضاءة (<i>Digital Light Mete</i>)	2-4
69	توضيح بمسميات الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة	3-4
72	منحنيات الإضاءة الأيزو مترية لتصميم الإضاءة بمصباح <i>LED195</i>	4-4
73	شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء بمصباح <i>LED195</i>	5-4
74	توزيع أعمدة الإنارة المركزية المزدوجة	6-4
74	توضيح بمسميات الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة	7-4
76	منحنيات الإضاءة الأيزو مترية لتصميم الإضاءة بمصباح <i>LED120</i>	8-4
77	شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء للمصباح <i>LED120</i>	9-4
78	توزيع أعمدة الإنارة الفردية على طريق الدائري الأول	10-4
78	توضيح بمسميات الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة <i>LED99</i>	11-4
80	منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح <i>LED99</i>	12-4
80	شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء للمصباح <i>LED99</i>	13-4
83	منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح <i>LED195</i> في ممر المشاة	14-4
83	شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في ممر المشاة للمصباح <i>LED195</i>	15-4
88	منظومة الإنارة الشمسية مستقلة عن الشبكة	1-5
89	الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقدان لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح <i>LED195</i> على أساس المقترح الثاني	2-5
90	المساهمة الشمسية ومعدل الأداء لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح <i>LED195</i> على أساس المقترح الأول	3-5
92	المساهمة الشمسية ومعدل الأداء لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح <i>LED120, LED99</i> على أساس المقترح الأول	4-5
92	الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقدان لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح <i>LED120, LED99</i> على أساس المقترح الأول	5-5
94	منظومة إنارة شمسية هجينة	6-5

94	الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقدوات لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED195 على أساس المقترح الثاني	7-5
96	الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقدوات لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED120 على أساس المقترح الثاني	8-5
98	الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقدوات لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED195 على أساس المقترح الثاني	9-5

قائمة الرموز

الرموز الإنجليزية		
الرمز	الوصف	الوحدة
E_{avg}	متوسط مستوى الإضاءة أو الإنارة	lux
w	عرض الطريق	m
d	المسافة بين الأعمدة	m
Cu	معامل الانحناء	-
Mf	معامل الصيانة	-
E	الإضاءة	lux
Cd	الشعلة، وحدة قياس شدة الضوء	
L_{av}	متوسط إضاءة سطح الطريق	cd/m^2
U_o	مؤشر لتوحيد الإضاءة على سطح الطريق بالنسبة بن الحد الأدنى والمتوسط	-
U_1	مؤشر لتوحيد الإضاءة على سطح الطريق بالنسبة للحد الأدنى والحد الأقصى لشدة الإضاءة	-
TI	زيادة عتبة الكشف	-
E_{total}	الطاقة الكلية في اليوم بوحدة	Wh
R_{EI}	الكثافة النسبية للانبعاث	-
P_p	أقصى قدرة	W
PSH	ساعات الذروة	h/d
DOD	عمق التفريغ للبطاريات	-
N_d	عدد الأيام المغمية التي يتم خلالها تجهيز الحمل بالطاقة المخزونة في البطاريات بدون شحن	-
F_c	معامل التصحيح	-

-	معامل الأمان للقيمة القصوى للتيار القادم من مصفوفات الألواح الشمسية	$S.F$
A	دائرة القصر للوح الشمسي	I_{sc}
A	تيار الشحن للمنظم	I_{cc}
V	فولتية الدائرة المفتوحة للوح الشمسي	V_{DC}
الرموز اللاتينية		
lm	التدفق الضوئي	ϕ
-	معامل الفقد الكلي للمنظومة	η
-	كفاءة الشحن والتفريغ للبطارية	λ_B
الاختصارات		
	<i>Color rendering index</i>	CRI
	<i>Light Emitting Diode</i>	LED
	<i>Threshold Identification</i>	TI
	<i>Relative Emission Intensity</i>	R_{EI}
	<i>Peak Sun Hours</i>	PSH
	<i>Performance Ratio</i>	PR
	<i>Solar fraction</i>	SF
	<i>Return on Investment</i>	ROI

المقدمة:

تعتبر الطاقة الشمسية من بين المصادر البديلة الأكثر استخدامًا في العالم، وذلك بسبب فوائدها العديدة والمتعددة، ومن أهمها الاستدامة والوفرة وكفاءة الطاقة. وتستخدم اليوم العديد من الدول العربية والأفريقية الطاقة الشمسية في مشاريع التطوير والحد من الانبعاثات الكربونية، ومن ضمن هذه الدول دولة ليبيا. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل جدوى استخدام الطاقة الشمسية في إنارة الطرق في دولة ليبيا ورقي كفاءة الطاقة من خلال استخدام مصابيح الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED)، وتحديد الفرص والتحديات المتعلقة بهذه الخيارات. وتهدف الدراسة أيضًا إلى تحديد أفضل الطرق والتقنيات المستخدمة لاستخدام الطاقة الشمسية في إنارة الطرق، وتحديد أهم العوائق والمشكلات التي تواجه استخدام الطاقة الشمسية في هذا القطاع. وتهدف الدراسة أيضًا إلى تحليل الجوانب الاقتصادية والبيئية لاستخدام الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء، وتحديد الفوائد الاقتصادية والبيئية للمجتمعات المحلية في ليبيا. وتشير الإحصائيات الحديثة إلى أن تكلفة إنتاج الكهرباء من خلال نظام الإضاءة الشمسية أصبحت تنافسية بشكل كبير مقارنة بنظام الإضاءة باستخدام المصابيح LED في المناطق النائية، وهذا يجعل استخدام الطاقة الشمسية أكثر جاذبية لتلبية احتياجات الكهرباء. وتساهم هذه الأهداف في تحسين قطاع الطاقة في ليبيا وتحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية في المدى البعيد.

في هذا البحث سيتم تصميم ومحاكاة نظام الإنارة الشمسية، ودراسة جدوى استخدام المنظومات المستقلة والهجينة في الإنارة الشمسية، ومقارنتها بنظام الإنارة باستخدام المصابيح LED، ومقارنة ما سبق بمصابيح الصوديوم التقليدية، من حيث التكلفة استرجاع رأس المال بالنسبة للمنظومات الشمسية إضافات لحساب

القيمة الموفرة من الطاقة المستهلكة في مصابيح *LED*. حيث تم اقتراح طرق الدوائر الأربعة في مدينة مصراتة في ليبيا، كحالة دراسية لدراسات الخيارات السابقة، كما سيتم في هذا البحث اعتماد التوزيع الحالي لأعمدة الإنارة في هذه الطرق، سيوفر هذا البحث معلومات قيمة ونتائج مهمة للباحثين والمهتمين بمجال الطاقة الشمسية والإنارة، وخاصةً لتحسين نظام الإنارة للطرق الداخلية في مدينة مصراتة بليبيا.

الفصل الأول

الطاقة الشمسية

تعتبر الطاقة الشمسية مصدراً واعداً للطاقة في المستقبل نظراً لما توفره من تخفيض في انبعاثات الكربون التي أصبحت شبحاً يهدد البشرية، ونظراً لمحدودية الوقود الأحفوري الذي يعتبر مصدراً أساسياً لتوليد الطاقة في الوقت الحاضر، فقد اهتمت العديد من دول العالم بهذه الطاقة وعملت على تطويرها وتوطينها. يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية عن طريق تجميعها وتحويلها إلى صور أخرى حسب الطلب. يتم ذلك بشكل مباشر عن طريق التجميع التقني للإشعاع الشمسي بواسطة التحويل الكهروضوئي (فوتوفولتي)، أي بالخلايا الشمسية التي تعمل على إنتاج الكهرباء مباشرة من فوتونات الضوء الساقطة عليها، أو بواسطة التحويل الحراري باستخدام المجمعات الشمسية المختلفة وفقاً للغرض المطلوب ودرجة الحرارة المتوخاة. بالرغم من مزايا المجمعات الشمسية التي لا يمكن إغفالها، إلا أن للخلايا الشمسية أهميتها^[1]. يتناول هذا الفصل نبذة عن الطاقة الشمسية في ليبيا وأهم العوائق التي تواجه انتشار هذا النوع من الطاقة المتجددة فيها، والخلايا الكهروضوئية وأنواعها، وفكرة عملها، وطرق توصيلها وأهم تطبيقاتها.

1.1 الطاقة الشمسية

الطاقة الشمسية هي واحدة من أهم أنواع الطاقات المتجددة والمتاحة بشكل واسع في العالم، وتمثل حلاً صديقاً للبيئة ومستداماً لتلبية احتياجات الطاقة العالمية. تعتمد تقنية الطاقة الشمسية على استخدام الضوء والحرارة التي تنبعث من الشمس لتوليد الكهرباء وتغذية الأجهزة والأنظمة الكهربائية المختلفة. وتتميز بوفرته في جميع أنحاء العالم وبشكل مجاني، مما يعني أنه يمكن استخدامها بشكل فعال لتلبية احتياجات الطاقة في العديد من المناطق والدول.

تُستخدم الطاقة الشمسية في العديد من التطبيقات المختلفة، ومن بين هذه التطبيقات:

1. **توليد الطاقة الكهربائية:** حيث يتم استخدام الألواح الشمسية لتوليد الطاقة

الكهربائية، وتستخدم هذه الطاقة في تشغيل المنازل والمباني والمعدات الصناعية.

2. **التدفئة:** يمكن استخدام الطاقة الشمسية لتسخين المياه والهواء في المنازل

والمباني، وذلك باستخدام أنظمة التسخين الشمسي.

3. **التبريد:** يتم استخدام الطاقة الشمسية لتشغيل أنظمة التبريد الشمسي التي

تستخدم الطاقة الحرارية لتبريد المنازل والمباني.

4. **الري الزراعي:** يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية في تشغيل أنظمة الري

الزراعي، حيث يتم استخدام طاقة الضوء الشمسي لتشغيل مضخات المياه.

5. **شحن الأجهزة الإلكترونية:** يُمكن استغلال الطاقة الشمسية في شحن الأجهزة

الإلكترونية المحمولة التي تستخدم في الرحلات والتخييم، حيث يتم استخدام

الشواحن الشمسية لاستيعاب الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة كهربائية لشحن

هذه الأجهزة.

6. **إنارة الطرق:** تُعد إنارة الطرق والشوارع باستخدام الطاقة الشمسية تقنية فعالة

وحديثة لتوفير الإنارة اللازمة في المناطق العامة، وذلك بتثبيت أنظمة إنارة

شمسية، وخاصة في المناطق التي تقتقر إلى شبكة كهربائية مستقرة.

تتميز إنارة الطرق بالطاقة الشمسية بالعديد من المزايا، بما في ذلك توفير الطاقة والحد

من الانبعاثات الضارة للغاية، وتحسين كفاءة الطاقة في المجتمعات. كما أنها توفر

حلاً مستداماً وفعالاً لتشغيل الإنارة العامة في المناطق النائية والمناطق التي تقتقر إلى

التوصيل بالشبكة الكهربائية، وتقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري وتوفير تكلفة الصيانة.

بشكل عام، تعتبر إنارة الطرق بالطاقة الشمسية تقنية مبتكرة وفعالة للغاية في تلبية الاحتياجات الإنارة العامة في المجتمعات، وتشكل حلاً مستداماً وفعالاً للتحويل إلى مجتمعات أكثر صداقة للبيئة وأكثر كفاءة من حيث استخدام الطاقة.

تحتل الطاقة الشمسية بدعم كبير من قبل الحكومات والمجتمعات المحلية، حيث تعتبر واحدة من الحلول الأفضل لتلبية احتياجات الطاقة في المستقبل، وتحسين الاقتصادات الوطنية والعالمية، وتحسين الحياة في العديد من المجالات. وباستمرار تطور التقنيات المستخدمة في استخدام الطاقة الشمسية، يمكن توقع أن تلعب دوراً أكبر في مستقبل الطاقة في العالم وتحسين جودة الحياة بشكل أفضل.

2.1 الطاقة الشمسية في ليبيا

الاعتماد المباشر على الوقود الأحفوري كمصدر رئيسي للطاقة له آثار مستقبلية كبيرة، والتي بدأت ملامحه في الظهور في صورة تحديات كبيرة تواجه إنتاج المياه والطاقة تتعلق بالتكلفة العالية للإنتاج، وعدم استدامة الموارد الطبيعية من مياه ووقود أحفوري، والاستهلاك المتنامي للفرد^[2]، بالإضافة لتلوث البيئة المحيطة الذي يعتبر من أكبر المشاكل التي تسببها المحطات التقليدية نتيجة حرق الوقود الأحفوري؛ بل يصل تأثيرها على طبقات الجو العليا (الأوزون)، وتسبب مشاكل الاحتباس الحراري. فعلى سبيل المثال، خلال السنوات الماضية تسببت المحروقات البترولية في

ليبيا في انبعاث أكاسيد الكربون بأكثر من 60%، وحوالي 40% من الغاز الطبيعي، حيث بلغ انبعاث ثاني أكسيد الكربون 50 ميجا طن خلال العام 2004 [3].

من هذا المنطلق وبالإضافة إلى تمتع ليبيا بثراء مصادر الطاقات المتجددة والموقع الجغرافي المتميز القريب من أسواق الطاقة جاء اهتمام ليبيا بهذه المصادر حيث تجرى العديد من الأبحاث والتطبيقات المتعلقة بالطاقة المتجددة مثل دراسات وأبحاث تقييم مصادر الطاقة المتجددة، والتحويل الحراري للطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والخلايا الشمسية. كذلك القيام ببعض التطبيقات الميدانية المحدودة للطاقة الشمسية.

تتميز ليبيا بموقعها الجغرافي بين دول أفريقيا وجنوب أوروبا، وبتنوع تضاريسها، وأجوائها المدارية والصحراوية، وبمساحتها الشاسعة التي تبلغ 1.7 مليون كيلومتر مربع وساحلها الذي يبلغ 1900 كيلومتر، كما تمثل الصحراء 80% من مساحتها [3]؛ مما يجعلها وفيرة بمصادر الطاقات المتجددة، كالتاقة الشمسية، المتوفرة بدون ثمن، زيادة على أنها صديقة للبيئة، إلا أنها لازالت تعتمد على النفط والغاز كمصدر للطاقة.

تقع ليبيا في قلب الحزام الشمسي ويصل ساعات السطوع الشمسي (3000-3500) ساعة / السنة [2]. ويعتبر الإشعاع الشمسي في ليبيا عال جداً، حيث يصل متوسط الإشعاع الشمسي اليومي ببعض مناطق ليبيا إلى $6kWh/d \cdot m^2$ ، كما أن التغير في شدة الإشعاع الشمسي يتوافق كثيراً مع تغير الطلب على الطاقة الكهربائية المطلوبة من الشبكة العامة. إلا أن هذه الطاقات غير مستغلة باستثناء بعض التطبيقات البسيطة التي تستغل الطاقة الشمسية باستخدام الخلايا الكهروضوئية مثل ضخ المياه، محطات

تقوية شبكة الاتصالات، إمداد بعض المناطق الريفية بالكهرباء، إنارة الشوارع والهواتف الجواله والتي لا تتجاوز في مجملها $4000kW$ ^[2].

ويمكن للطاقة الشمسية أن تلعب دوراً حيوياً في تلبية احتياجات الطاقة في ليبيا، وخاصة في المناطق النائية التي تفتقر إلى توفر الطاقة الكهربائية. كما أن الاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية يمكن أن يساهم في تحسين الاقتصاد الوطني وتوفير فرص العمل في مجال الطاقة المتجددة، إلا أن الاستغلال الأمثل لهذه الموارد تعترضه معوقات وعراقيل. أولى هذه المعوقات هي المعوقات المالية والتمويلية؛ حيث لا يوجد دعم مالي كافٍ للبحث والتطوير وبرامج وخطط التدريب والتأهيل في مجالات الطاقات المتجددة. كما أن دعم المحروقات في ليبيا يجعل الطاقات المتجددة غير قادرة على المنافسة. إضافة للمعوقات الفنية والتقنية؛ حيث لا وجود للمشاريع التجريبية والمشاريع الرائدة في البلاد إلا على نطاق ضيق، كما لا يوجد لبرامج فعالة لنقل تقنيات الطاقات المتجددة ولا توجد أي اشتراطات خاصة للطاقات المتجددة في كود الشبكة وغيرها من المعوقات الفنية والتقنية، فضلاً عن المعوقات التشريعية والقانونية؛ حيث أن ليبيا تعاني من نقص في التشريعات والقوانين المتعلقة بتشجيع ودعم الاستثمار في مجال الطاقات المتجددة. ويوضح الجدول (1.1) المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الكلي في المدن الليبية.

3.1 الكهرباء في ليبيا

تُعد الطاقة الكهربائية أحد أهم العوامل اللازمة لتحقيق التنمية الاقتصادية، حيث يتأثر اتجاه وسرعة التنمية الاقتصادية بشكل كبير بكفاءة استخدام الطاقة الكهربائية. وبالتالي، يُعدُّ

جدول (1.1): المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي الكلي لبعض المدن الليبية.

$\frac{kWh}{d.m^2}$ المتوسط اليومي للإشعاع الكلي													
المتوسط	ديسمبر	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أغسطس	يوليو	يونيو	مايو	أبريل	مارس	فبراير	يناير	المدينة
4.94	1.83	3.15	4.00	5.48	6.47	7.05	7.09	6.45	5.97	5.00	3.87	2.95	طرابلس
5.36	3.50	4.10	5.10	5.80	6.30	6.80	6.60	6.30	6.30	4.70	4.80	4.00	غات
5.48	3.44	3.86	4.83	5.74	6.74	7.17	7.16	6.74	6.56	5.37	4.54	3.66	جالو
5.88	3.97	4.75	5.56	6.51	6.96	7.26	7.35	6.65	6.68	5.81	4.88	4.18	سبها
6.05	3.99	4.70	5.67	6.45	7.19	7.25	7.43	7.24	6.86	6.04	5.38	4.43	الكفرة
5.77	3.51	4.00	5.13	6.22	7.10	7.66	7.67	7.10	6.71	5.59	4.70	3.80	القبة

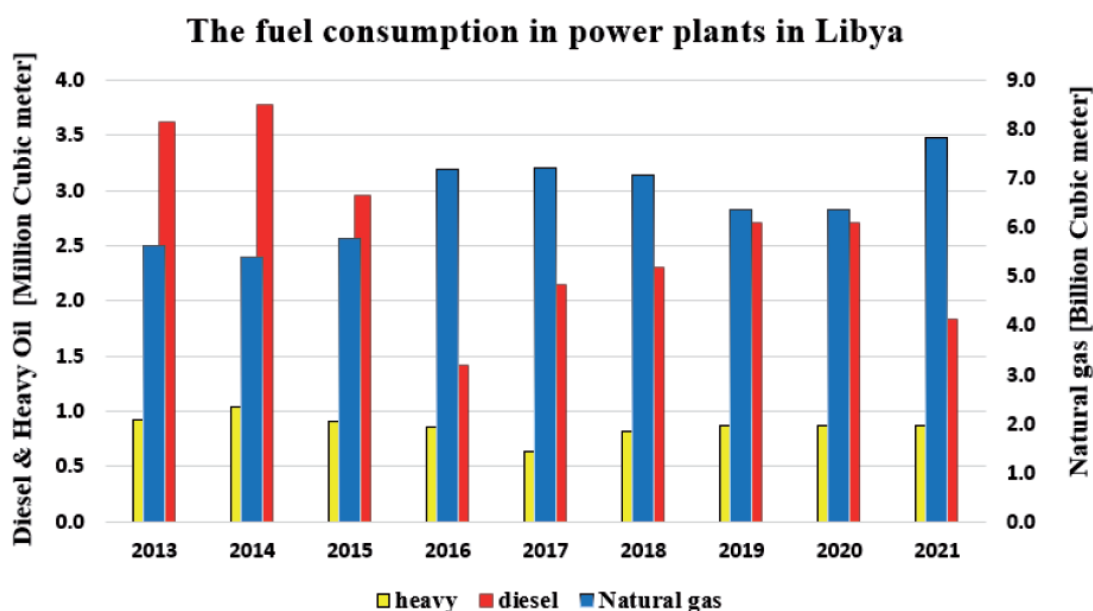
حجم استهلاك الطاقة الكهربائية للفرد مؤشراً لدرجة التنمية الاقتصادية للبلد، كما أنها ترتبط مباشرة بعوامل أخرى للتنمية الاقتصادية [4].

ومن هذا المنطلق، يجب تغيير الاتجاه الحالي للاستهلاك الزائد للطاقة، لضمان الحفاظ على العملية التنموية المستدامة. إن الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية، وزيادة الثراء، يتطلب خدمات كهربائية موثوقة. وفي المجتمعات الحديثة، ترتبط جودة الحياة بشكل وثيق بتوافر الطاقة الكهربائية، ولها تأثير متعدد الأبعاد على المجتمع. ويهدف نظام الطاقة الكهربائية الحديث إلى توفير طاقة كهربائية اقتصادية بأقل تكلفة ممكنة للزبائن، وبدرجة عالية من الموثوقية والجودة، وذلك لتلبية احتياجاتهم المتزايدة.

تعتمد محطات توليد الطاقة في ليبيا حتى الآن على الوقود التقليدي مثل الزيت الثقيل والزيت الخفيف والغاز الطبيعي. تعتبر هذه المحطات المورد الرئيسي للكهرباء في الشبكة الليبية. يبلغ متوسط كفاءة الطاقة التي تولدها هذه المحطات والبالغة 6.4

جيجاوات حوالي 33%. وتحتاج هذه الكمية من الطاقة إلى حوالي 3.5 مليون متر مكعب من الزيت الثقيل والخفيف سنوياً، بالإضافة إلى 6,531,492,999 متر مكعب من الغاز الطبيعي [5].

يكلف الوقود الحكومة الليبية حوالي 4.5 مليون دولار في اليوم [6]. وبالتالي، تباع الحكومة الطاقة الكهربائية بتعريفة 0.083 دولار للكيلووات ساعة. وتموّل الحكومة وتدعم الوقود المحترق بما يقرب من (655-1,318) مليون دولار سنوياً تعتمد على أسعار النفط والغاز الطبيعي [7]، يوضح الشكل (1.1) كمية الوقود المستهلكة في محطات الطاقة الليبية في الفترة من 2013-2021 [8].



شكل (1.1): الوقود المحروق في محطات الكهرباء في ليبيا خلال الفترة (2013-2021)

وفقاً للبيانات المتاحة حتى عام 2021 للشركة العامة للكهرباء، يبلغ الطلب الأقصى على الطاقة الكهربائية في ليبيا حوالي 7,000 ميجاوات. ويتزايد هذا الطلب بشكل مستمر بسبب الزيادة السكانية والتنمية الاقتصادية والصناعية في البلاد، كما شهدت

السنوات الحالية أكبر طرح للأحمال على المستهلكين في ليبيا، تقدر بما يزيد عن 4 ساعات يومياً^[8]. هذا يعكس التفاوت الكبير بين العرض والطلب، وقد تم تحديث بنية توليد الطاقة الكهربائية في السنوات الأخيرة لتلبية هذا الطلب، وتم توسيع شبكات النقل والتوزيع لتحسين كفاءة التوزيع والاستخدام الأمثل للطاقة الكهربائية.

ومع ذلك، مازالت هناك بعض التحديات التي تواجه البلاد في تلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية، بما في ذلك الاعتماد الكبير على الطاقة المستوردة والتحول إلى استخدام الطاقات المتجددة. وتعتبر الصناعات النفطية، وصناعة الحديد والصلب، وصناعة الإسمنت من أهم الصناعات التي تحتاج إلى كميات كبيرة من الطاقة.

ومع الوضع الحالي للتنمية في الطاقة الكهربائية من المرجح أن تتفاقم في السنوات القادمة مع زيادة نسبة نمو في الاستهلاك الحالي، مما يجعل له تأثير سلبي شامل على القطاع الصناعي ويعيق نمو الاقتصاد الوطني^[4].

الخيار الأفضل والأسهل لتعويض النمو في الطلب ومنع طرح الأحمال من خلال زيادة كفاءة الطاقة أي استخدام الطاقة بطريقة أكثر فعالية واستدامة، بمعنى تقليل الكمية من الطاقة المستخدمة للحصول على نفس الكمية من الخدمة أو الإنتاج. يمكن تحقيق زيادة كفاءة الطاقة بعدة طرق، من بينها:

1. استخدام المصادر المتجددة للطاقة مثل الطاقة الشمسية والرياح.
2. تحسين كفاءة الأجهزة الكهربائية واستخدام الأجهزة ذات العلامة الخضراء التي تستهلك كمية أقل من الطاقة.

3. تشجيع الوعي بأهمية زيادة كفاءة الطاقة وتعزيز السلوكيات المستدامة في المجتمع.

4. تحسين عزل المباني والمنشآت واستخدام مواد عاكسة للحرارة لتقليل استخدام أجهزة التكييف والتدفئة.

بالإضافة إلى فوائد الحفاظ على البيئة وتقليل انبعاثات الكربون، يمكن لزيادة كفاءة الطاقة أن توفر مزايا اقتصادية كبيرة، مثل توفير التكاليف وتحسين الإنتاجية وتحسين جودة الحياة في المجتمعات.

4.1 تقنيات الاستفادة من الطاقة الشمسية

يمكن الاستفادة من الطاقة التي يحملها الإشعاع الشمسي إلى الأرض عن طريق تجميع هذه الطاقة وتحويلها إلى صور أخرى حسب الطلب. يتم ذلك بشكل مباشر عن طريق التجميع التقني للإشعاع الشمسي بواسطة التحويل الكهروضوئي (فوتوفولتي) ، أي بالخلايا الشمسية التي تعمل على إنتاج الكهرباء مباشرة من فوتونات الضوء الساقطة عليها، أو بواسطة التحويل الحراري باستخدام المجمعات الشمسية المختلفة وفقاً للغرض المطلوب ودرجة الحرارة المتوخاة.

ترتكز تقنية الطاقة الشمسية على استخدام الألواح الشمسية التي تحول الضوء الشمسي إلى الكهرباء، والبطاريات التي تخزن الكهرباء المولدة، والعواكس، والمكونات الأخرى التي تحول الكهرباء المولدة إلى التيار المناسب للاستخدام في الأجهزة الكهربائية.

5.1 الخلايا الكهروضوئية (الفوتوفولتية)

الخلايا الكهروضوئية أو خلايا الفوتوفولتية مصطلحان يدلان على معنى واحد، فكلمة فوتوفولتيك (*Photovoltaic*) هو اسم مشتق من طبيعة عمل الخلايا وهي تتكون من شقين كلمة (*Photo*) تعني ضوء وكلمة (*Voltaic*) تعني كهرباء، وهذا يعني أن وظيفتها الأساسية هي تحويل الضوء الساقط عليها مباشرة إلى طاقة كهربائية، واستخدمت هذه الخلايا في البداية في الأقمار الصناعية ومحطات الفضاء للحصول على الكهرباء من أشعة الشمس مباشرة، أما الآن فبدأت تدخل في العديد من الأجهزة الإلكترونية، وكذلك كمصدر للطاقة الكهربائية في المنازل^[9].

ويرجع سبب هذا التوجه في استخدام هذه التقنية لاتصافها بعدد من المميزات مقارنة مع غيرها من التقنيات الأخرى أهمها^[10]:

1. تعتبر ذات عمر افتراضي طويل نسبياً (أكثر من 20 عاماً).
2. تمتاز بتكاليف تشغيل وصيانة منخفضة حيث أنها ألواحاً ثابتة مما يعطي إمكانية إنقاص وأحياناً الاستغناء كلياً عن صيانة هذه التقنية.
3. تعمل دون حدوث حركة أو ضوضاء أو تلويث للبيئة حسب ما هو معروف حالياً.
4. تعد الخلايا الكهروضوئية ذات موثوقية عمل عالية.
5. عدم الحاجة إلى تنظيم المراحل والعمليات الحرارية اللازمة لإنتاج الكهرباء في محطات التوليد التقليدية.

وعلى الرغم من هذه المميزات إلا أنه يحد من انتشارها التكاليف الابتدائية العالية للمنظومة والسعة التخزينية المنخفضة للطاقة. وعلى هذا الأساس فإنه تجرى العديد من البحوث والدراسات

التي تهدف بصفة رئيسية إلى خفض تلك الكلفة عن طريق تحسين كفاءة التحويل للخلايا والنظم الكهروضوئية وذلك بمعالجة تركيبها وخفض كلفة تصنيعها واستخدام عناصر جديدة من أشباه الموصلات.

1.5.1 أنواع الخلايا الشمسية

تتنوع الخلايا الشمسية تبعاً لاختلافها عن بعضها البعض في المادة التي تصنع منها الخلية بالإضافة إلى التركيب البلوري للمادة ونوع الشوائب المضافة إليها وأهم هذه الأنواع:

1. الخلايا السليكونية

لقد تركّز الاهتمام على تصنيع الخلايا الشمسية السليكونية وذلك لتوفر عنصر السيليكون في الطبيعة علاوة على أن العلماء والباحثين تمكنوا من دراسة هذا العنصر دراسة مستفيضة وتعرفوا على خواصه المختلفة وملاءمته لصناعة الخلايا الشمسية المتبلورة ومتصدعة التبلور^[11].

أ. الخلايا السليكونية أحادية التبلور (*Monocrystalline silicon cells*):

وهي عبارة عن خلايا قُطعت من بلورة سيليكون مفردة، وكفاءة هذا النوع من الخلايا من 11 إلى 16%. وبالرغم من الكفاءة العالية التي تختص بها الخلايا أحادية التبلور إلا أن سعرها مرتفع جداً لكونها مصنوعة من سيليكون أحادي البلورة وعالي النقاوة حيث أن طريقة التصنيع عالية التكاليف وتحتاج إلى عمال مهرة، والشكل (أ.2.1) يوضح خلية سيليكونية من نوع البلورة الواحدة^[11].

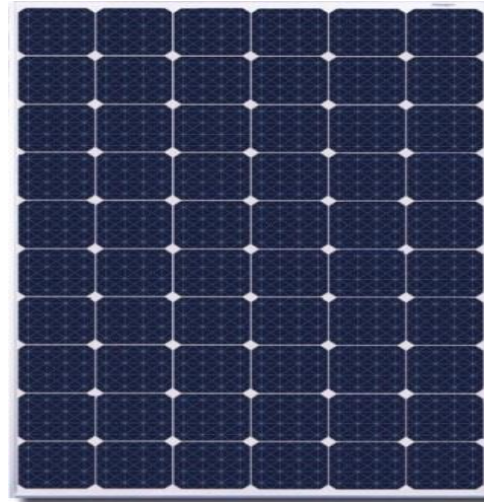
ب. خلايا السليكونية المتعددة التبلور (*Poly – crystalline silicon cells*):

وهي عبارة عن رقائق من السيليكون كُشّطت من بلورات سيليكون أسطوانية ثم تعالج كيميائياً في أفران لزيادة خواصها الكهربائية وبعد ذلك تغطي أسطح الخلايا بمضاد الانعكاس لكي تمتص

الخلايا أشعة الشمس بكفاءة عالية وكفاءة هذا النوع من الخلايا حوالي 9 إلى 13%. وبالرغم من كونها أرخص وأسهل تصنيعاً من الخلايا الأحادية البلورة بسبب النقاوة الأقل للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة من سابقتها، والشكل (2.1.ب) يوضح خلية سيليكونية متعددة التبلور^[11].



(ب)



(أ)

شكل (2.1): الخلايا السيليكونية^[12].

2. خلايا الطبقة الرقيقة - الشريطية (*Thin Film cell*)

تصنع خلايا الطبقة الرقيقة عن طريق ترسب طبقات من مواد أشباه الموصلات بسمك 0.3 إلى 2 ميكرومتر على ركائز من الزجاج أو الفولاذ المقاوم للصدأ، وتعتبر كفاءة هذه الخلايا عالية مقارنة بتكاليف المواد الخام التي أقل من تكاليف المعدات والتجهيزات^[13].

2.5.1 أنواع الأنظمة الكهربائية للخلايا الشمسية

تتكون أنظمة ربط الخلايا الشمسية من مجموعة من الخلايا الشمسية، والتي تعتبر مصدرًا للطاقة الشمسية، بالإضافة إلى مجموعة من المكونات الإلكترونية والأسلاك والمسامير والبطاريات والعواكس، وتهدف هذه الأنظمة لجمع الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة كهربائية.

تتنوع الأنظمة الشمسية تبعًا للنظام الكهربائي بمعنى ربطها أو عدم ربطها بالشبكة الكهربائية، حيث يوجد ثلاثة أنظمة رئيسية^[12]:

- i. نظام منفرد غير مرتبط مع الشبكة (النظام المستقل).
- ii. نظام مرتبط مع الشبكة الكهربائية.
- iii. نظام الربط الهجين.

i. الأنظمة المستقلة (المعزولة عن الشبكة)

هذا النوع من الأنظمة الشمسية يكون غير مرتبطة بالشبكة، مما يجعله مصدر الطاقة الوحيد للحمل الموصول به سواء كان منزل أو برج اتصالات أو أي حمل آخر^[13]. يتم تخزين الطاقة الزائدة المولدة من الخلايا الشمسية في بطاريات خاصة، ويتم استخدام هذه البطاريات لتشغيل الأحمال الكهربائية في الليل أو في الأيام الغائمة. وتعتبر الأنظمة المستقلة قابلة للتطبيق في مناطق المعزولة التي تكون فيها خطوط شبكة الكهرباء بعيدة، مثل المناطق الريفية أو الجزر البعيدة عن الشاطئ والمتواجدة في مناطق ذات اشعاع شمسي عالي. ولكن يمكن أيضا أن تستخدم داخل المدن في الحالات التي تكون فيها تكلفة الاستفادة من كهرباء الشبكة العامة عالية.

يمكن للأنظمة المستقلة أن تكون صغيرة بما يكفي لتلبية احتياجات الطاقة الكهربائية في المنازل أو البنايات الصغيرة، أو يمكن أن تكون أكبر لتغذية المباني الكبيرة أو المنشآت الصناعية. ومن الممكن أيضاً تركيب مولدات طاقة الرياح أو مولدات الديزل كمولدات احتياطية لتوليد الكهرباء في حالة عدم وجود ضوء الشمس الكافي لشحن البطاريات.

يعتبر النظام المستقل من الأنظمة الأكثر تكلفةً بسبب التكاليف العالية للبطاريات. ومع ذلك، فإنه يوفر الاستقلالية الكاملة عن الشبكة العامة ويرفع عن المستخدمين أي اعتماد على توفر التيار الكهربائي، ويمكن أن يوفر المال على المدى الطويل ويحسن الاستدامة البيئية.

ii. الأنظمة المتصلة مع الشبكة

يشير مصطلح أنظمة توليد متصلة بالشبكة إلى أنظمة توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الخلايا الشمسية، والتي ترتبط بشبكة الكهرباء العامة بحيث يمكنها إمداد المستخدمين بالطاقة الكهربائية واستلام الطاقة من الشبكة عند الحاجة.

كما تعمل هذه الأنظمة على إمداد الشبكة العامة بالطاقة، حيث أن نسبة إمدادات الطاقة من النظام الكهروضوئي لشبكة الكهرباء يختلف، اعتماداً على حجم نظام الطاقة الكهروضوئي، وكذلك معدل استهلاك الحمل للطاقة، حيث يتم تصدير الفائض من الطاقة إلى الشبكة فقط. أما عندما لا يكون هناك ضوء الشمس للتوليد الكهروضوئي في الليل، فإنه يحدث العكس بحيث تعمل شبكة الكهرباء على تزويد المبنى بالطاقة. وبذلك يكون النظام المتصل بالشبكة وسيلة فعالة لتقليل الاعتماد على الشبكة العامة للحصول على الطاقة، كما يمكن الاستغناء عن

النضائد، وكذلك زيادة إنتاج الطاقة المتجددة، والتقليل من تلوث البيئة، إلا أن هذه الأنظمة تتطلب شبكة مستقرة^[14].

iii. نظام الربط الهجين

وهو نظام يستخدم في المناطق التي تعاني من انقطاعات في الكهرباء، حيث يدمج هذا النظام بين النظام المستقل ونظام الربط بالشبكة. يتم تخزين الطاقة الزائدة المولدة من الخلايا الشمسية في بطاريات خاصة، ويتم استخدام هذه البطاريات لتشغيل الأحمال الكهربائية في حالة انقطاع التيار الكهربائي عن الشبكة الكهربائية.

يتم تصميم نظام الربط الهجين للمنظومات الشمسية بشكل يضمن الحد الأدنى من الخسائر في الطاقة والتكاليف، ويتم استخدام تكنولوجيا الإدارة وأدوات التحكم الذكية لتحقيق أفضل أداء للنظام. كما يتميز هذا النظام بالمرونة والقدرة على التكيف مع تغيرات الطلب على الطاقة الكهربائية، ويمكن توسيعه بسهولة وفقاً لاحتياجات المستخدمين.

بشكل عام، يعد نظام الربط الهجين للمنظومات الشمسية حلاً فعالاً ومستداماً لتوفير الطاقة الكهربائية، ويعد خياراً اقتصادياً وبيئياً لتوليد الطاقة الكهربائية في المجتمعات المختلفة.

الفصل الثاني

إنارة الطرق

تعتبر إنارة الطرق عنصراً أساسياً في توفير الرؤية والأمان للمجتمعات، إذ تساعد في تقليل الحوادث المرورية وتعزيز الاستدامة البيئية وتحسن جودة الحياة في المدن والمناطق الحضرية. سنستعرض في هذا الفصل الهدف من إنارة الطرق، أهميتها، مميزاتها، وعيوبها، بالإضافة إلى مكونات منظومة الإنارة الشمسية وأهم التفاصيل المرتبطة بها.

1.2 أهمية الإنارة في الطرق

توفير الإنارة الكافية للطرق والشوارع العامة خلال الليل يعتبر أمراً ضرورياً لتسهيل حركة المركبات والمشاة، وتحسين السلامة المرورية. عندما تكون الإنارة غير كافية، يمكن أن تزيد من حدوث حوادث المرور والتصادمات بين المركبات والمشاة، وتؤثر على قدرة السائقين على ملاحظة العلامات المرورية والإشارات الضوئية والعوائق الأخرى على الطريق [15] [16].

بالإضافة إلى السلامة المرورية، إنارة الطرق تساهم في تعزيز الأمن العام وتقليل حدوث الجرائم والأنشطة غير المشروعة في الأماكن العامة خلال الليل. فإنه يصعب على المجرمين الاختباء في الظلام أو القيام بأعمالهم بدون أن يتم اكتشافهم من قبل الجهات المختصة.

بالإضافة إلى ذلك، إنارة الطرق تعزز الحياة الاجتماعية والتجارية في المناطق الحضرية، حيث تشجع الناس على الخروج للتنزه والتسوق وتناول الطعام في الأماكن العامة خلال الليل. وبالتالي، تساهم إنارة الطرق في تحسين جودة الحياة وتعزيز النشاط الاقتصادي في المناطق الحضرية.

من خلال توفير إنارة كافية للطرق والشوارع العامة، يمكن تعزيز السلامة المرورية، وتقليل الجرائم والأنشطة غير المشروعة، وتعزيز الحياة الاجتماعية والتجارية في المناطق الحضرية.

2.2 مميزات إنارة الطرق

تتمثل المميزات الرئيسية لإنارة الطرق فيما يلي:

1. **تحسين الأمن والسلامة:** تعمل إنارة الطرق على تحسين الرؤية الليلية وتقليل حوادث السير والجرائم في المناطق المظلمة، كما أنه يساعد على توجيه السائقين والمشاة بشكل أفضل.

2. **تحسين الجو المحيط:** تخلق إنارة الطرق جواً لطيفاً خلال الليل ويزيد من الجمالية البصرية للمنطقة.

3. **تحسين النشاط التجاري:** يزيد إنارة الطرق من نشاط الأعمال التجارية في المنطقة، حيث يعمل على زيادة الحركة وتحسين الأمان والراحة للزبائن.

4. **توفير الطاقة:** يمكن استخدام تقنيات الإنارة الذكية والحديثة لتوفير الطاقة وتقليل التكاليف، حيث يتم التحكم في كمية الإنارة المطلوبة وفقاً للوقت والموقع والحاجة.

5. **الاستدامة البيئية:** يمكن استخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح لتوليد الطاقة اللازمة لإنارة الطرق، مما يقلل من الانبعاثات الضارة ويساهم في الاستدامة البيئية.

بشكل عام، تعتبر إنارة الطرق ضرورية لتحسين الأمان والراحة والجمالية البصرية للمنطقة، وتساهم في تعزيز النشاط التجاري والاستدامة البيئية.

3.2 عيوب إنارة الطرق

على الرغم من أن إنارة الطرق لها العديد من المزايا والفوائد، إلا أن هناك بعض العيوب والمشاكل التي يمكن أن تواجهها، منها:

1. **الضوضاء:** يمكن أن يؤدي صوت المصابيح والأجهزة الكهربائية المستخدمة في إنارة الطرق إلى إزعاج السكان المجاورين.

2. **التلوث الضوئي:** يمكن أن تؤثر إنارة الطرق الزائد على الحياة البرية والنباتات والحشرات والطيور، كما يمكن أن يؤثر على الرؤية الليلية للأفراد.

3. **الإهدار في الطاقة:** يمكن أن تستخدم مصابيح الإنارة التقليدية كمصادر للطاقة والتي قد تستهلك كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية وتؤدي إلى إهدارها.

4. **التكلفة:** يمكن أن يكون تركيب وصيانة أنظمة الإنارة باهظة الثمن، وخاصة في المناطق النائية أو الصعبة الوصول.

5. **الحوادث والأعطال:** قد تحدث حوادث أو أعطال في منظومات الإنارة والتي قد تؤدي إلى انقطاع الإنارة وبالتالي تعريض السكان للخطر، وتتطلب إصلاحات سريعة وفعالة.

بشكل عام، يمكن تجاوز العيوب والمشاكل المحتملة لإنارة الطرق باستخدام تقنيات الإنارة الحديثة والذكية والمتطورة^[17].

4.2 أنواع إنارة الطرق

يمكن تقسيم إنارة الطرق إلى قسمين رئيسيين:

1.4.2 الإنارة التقليدية

الإنارة التقليدية هي نوع من أنواع الإنارة التي تستخدم المصابيح الكهربائية المختلفة لتوفير الإنارة الكافية على الطرق والشوارع والمناطق الصناعية والتجارية والسكنية. تعد الإنارة التقليدية من أكثر أنواع الإنارة استخدامًا في العالم بسبب قدرتها على توفير الإنارة القوية والمتينة في جميع الظروف الجوية. وتتوفر العديد من التقنيات المستخدمة في الإنارة التقليدية، منها مصابيح الصوديوم عالية الضغط ومصابيح الهاليد المعدنية ومصابيح الصمام الثنائي الباعث للضوء ومصابيح الفلورسنت، والتي سيتم تفصيلها فيما بعد^[17].

تغذى الإنارة التقليدية عادة من الشبكة الكهربائية. وتتمثل عملية التغذية في توصيل الكوابل الكهربائية من محولات الكهرباء إلى المصابيح الكهربائية في الطريق أو المنطقة المراد إضاءتها. ويتم تشغيل الإنارة التقليدية عند الحاجة إلى الإنارة، سواء كان ذلك يدويًا أو تلقائيًا باستخدام الحساسات الحركية أو التحكم الذكي في الإنارة. يتم توليد الكهرباء التي تغذي الإنارة التقليدية من محطات الطاقة الكهربائية، والتي قد تستخدم مصادر مختلفة لتوليد الكهرباء، مثل الفحم والغاز الطبيعي والنفط. ويتم نقل الكهرباء من المحطة إلى المحولات الكهربائية الموجودة في الأحياء والأماكن المختلفة، ومنها يتم توصيل الكوابل الكهربائية إلى المصابيح الكهربائية التي توفر الإنارة. ويجب الأخذ في الاعتبار أن استخدام الإنارة التقليدية التي تعمل بالطاقة الكهربائية يسبب استهلاكًا عاليًا للطاقة، مما يزيد من انبعاثات الكربون ويؤدي إلى تلوث البيئة والمناخ. لذلك، ينصح بتحسين كفاءة الإنارة التقليدية واستخدام تقنيات أحدث وأكثر كفاءة لتوفير الطاقة والحد من الانبعاثات الضارة.

2.4.2 الإنارة الشمسية للطرق

الإنارة الشمسية هي نوع من أنواع الإنارة التي تعتمد على استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء وتوفير الإنارة. وتستخدم الإنارة الشمسية عادة لتوفير الإنارة في الأماكن غير المتصلة بالشبكة الكهربائية أو في الأماكن التي يصعب الوصول إليها أو تعاني مشاكل في الشبكة الكهربائية^{[18] [19]}.

تلعب أنظمة الإنارة الشمسية دورًا هامًا في تقليل التلوث واستهلاك الطاقة الكهربائية من الشبكة، وذلك لأنها تعتمد على الطاقة الشمسية النظيفة والمتجددة بدلاً من الكهرباء التي يتم توليدها من مصادر الطاقة التقليدية. بالإضافة إلى ذلك، فإن أنظمة الإنارة الشمسية توفر الإنارة بشكل مستقل وبشكل مستمر دون الحاجة إلى الاتصال بالشبكة الكهربائية.

يمكن استخدام أنظمة الإنارة الشمسية في العديد من التطبيقات، مثل الإنارة الخارجية للحدائق والشوارع والطرق، والإنارة الداخلية للمنازل والمباني والمكاتب. ومن بين عيوب الإنارة الشمسية هو تأثيرها بالظروف الجوية المختلفة، حيث يتأثر أداء اللوحات الكهروضوئية بالسحب والضباب والغيوم، مما يؤثر على كفاءة الإنارة. كما أنها تتطلب مساحات كبيرة من اللوحات الكهروضوئية لتوليد الطاقة الكافية، وتكاليف التركيب والصيانة قد تكون مرتفعة بعض الشيء.

5.2 الترشيد في استهلاك الطاقة الكهربائية في إنارة الطرق

إن إنتاج واستهلاك الطاقة له نتائج عكسية على البيئة. وبما أن أسعار الطاقة تتزايد فمن الضروري تبرير الاستهلاك الجائر للطاقة وترشيد استهلاكها. حيث يستهلك جزء كبير من الطاقة في الإنارة العامة (حوالي 50% إلى 70%). ونلاحظ بأن معظم التكاليف في أنظمة إنارة الطرق تسببها الطاقة الكهربائية المستهلكة فيها حيث تشكل حوالي 42% من الكلفة الإجمالية. يشكل جهاز الإنارة بحدود 18% من التكاليف. أما تكاليف الصيانة والتنصيب والتحكم فلا تتجاوز 15% و 18% و 7% على الترتيب. هذا يبين لنا أهمية ترشيد استهلاك الطاقة في أنظمة الإنارة. وهناك العديد من إجراءات تخفيض الاستهلاك مما ينعكس بشكل إيجابي على تكاليف ومردود هذه الأنظمة، ومن أبرز الطرق لتحقيق توفير الطاقة في الإنارة العامة:

1. استخدام مصادر الطاقة المتجددة: يمكن استخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح لتوليد الكهرباء اللازمة لإنارة الطرق، وهذا يعتبر خياراً مستداماً وفعالاً للحد من استهلاك الطاقة العادية.

2. استخدام تقنيات الإنارة الحديثة: يمكن الاستفادة من التكنولوجيا الحديثة في مجال الإنارة من خلال

استخدام تقنيات الإنارة الذكية والمستشعرات الحركية والتحكم الذكي في الإنارة. يعمل النظام الذكي على تحسين كفاءة الإنارة وتقليل استهلاك الطاقة.

3. تحسين التصميم الإنارة: يمكن تحسين تصميم الإنارة للمنطقة المراد إنارتها من خلال عدة طرق

تهدف إلى زيادة كفاءة الإنارة وتقليل استهلاك الطاقة، أحد الطرق المهمة هي توجيه الإنارة بشكل أفضل، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق تحسين توجيه الأضواء وتوجيهها بشكل مباشر إلى المناطق التي تحتاج إلى إنارة مكثفة.

4. تركيب الأجهزة الحركية: يمكن تركيب أجهزة حركية للإنارة، وهذا يعني إنارة المنطقة فقط عند

اكتشاف وجود حركة، وهذا يساعد على توفير الطاقة وتحسين الأمن.

5. إيقاف الإنارة في الأوقات غير اللازمة: يمكن توفير الطاقة وتحسين كفاءة الإنارة عن طريق إيقاف

تشغيلها في الأوقات غير اللازمة، مثل فترات النهار عندما يكون هناك إضاءة طبيعية كافية. تقنيات الإنارة الحديثة توفر وسائل للكشف عن مستوى الإضاءة الطبيعية وتعديل مستوى الإنارة الصناعية وفقاً لذلك. يتم استخدام مستشعرات الضوء للكشف عن مستوى الإضاءة الخارجية، وبناءً على ذلك، يتم تعديل مستوى الإنارة الصناعية بحيث يكون متناسباً مع الحاجة الفعلية للإضاءة في تلك اللحظة..

6.2 معايير الجودة في إنارة الطرق

لضمان جودة إنارة الطرق، يتم الاعتماد على عدة معايير ومقاييس مهمة^[21] ^[20]، إلا أن في هذا

البحث سنستعرض أهمها والمتمثلة في التالي:

1.6.2 الاستضاءة (Luminance)

الاستضاءة في إنارة الطرق هي معيار لجودة الإنارة، وتعبّر عن شدة الضوء المتسلل من مصدر الإنارة إلى المنطقة المراد إنارتها. وتتأثر شدة الاستضاءة بعدة عوامل، مثل قوة الإنارة وارتفاعها وتوزيعها وعوامل البيئة المحيطة، مثل الضبابية والغبار والرطوبة. وتعتمد متطلبات الاستضاءة الموصي بها للإنارة الطرق على نوع الطريق ومستوى الحركة المرورية وسرعة السيارات. وفي المتوسط، يتم تحديد متطلبات شدة الاستضاءة وفقًا للمعايير المحلية التي تحددها كل دولة بما يتماشى معها. ويجب ملاحظة أن شدة الاستضاءة أحد أهم العوامل العديدة التي يجب مراعاتها في تصميم نظام إنارة الطرق، حيث يجب أيضًا مراعاة عوامل أخرى مثل الكثافة اللامعة والإنارة الرأسية والأمان وكفاءة الطاقة.

2.6.2 الوهج (Glare)

الوهج هو تأثير بصري غير مريح يحدث بسبب توزيع غير موافٍ للإنارة أو التباين العالي، مما يجبر العين على التكيف بسرعة. يمكن تمييز نوعين من تأثيرات الوهج بشكل عام:

1. **الوهج الذي يعيق الرؤية:** وهو الذي يحدث بسبب تشتت الضوء داخل العين مما يقلل من حساسية التباين. في بيئة مضيئة معينة، ستكون العين البشرية قادرة على اكتشاف الفروقات في السطوع حتى حد معين. يمكن مقارنة هذا الحد لحالة في نفس البيئة عند إضافة مصدر وهج. من خلال مقارنة هذه الحدود، يمكن استنتاج زيادة الحد واستخدامها لقياس مستوى الوهج العائق للحركة الذي يشعر به الفرد في تلك البيئة.

2. **الوهج غير المريح:** وهو الذي يثير شعورًا شخصيًا بعدم الارتياح، ويتأثر بمجموعة من العوامل مثل سطوع المصدر، حجمه، موقعه والاختلافات الفردية في الحساسية البصرية والمهام البصرية، يمكن تقييمه من خلال التقييمات الشخصية لعدم الارتياح من قبل الأفراد في استجابة لظروف الإنارة المختلفة.

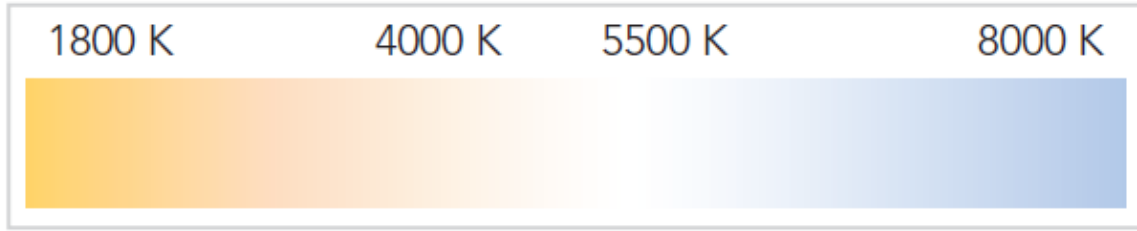
يُعتبر تقليل الوهج أمراً مهماً في تصميم الإنارة، وخاصة في البيئات حيث المهام البصرية حرجية، مثل أماكن العمل والمرافق الصحية والمدارس. يمكن تحقيق ذلك من خلال مجموعة من التدابير مثل استخدام مصابيح تقلل من الوهج، والتحكم في اتجاه وشدة مصادر الضوء، وتوفير معدلات تباين مناسبة بين إنارة المهمة والخلفية.

3.6.2 لون الضوء (Light color)

غالباً ما تبعث مصادر الإنارة بنطاق واسع موجات مختلفة في حين يُعتبر لدينا لون واحد. يُشار إلى هذا اللون الظاهري باسم درجة الحرارة اللونية (*Color temperatur*) لمصدر الضوء. درجة الحرارة اللونية هي مؤشر على لون الضوء الذي يصدره مصدر الإنارة، وتُقاس بوحدة الكلفن (*Kelvin*) وتعبّر عن درجة حرارة جسم مثالي يصدر اللون نفسه.

تستخدم درجة الحرارة اللونية كمؤشر للتحكم في اللون الذي يصدره المصدر الضوئي، فعلى سبيل المثال وكما هو موضح في الشكل (1.2)، يُعتبر الضوء الأصفر الذي يصدره المصابيح الكهربائية التقليدية يتراوح لونه بين 2700-3000 كلفن، ويُعتبر الضوء الأبيض الناعم المستخدم في المنازل يتراوح لونه بين 3500-4000 كلفن، بينما يتراوح لون الضوء الأبيض النقي الذي يستخدم في المكاتب والمستشفيات بين 5000-6500 كلفن، ويُعتبر الضوء الأزرق الذي يصدره الشاشات الإلكترونية يتراوح لونه بين 6500-10000 كلفن^[22].

ويمكن استخدام درجة الحرارة اللونية لتحقيق تأثيرات مختلفة في إنارة المكان، حيث يمكن استخدام درجات حرارة اللون الدافئة لتوفير جو دافئ ومريح، في حين يمكن استخدام درجات حرارة اللون الباردة لتوفير جو



شكل (1.2): درجة الحرارة اللونية ودرجة اللون المرتبط بها^[22].

منعش ومنشط. غالبًا ما تتراوح درجة لون الضوء المستخدمة في إنارة الطرق بين الأصفر المائل للحمرة والأبيض المحايد والأبيض المائل للزرقة، والتي تتوافق مع درجات حرارة اللون بين 2500 و 5000 كلفن.

4.6.2 إظهار الألوان (*Colors Rendering*)

تختلف أداء مصادر الإنارة التي تتمتع بدرجة حرارة لونية متساوية فيما يتعلق بتمثيل ألوان المناطق والأشياء المضاءة. وبالتالي، فإن القدرة الحقيقية لتمثيل الألوان لا تعتمد على درجة حرارة لونية لمصدر الإنارة بل تعتمد على الأطوال الموجية الطيفية التي تنبعث من المصدر.

يمكن لمصادر الإنارة التي توفر طيفًا كاملاً من الأطوال الموجية تمثيل جميع الاختلافات اللونية للأشياء المضاءة بطريقة طبيعية للغاية. وتدعم مصادر الإنارة التي تنبعث منها أطوال موجية محددة فقط تمثيل الألوان المحددة هذه فقط. ومن المثاليات العملية المهمة لهذا الأمر هو التعرف على الوجوه من قبل المشاة والذي يتطلب أيضًا القدرة على إدراك التباين اللوني. أظهرت الدراسات أن الأشخاص بحاجة إلى القدرة على التعرف على الوجوه عن بعد 4 أمتار للشعور بالأمان. ويتضمن ذلك فئات الإنارة P التي تشمل جوانب التعرف على الوجوه والتي سيتم استعراضها الفصل القادم.

يتم قياس قدرة تمثيل الألوان لمصادر الضوء في ظروف المختبر بواسطة ثمانية ألوان معيارية محددة. ويتم تمثيل قدرة إظهار الألوان بمؤشر إظهار الألوان (*Color rendering index (CRI)*)، وقيمة

المؤشر القصوى هي 100. وتعتبر أنظمة الإنارة التي تتمتع بقدرة تمثيل الألوان 80 أو أفضل مناسبة للتعرف الجيد على الوجوه. وفيما يتعلق بالإنارة (LED)، بعامة، فإن لون الضوء (درجة حرارة اللون) وإظهار الألوان لمصدر الضوء مهمان للغاية للرؤية والإدراك للأشياء في البيئة.

7.2 مكونات منظومة الإنارة الشمسية

تختلف مكونات أنظمة الإنارة الشمسية في الطرق حسب النموذج والمواصفات المحددة، ولكن هناك بعض المكونات الأساسية التي تتضمنها معظم الأنظمة وتشمل:

1.7.2 اللوح الشمسي (Photovoltaics Panel)

يمكن استخدام اللوح الشمسي في أعمدة الإنارة الشمسية (Solar Light Poles) كمصدر رئيسي للطاقة الكهربائية. ويتم تركيب اللوح الشمسي عادة في الجزء العلوي من العمود كما هو موضح في الشكل (2.2)، ويحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية تستخدم في تشغيل المصابيح الشمسية^{[23] [24]}.

تتوفر أنواع مختلفة من اللوح الشمسي كما تم توضيحها في الفصل السابق، وتختلف في حجمها وقوتها وتقنياتها، ويتم اختيار حجم اللوح الشمسي وقوته وتقنيته وفقاً لاحتياجات الإنارة والمكان والبيئة المحيطة بها، وعادة ما يتم تركيب اللوح الشمسي الذي يمكنه تحمل الظروف الجوية الصعبة ويتميز بكفاءة عالية في تحويل الضوء الشمسي إلى طاقة كهربائية.

في أعمدة الإنارة الشمسية يجب أن يتم توجيه اللوح الكهروضوئي بشكل صحيح لتلقي أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي، وذلك بتوجيهه في اتجاه الشمس بشكل

مباشر، كما يجب تنظيف اللوح بانتظام للحفاظ على أدائه الأمثل وزيادة فعالية الإنارة الشمسية.



شكل (2.2): تثبيت اللوح الشمسي أعلى عمود الإنارة [23] [24] .

2.7.2 البطارية (Battery)

تلعب البطارية دورًا هامًا في أنظمة الإنارة الشمسية، حيث تقوم بتخزين الطاقة الكهربائية التي تم جمعها من اللوح الكهروضوئي خلال فترات النهار، وتوفير الطاقة اللازمة لتشغيل المصابيح الشمسية خلال فترات الليل.

يتم اختيار حجم البطارية ونوعها وسعتها الكهربائية وفقًا للطاقة اللازمة لتشغيل المصابيح وفترة التشغيل المطلوبة، ويجب أن تكون كافية لتوفير الطاقة اللازمة للإنارة خلال الفترات الليلية المطلوبة وخاصة في الأنظمة المستقلة عن الشبكة.

عادة تُثبت البطاريات في الأعمدة أو تحت اللوح مباشرة كما هو موضح في الشكل (3.2)، وتُستخدم البطاريات القابلة لإعادة الشحن (*Rechargeable Batteries*) عادة في أنظمة الإنارة الشمسية، وتختلف أنواعها المستخدمة في أنظمة الإنارة الشمسية، مثل بطاريات الرصاص الحمضية (*Lead – Acid Batteries*) وبطاريات الليثيوم (*Lithium Batteries*) وبطاريات النيكل-حديد (*Nickel – Iron Batteries*) وغيرها، ويتم اختيار نوع البطارية المناسب وفقاً لمتطلبات النظام والبيئة المحيطة به.



شكل (3.2): تثبيت البطارية على عمود الإنارة [23] [24].

يختلف عمر بطارية الإنارة الشمسية تبعاً لعدة عوامل، من بينها نوع البطارية، ظروف الاستخدام، وجودة المنتج، إلا أن لعمق التفريغ (*Depth of Discharge*) دور كبير في الحفاظ على عمر البطارية. يتعلق عمق تفريغ البطارية في أنظمة الإنارة الشمسية بكمية الطاقة التي يتم استخدامها من البطارية قبل شحنها مرة أخرى. ويتم قياس عمق تفريغ البطارية بالنسبة المئوية من الطاقة الكلية للبطارية.

عادة ما يتم تحديد عمق تفريغ محدد للبطارية، حيث يتم تحديد الحد الأقصى لعمق التفريغ الذي يمكن للبطارية أن تتحمله دون الحد من عمر البطارية وكفاءتها. ويتم تحديد الحد الأقصى لعمق التفريغ بناءً على نوع البطارية وصناعتها وتصميم النظام. يجب تجنب تفريغ البطارية بنسبة أكبر من 50% من

طاقاتها الكلية، ويفضل عدم تفريغ البطارية بنسبة تزيد عن 30% إلا في الحالات الطارئة^[25]. حيث أن تفريغ البطارية بشكل كامل قد يؤدي إلى تدمير البطارية وتقليل عمرها وكفاءتها، مما يؤثر على أداء النظام بعامته. لذلك، يجب تصميم النظام بحيث يتم شحن البطارية بشكل كافٍ خلال فترات النهار، ويتم استخدام البطارية بشكل فعال خلال فترات الليل لتحقيق أفضل أداء وعمر للنظام.

3.7.2 منظم الشحن (Charge Controller)

يستخدم منظم الشحن (Charge Controller) في أعمدة الإنارة الشمسية لتنظيم شحن البطارية وحمايتها من التفريغ الزائد والشحن الزائد، وتحسين كفاءة النظام بشكل عام. يقوم منظم الشحن بتحويل الطاقة الكهربائية من اللوح الشمسي إلى الطاقة اللازمة لشحن البطارية، ويتحكم في مستوى الشحن الذي يتم توفيره للبطارية بحيث لا يتم شحنها بشكل زائد، مما يحمي البطارية من الضرر ويطيل عمرها الافتراضي. بالإضافة إلى ذلك، يتم تصميم منظم الشحن بحيث يحتوي على وظيفة لتحديد مستوى الشحن اللازم للبطارية وعمق التفريغ، ويعمل على إيقاف الشحن عندما تكون البطارية مشحونة بالكامل، ويقوم بتفريغ البطارية بشكل مرتب وآمن إذا كانت الشحنة الزائدة متراكمة في البطارية. ويختلف نوع منظم الشحن المستخدم في أعمدة الإنارة الشمسية حسب الحجم والطاقة المستخدمة في النظام، حيث يمكن استخدام منظمات الشحن الصغيرة لأنظمة الإنارة المنزلية البسيطة، ويمكن استخدام منظمات الشحن الكبيرة لأنظمة الإنارة الشمسية الصناعية والتجارية.

توجد عدة أنواع من أنظمة الشحن التي يمكن استخدامها في أنظمة الإنارة الشمسية، من بينها:

1. أنظمة الشحن المتسلسلة البسيطة (Simple Sequential Charging Systems):

تُستخدم أنظمة بسيطة في أنظمة الإنارة الشمسية، حيث يتم شحن البطارية بشكل مستمر عندما يكون

اللوحة الشمسية معرضًا للإشعاع الشمسي، وتتوقف عملية الشحن عندما يتم تشغيل المصباح واستخدام الطاقة المخزنة في البطارية.

2. أنظمة الشحن البسيطة ذات المرحلتين (*Two – Stage Charging Systems*): وهي

أنظمة تستخدم في أنظمة الإنارة الشمسية الصغيرة والمتوسطة، حيث يتم شحن البطارية بشكل متسلسل في المرحلة الأولى (شحن البطارية بالتيار الثابت)، ثم يتم شحن البطارية بشكل متسلسل في المرحلة الثانية (شحن البطارية بالتيار المتغير) حتى تصل البطارية إلى مستوى الشحن المطلوب.

3. أنظمة الشحن ذات المراحل الثلاث (*Three – Stage Charging Systems*): وهي

أنظمة تستخدم في أنظمة الإنارة الشمسية الكبيرة، حيث يتم شحن البطارية بشكل متسلسل في ثلاث مراحل (شحن البطارية بالتيار الثابت، ثم شحن البطارية بالتيار المتغير، ثم شحن البطارية بتيار الصيانة)، وتعتبر هذه الأنظمة أكثر كفاءة وأداءً من الأنظمة ذات المرحلتين.

4. أنظمة الشحن الذكي (*Smart Charging Systems*): وهي أنظمة حديثة تستخدم تقنيات

الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتحديد مستوى الشحن المناسب للبطارية وزمن الشحن المناسب، وتعتبر هذه الأنظمة الأكثر كفاءة وأداءً وتوفر للبطارية عمراً أطول وكفاءة أعلى.

4.7.2 أعمدة الإنارة (*Poles*)

تعتبر أعمدة الإنارة جزءاً هاماً من البنية التحتية للإنارة العامة في المدن والطرق والميادين والحدائق والمناطق العامة الأخرى، إضافة لكونها تستخدم لتثبيت اللوح الشمسي والمصابيح الشمسية والأنظمة الكهربائية المختلفة في النظام، وتوفير الدعم اللازم لها. حيث توفر الإنارة اللازمة للأماكن العامة والطرق خلال الليل، وتعمل على تحسين الرؤية والأمان العام^[26]. تتوفر أعمدة الإنارة بأحجام

وأشكال وتصاميم مختلفة لتلبية متطلبات المشاريع المختلفة، ويمكن تصنيفها بشكل عام من حيث الأذرع إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

1. أعمدة الإنارة أحادية الذراع (*Single – Arm Light Poles*): هي أعمدة الإنارة التي

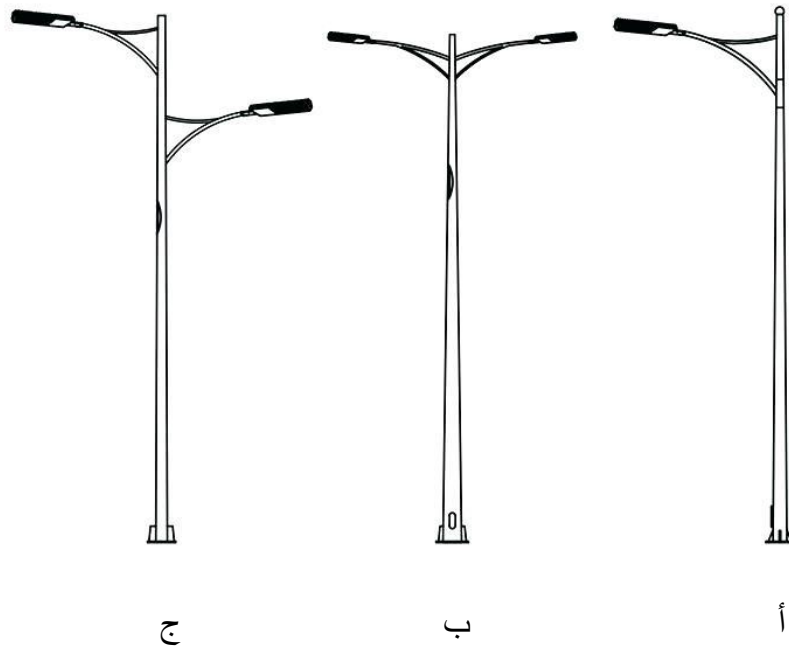
تحتوي على ذراع واحد فقط كما هو موضح في الشكل (أ.4.2)، وهي من أكثر أنواع الأعمدة استخداماً في الإنارة العامة وإنارة الطرق والشوارع. وتتميز هذه الأعمدة بالبساطة والتصميم الأنيق، حيث تأتي بشكل عمودي وذراع واحد فقط، كذلك السهولة في التركيب والصيانة، حيث تتطلب عادة تركيبها في الأرض بواسطة أنابيب تثبيت، ويمكن إجراء الصيانة عليها بسهولة، كما تتميز بالقدرة على توجيه الإنارة بشكل دقيق، حيث يمكن تحريك الذراع لتوجيه الإنارة بالاتجاه المطلوب، كما أنها اقتصادية من حيث التكلفة، حيث تكون أعمدة الإنارة أحادية الذراع أقل تكلفة بالمقارنة مع أعمدة الإنارة الأخرى التي تحتوي على أذرع أكثر.

2. أعمدة الإنارة مزدوجة الذراع (*Double – Arm Light Poles*): هي أعمدة الإنارة التي

تحتوي على ذراعين كما هو موضح في الشكل (ب.4.2)، وهي تستخدم عادة في الإنارة العامة وإضاءة الطرق والشوارع، وتتميز هذه الأعمدة بتوفير إنارة أكثر دقة وتركيزاً، حيث يمكن توجيه الذراعين لتحديد الاتجاه المطلوب للإنارة، كذلك تغطية مساحة أكبر من المنطقة المحيطة، حيث يمكن للذراعين تغطية مساحة أكبر من المنطقة المحيطة بالعمود. يستخدم هذا النوع من الأعمدة في المناطق الحضرية والصناعية، حيث تتطلب هذه المناطق إنارة أكثر دقة وتركيزاً، والتي تحتوي على بنية تحتية قوية، حيث تتطلب هذه الأعمدة بنية تحتية أكثر قوة لتحمل الضغط الناتج عن تركيب ذراعين، كما لها القدرة على التوسع في حال زيادة الاحتياجات، حيث يمكن إضافة ذراعين إضافيين في حال زيادة الاحتياجات في المستقبل.

3. أعمدة الإنارة مزدوجة مختلفة الأذرع مختلفة – (*Offset Double*)

(*Arm Light Poles*): وهي أعمدة الإنارة التي تحتوي على ذراعين بارتفاعات مختلفة كما هو موضح في الشكل (4.2.ج)، وتشبه هذه الأعمدة في مميزاتها إلى حد كبير الأعمدة المزدوجة، إلا أنه لها القدرة على تحقيق الإنارة الأمثل في المناطق العريضة، حيث يمكن توجيه الذراع الأطول بارتفاع أعلى لتحقيق الإنارة الأمثل في المناطق العريضة، كما تستخدم في إنارة طريق مزدوج مختلف الأبعاد.



شكل (4.2): أنواع أعمدة الإنارة حسب الأذرع^[26].

بشكل عام، تعتبر أعمدة الإنارة عنصراً أساسياً في تحسين الراحة العامة والأمن والسلامة في المناطق العامة وتحسين جودة الحياة في المدن والمجتمعات. وتختلف متطلبات ومواصفات أعمدة الإنارة حسب نوع المنطقة واستخدامها، إلا أن يجب أن تتوفر فيها عدد من الصفات المهمة، مثل:

- **المتانة والصلابة:** يجب أن تكون الأعمدة قوية ومتينة لتحمل الرياح القوية والصدمات والاهتزازات، ومقاومةً للتآكل، حيث يجب أن تصمم الأعمدة بمواد مقاومة للصدأ والتآكل لتحمل الأحوال الجوية القاسية.
- **الأداء العالي:** حيث يجب أن توفر الأعمدة إنارة كافية وأمنة للأماكن العامة خلال الليل، وتتميز بكفاءة عالية في استخدام الطاقة.
- **التركيب السهل:** الحرص على تصميم الأعمدة بشكل يسمح بتركيبها وصيانتها بسهولة.
- **المظهر الجمالي:** من المهم أن تكون الأعمدة جميلة المظهر وتتوافق مع التصميم الحضري للمنطقة المحيطة بها.

5.7.2 مصابيح الإنارة (Lighting fixtures)

هي أجهزة إنارة تستخدم لتوفير إنارة كافية في الطرق والشوارع والممرات العامة والأماكن الخارجية العامة، وتساعد على توفير الرؤية الجيدة والأمان للمركبات والمشاة وتوفير بيئة أكثر أمناً وراحة للمجتمع. تتوفر مصابيح إنارة الشوارع بأشكال وأحجام مختلفة وتستخدم تقنيات مختلفة لإنتاج الضوء، حيث يتم اختيار نوع المصابيح المناسب لإنارة الطرق على أساس عدة عوامل، مثل كفاءة استخدام الطاقة، وجودة الإنارة المنبعثة، وتكلفة الصيانة وتكاليف التشغيل، والعمر الافتراضي للمصابيح. ويتم تركيبها على الأعمدة الإنارة المناسبة بحيث يتم توفير الإنارة اللازمة للمنطقة المراد إنارتها^[27].

أ- مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض (*Low pressure sodium lamp*): هو نوع

من المصابيح الكهربائية التي تستخدم في الإنارة وتعتمد على تفاعل الزئبق والغازات الأخرى لإنتاج الضوء. تتكون هذه المصابيح من أنبوب زجاجي يحتوي على غاز الزئبق وغازات أخرى، وتُشعل بواسطة تفريغ كهربائي. تعتمد قدرة المصباح على كمية الزئبق الموجودة فيه، وتتراوح قدرتها عادة

بين 50 و200 وات. تتميز هذه المصابيح بطول عمر خدمتها الطويل، كما أنها تستخدم عادة في الإنارة الخارجية للطرق والمدارس والملاعب. ومن أهم استخدامات مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض هو إنتاج الضوء الأحمر المميز الذي يتميز به طيف الصوديوم، والذي يستخدم في العديد من التطبيقات مثل الإنارة الخارجية للمباني والمتاجر والمعالم السياحية.

تستمر مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض في العمل لفترة طويلة دون الحاجة إلى استبدالها، مما يخفض تكاليف الصيانة والاستبدال. إلا أنها إلى وقت للإحماء وبدء الإنتاج الكامل للضوء، وذلك يعني أنه لا يمكن استخدامه للإنارة الفورية. كما ينتج مصباح الصوديوم ذو الضغط المنخفض ضوءاً أصفر مائل للبرتقالي، وهذا اللون لا يعتبر مريحاً لبعض الأشخاص.

ب- مصباح الصوديوم ذو الضغط العالي (*High Pressure Sodium (HPS)*): هو نوع آخر

من المصابيح الكهربائية التي تستخدم في الإنارة، ويعتمد على نفس التفاعل الكيميائي الذي يحدث في مصباح الصوديوم ذو الضغط المنخفض، ولكن مع ضغط أعلى للغازات في الأنبوب الزجاجي. تتكون مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي من أنبوب زجاجي يحتوي على غاز الصوديوم عالي الضغط، بالإضافة إلى غازات أخرى. عند إشعال المصباح، يمر التيار الكهربائي عبر الغازات في الأنبوب الزجاجي، ويتم توليد الضوء عندما يتفاعل الصوديوم مع الغازات الأخرى. تتميز مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي بقدرتها العالية على إنتاج الضوء بكميات كبيرة. ويستخدم هذا النوع من المصابيح عادة في الإنارة الخارجية للمنشآت الصناعية والمناطق الريفية. تستمر مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي في العمل لفترة طويلة دون الحاجة إلى استبدالها، مما يخفض تكاليف الصيانة والاستبدال. إلا أن لها بعض العيوب يمكن تلخيصها في التالي:

- يتأثر أدائها بالطقس السيئ، مثل الأمطار والثلوج والرطوبة، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تقليل كفاءتها وإنتاجها للضوء.

- تنتج مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي كميات كبيرة من الحرارة، مما يعني أنه يجب تركيبها في أماكن جيدة التهوية ومنع تراكم الحرارة في المكان المحيط بها.
- يمكن أن يتسبب استخدام مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي في التشويش الكهرومغناطيسي، مما يمكن أن يؤثر على بعض أنظمة الاتصالات والأجهزة الإلكترونية الأخرى في المنطقة المحيطة بها.

ج- مصابيح الفلوريسنت (*Fluorescent lamps*): هي أنواع من المصابيح الكهربائية التي

تستخدم في الإنارة، وتتميز بكفاءتها العالية في استخدام الطاقة وقدرتها العالية على إنتاج الضوء بكميات كبيرة، حيث يمكن لمصباح واحد منها إنتاج الضوء بمستوى يعادل أربعة مصابيح تقليدية. تتكون مصابيح الفلوريسنت من أنبوب زجاجي محشو بالغازات، وعندما يمر التيار الكهربائي عبر الغازات في الأنبوب الزجاجي، يتم توليد الضوء عندما تتفاعل الغازات مع المواد الكيميائية الموجودة في الطبقة الداخلية للأنبوب الزجاجي. تنتج مصابيح الفلوريسنت ضوءاً أبيضاً، وهذا اللون يعتبر مريحاً للعينين ويساعد في توفير الإنارة الجيدة دون الإحساس بالتعب. كما أنها تنتج كميات قليلة من الحرارة، مما يعني أنه يمكن استخدامها في الأماكن التي تتطلب توفير الإنارة دون إنتاج الحرارة الزائدة. إلا أنها تحتوي على الزئبق، وهو معدن سام يتطلب التخلص منه بشكل صحيح لتجنب تلوث البيئة، وهذا يجعلها غير ملائمة للاستخدام في بعض الأماكن التي تتطلب التخلص من النفايات بشكل صحيح. كما أن سعرها أعلى من بعض الأنوار التقليدية، ولكن يمكن تعويض ذلك بتوفير الطاقة والتكاليف الإضافية للصيانة والاستبدال. على الرغم من بعض العيوب، إلا أن مصابيح الفلوريسنت لا تزال خياراً شائعاً وفعالاً للاستخدام في الإنارة الخارجية للطرق والشوارع والملاعب.

د - مصابيح الصمام الثنائي الباعث للضوء (*Light Emitting Diode (LED)*): عُرِف الصمام

الثنائي الباعث منذ أوائل القرن العشرين كبديل لمصباح (التوهج) الذي ينسب ابتكاره لتوماس

إديسون. حيث لوحظ أول انبعاث ضوئي من أشباه الموصلات نتيجة مرور تيار كهربائي في تجربة عام 1907م في معامل ماركوني ببريطانيا، وتبعه في عام 1927م تقديم أول مصباح (LED) بمفهومه الحالي. بقي هذا الاكتشاف معروفاً من دون تطبيق حقيقي واضح لاستثماره، حتى تمكن ثلاثة علماء من شركة نيتشيا اليابانية من اختراع أول ضوء أزرق عالي السطوع مكملين بذلك حلقة ألوان الطيف. ما أدى إلى تسارع وتيرة الأحداث في مجال أبحاث مصابيح (LED) ، وتم ابتكار أول مصباح (LED) لإنتاج الألوان الثلاثة الرئيسة - الأحمر والأصفر والأزرق - بنفس الحدة من شريحة أشباه موصلات واحدة لإنتاج مصباح (LED) أبيض بدرجات مختلفة ليحل بديلاً لمصابيح التوهج ذات الاستهلاك العالي للطاقة ومصابيح الفلورسنت المحتوية على الزئبق والخطيرة على الصحة والبيئة.

ومن هنا تعتبر مصابيح (LED) من أحدث تقنيات الإنارة المستخدمة في العالم، وهي تقنية تستخدم شرائح نصف موصلة تصدر الضوء عند تمرير التيار الكهربائي لها. تتميز مصابيح (LED) بعدة مميزات عالية، مما يجعلها مثالية للاستخدام في تطبيقات الإنارة الخارجية مثل الشوارع، والتي يمكن تلخيصها في التالي:

- **كفاءة الطاقة:** تستخدم مصابيح (LED) كميات أقل من الكهرباء لتوليد نفس الكمية من الضوء مقارنة بالمصابيح التقليدية.
- **حياة طويلة:** تعتبر مصابيح (LED) متينة وتدوم لفترات أطول من المصابيح التقليدية، مما يوفر تكاليف الصيانة واستبدال المصابيح
- **تكاليف الصيانة:** نظراً لأن مصابيح (LED) تدوم لفترات طويلة، فإنها توفر تكاليف صيانة أقل للإنارة.

- **الإشعاع الحراري:** لا تصدر مصابيح (LED) الكثير من الحرارة، مما يجعلها أكثر أمانًا وأقل خطرًا على الحرائق.
- **تصميم مرن:** يمكن تصميم مصابيح (LED) بأحجام وأشكال مختلفة، مما يجعلها مثالية للاستخدام في تطبيقات الإنارة الخارجية مثل الشوارع.
- على الرغم من المميزات الكثيرة التي تتمتع بها مصابيح (LED)، إلا أنها تشتمل على بعض العيوب، بما في ذلك:
 - **التكلفة:** تعتبر مصابيح (LED) أعلى من المصابيح التقليدية، ولكن الاستثمار فيها يتم استرجاعه في المدى البعيد، نظرًا لعمرها الافتراضي الطويل وتوفير التكاليف الإضافية التي تتميز بها.
 - **الضوء الأبيض البارد:** تصدر بعض مصابيح (LED) ضوءًا أبيضًا باردًا جدًا، مما يمكن أن يؤثر على رؤية الأشخاص في البيئة المحيطة بها، وهو ما يجعلها غير مثالية للاستخدام في بعض التطبيقات.
 - **الحساسية للجهد الكهربائي:** تحتاج مصابيح (LED) إلى جهد كهربائي محدد للعمل بكفاءة، وإذا تم استخدام جهد كهربائي غير مناسب، فقد يؤدي ذلك إلى تلف المصباح.

الفصل الثالث

متطلبات تصميم الإنارة الشمسية وبرامج المحاكاة

تصميم إنارة الطرق يتطلب اختيار المصابيح والأعمدة والتوزيع الفعال للإنارة، وتحديد المسافة بين الأعمدة وارتفاعها وزاوية الانحناء والتوزيع الأمثل للإنارة. نستعرض في هذا الفصل أهم المفاهيم الأساسية حول الإنارة، والتعريف بأهم المؤشرات ومتطلبات تصميم الإنارة، وتحجيم منظومة الإنارة الشمسية^[28]، والتعريف بالبرامج المستخدمة في عملية التصميم والمحاكاة في هذا البحث.

1.3 مفاهيم مرتبطة بتصميم إنارة الطرق

تصميم إنارة الطرق يتطلب النظر في العديد من العوامل المختلفة، بما في ذلك المنطقة المراد إنارتها، حيث يجب تحديد أبعاد المساحة التي سيتم إنارتها، وعدد الطرق والممرات والمواقف التي تحتاج إلى إنارة، حساب ارتفاع الأعمدة المطلوبة بناءً على ارتفاع المباني وعرض الطريق وكثافة حركة المرور، ويجب أن تكون الأعمدة مصنوعة من مواد تتحمل الظروف الجوية المختلفة، اختيار نوع الإنارة والمصابيح المناسبة للمنطقة المراد إنارتها، ثم توجيه الإنارة بشكل صحيح لتحسين الرؤية وتجنب الظلال الغير مرغوبة، يمكن استخدام عدسات مختلفة لتحقيق ذلك.

يجب تصميم نظام الإنارة بطريقة توفر الطاقة وتحافظ على البيئة^[29]، من خلال استخدام أجهزة استشعار الحركة لتشغيل الإنارة فقط عندما يكون هناك حركة في المنطقة وغيرها من الطرق التي تم التطرق لها في الفصل الثاني في هذا البحث.

تصميم نظام الإنارة بطريقة تسهل إجراء الصيانة والإصلاح، حيث يوفر وصول سهل إلى الأعمدة والمصابيح لإجراء الصيانة بشكل سريع وفعال. يجب مراعاة هذه العوامل وتحديد احتياجات الإنارة بشكل دقيق لتصميم نظام إنارة الطرق الفعال والأمثل، للمعايير المتعلقة بإنارة الطرق والتي تشمل معايير الإنارة المحلية والدولية

والتي تحدد مستوى الإنارة المناسب للطرق المختلفة^[30]. وتتضمن إنارة الطرق العديد من المفاهيم والتعريفات المتعلقة بتصميم نظام الإنارة المناسب والفعال، وتشمل بعض هذه التعريفات:

1. **التدفق الضوئي (The luminous flux(Φ))**: هو مقياس سطوع مصدر الضوء من حيث الطاقة المنبعثة، يتم قياس التدفق الضوئي بوحدة (Lumen(lm)). وهو يمثل مقياس للطاقة المنبعثة في شكل ضوء مرئي من مصدر منتج للضوء. التدفق الضوئي غالبًا ما يكون معيارًا لمقارنة المصباح الكهربائي، يُعرف التدفق الضوئي أيضًا باسم الطاقة المضيئة^[31]. ويمكن حساب كمية التدفق الضوئي من المعادلة:

$$\Phi = \frac{(E_{avg} * w * d)}{Cu * mf} \quad (lm) \quad (3.1)$$

حيث:

Φ : التدفق الضوئي.

E_{avg} : متوسط مستوى الإضاءة أو الإنارة.

w : عرض الطريق

d : المسافة بين الأعمدة.

Cu : معامل الانتفاع، والذي يعتمد على نوع المصباح، وارتفاعه، وعرض الطريق وطولها.

Mf : معامل الصيانة (Miantenanse factor)، وهو معامل تقديري لمستوى انخفاض إنارة المصباح

خلال الاستخدام، وذلك بسبب العوامل الخارجية، وانخفاض الضوء المنبعث من المصباح بسبب التقادم،

وتتراوح قيمته بين (0.8 – 0.9).

2. **الإضاءة (The illuminance (E))**: هي القوة الضوئية التي تسقط على سطح معين، وتقاس بوحدة

(lux (lx)) وهي وحدة القياس الدولية للإضاءة حيث أن (1 lux = 1 lm/m²). ويمكن تعريف

الإضاءة بأنها كمية الضوء المنبعثة من مصدر الضوء والتي تصل إلى سطح معين في وحدة الزمن، وتستخدم في تصميم نظام الإضاءة لتحديد كمية الإضاءة المناسبة للمنطقة المراد إنارتها. وتختلف مستويات الإضاءة المناسبة للأماكن المختلفة، حيث تتطلب بعض الأماكن مستويات إضاءة عالية، مثل المستشفيات والمدارس والمصانع والطرق العامة^[32] ^[33]، بينما تتطلب بعض الأماكن مستويات إضاءة منخفضة مثل السينما والمسارح. وتحسب الإضاءة من خلال المعادلة التالية:

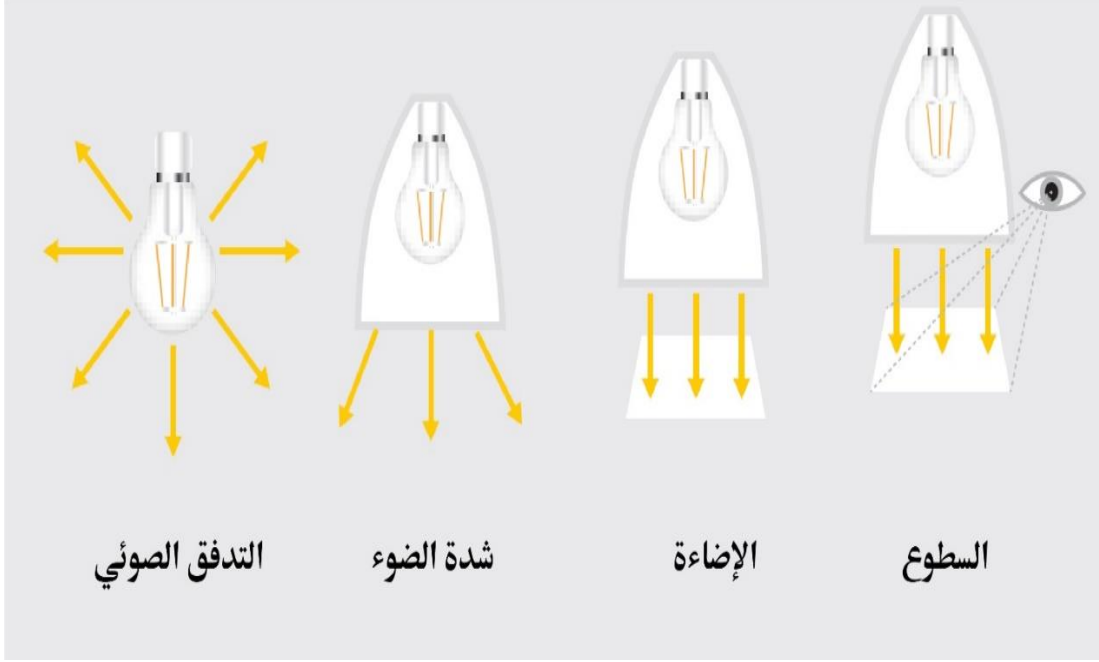
$$E_{avg} = \frac{(\phi * (Cu * mf))}{w * d} \quad (lux) \quad (3.2)$$

3. **شدة الضوء (*The luminous intensity*):** هي المقدار الذي يصف كمية الضوء التي تنبعث من مصدر ضوئي في اتجاه محدد. وتقاس شدة الضوء بوحدة الشمعة (*Candela(Cd)*). وتستخدم شدة الضوء في تصنيف مصادر الضوء وتصميم الإنارة لضمان توفير الإضاءة المناسبة والمتوازنة في المناطق المختلفة. وتعتمد شدة الضوء على خصائص المصدر الضوئي وزاوية الإشعاع والبيئة المحيطة.

4. **السطوع (*luminance*):** وهي شدة الضوء الساقطة على مساحة سطح محدد، وتقاس بوحدة الشمعة لكل متر مربع (Cd/m^2)، وتستخدم لقياس كمية الضوء المنبعثة من الأجسام المضيئة أو المنعكسة من الأسطح. ويتأثر السطوع بكمية الضوء المنبعثة، وزاوية الإشعاع، وخصائص السطح المضيء أو المنعكس. والشكل (1.3) يوضح الفرق بين التعريفات السابقة.

5. **الوهج (*Glare*):** يمكن أن يعرف الوهج على أنه الضوء الساطع المبهر الذي يعيق الرؤية، نتيجة فرق كبير في الإنارة بين منطقتين مختلفتين، مما يؤدي إلى إحداث إشعاعات غير مرغوب فيها وتقليل الرؤية

والراحة البصرية. ويمكن أن يحدث الوهج بسبب الإضاءة الزائدة، أو الإضاءة المنخفضة في المنطقة المحيطة، أو بسبب الإضاءة المنعكسة من سطح معين.



شكل (1.3): الفرق بين المفاهيم الأساسية (السطوع، الإضاءة، شدة الضوء، التدفق الضوئي) [32] [33].

2.3 تصنيف إنارة الطرق

هناك العديد من تصنيفات الإنارة في الطرق الخارجية، ويعتمد اختيار التصنيفات المناسبة على الاحتياجات الفردية لكل منطقة أو طريق، في هذا البحث سيتم التركيز على ثلاثة تصنيفات رئيسية من إنارة الشوارع، وتغطي هذه التصنيفات معظم الطرق في دولة ليبيا وهي (M, C, P) .

1. **تصنيف M:** هو تصنيف شائع للإضاءة الخارجية في الطرق، وهو يستخدم عادةً في الطرق الرئيسية الصغيرة والمتوسطة والمناطق السكنية. يتميز هذا التصنيف بتوفير إضاءة متوسطة الكثافة والتوزيع المناسب لتحسين الرؤية والسلامة على الطريق.

2. **تصنيف P:** يتم تخصيص الإضاءة من نوع P للطرق المخصصة للمشاة أو حركة المرور بسرعة منخفضة كالدراجات، يتم تثبيت جسم الإنارة عادة على الجزء العلوي من عمود أو هيكل عمودي آخر، ويمكن أن تشمل الإنارة مصابيح متعددة بتصميمات مختلفة لتوفير التأثير المرغوب. كما يتم استخدام الإضاءة من النوع P عادة لإنشاء أجواء مريحة وجذابة في الأماكن الخارجية، ويمكن استخدام تصميمات مختلفة لتحقيق الأهداف المختلفة، مثل توفير إضاءة خافتة لخلق أجواء هادئة، أو توفير إنارة مشرقة للرحلات الليلية والأنشطة الخارجية الأخرى.

3. **تصنيف C:** هو تصنيف مخصص للإضاءة الخارجية في الطرق، وهو يستخدم عادةً في الطرق السريعة والطرق الرئيسية الكبيرة. يتميز هذا التصنيف بتوفير إضاءة عالية الكثافة والتوزيع المناسب لتحسين الرؤية والسلامة على الطريق.

من المهم ملاحظة أن كل تصنيف من هذه التصنيفات يتكون من ست فئات، فمثلاً يتكون التصنيف M من ست فئات تبدأ M1 إلى M6، حيث تكون M1 هي الفئة الأدنى وM6 هي الفئة الأعلى، ويتم تحديد قيمة الإضاءة المطلوبة لكل فئة بناءً على متطلبات السلامة والرؤية الجيدة للسائقين والمشاة في جميع الظروف الجوية. كما أن التصنيفات قد تختلف اعتماداً على السياق أو المنطقة المحددة، وقد يستخدم الشركات المصنعة تصنيفات أو تسميات مختلفة^[34] ^[35]، سنتطرق لمتطلبات هذه الفئات بشيء من التفصيل في الفصل الرابع من هذا البحث.

3.3 المؤشرات التصميمية لفئات الإنارة

خلال عملية التصميم لإنارة يتم التأكد من تحقق كل مؤشرات الفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد للطريق، وذلك بمقارنتها بالمؤشرات المطلوبة للحصول على إنارة جيدة والتي يمكن توضيحها كما يلي:

- L_{av} : متوسط إضاءة سطح الطريق (*average road surface luminance*)، ويمكن تعريفها على أنها الكمية الناتجة من تدفق الضوء المنبعث من مصادر الإضاءة على سطح الطريق، والمستقبله بواسطة العين البشرية أو الأجهزة الإلكترونية. ويتم قياسها بوحدة الشمعة (*Candle*) في المتر المربع cd/m^2 ، ويتم حسابها بالنظر إلى الكثافة السطحية للإضاءة في كل نقطة على سطح الطريق، ويمكن أن يؤثر ارتفاع متوسط إضاءة سطح الطريق على القدرة على التمييز بين الأشياء والعلامات المرورية والمركبات الأخرى، وبالتالي يمكن أن يؤثر على سلامة السائقين والمشاة والدراجين.
- U_0 : مؤشر لتوحيد الإضاءة على سطح الطريق بالنسبة إلى الحد الأدنى والمتوسط (*Uniformity of surface*)، وهو مصطلح يستخدم في الإنارة للإشارة إلى قدرة نظام الإنارة على توزيع الضوء بشكل متساوٍ على سطح محدد، بحيث لا يوجد فرق كبير في الإضاءة بين مناطق مختلفة من السطح، ويعبر عنه بالعلاقة (E_{min}/E_{av}) .
- U_1 : مؤشر لتوحيد الإضاءة على سطح الطريق بالنسبة للحد الأدنى والحد الأقصى لشدة الإضاءة (E_{min}/E_{max}). ويعكس هذا المؤشر مدى التوحيد في توزيع الإضاءة على سطح الطريق بالنسبة لأقصى وأدنى قيمة للإضاءة. ويتم استخدام هذان المؤشر إضافة لمؤشر U_0 عادة لتقييم جودة الإضاءة على سطح

الطريق وتحسينها لتحسين الرؤية والأمان المروري، وكلما كانت قيمة المؤشر U_0 أو U_1 أعلى، كانت جودة الإنارة أفضل وأكثر توحيداً.

• **TI** : زيادة عتبة الكشف (*Threshold Identification*)، ويمكن أن تعرف على أنها الزيادة المئوية في عتبة الكشف الناتجة عن التوهج العائق في إضاءة الطريق، ويشير هذا المصطلح إلى الزيادة المئوية في الحد الأدنى للإضاءة اللازمة للكشف عن الأشياء على الطريق، والتي يتم تحديدها بواسطة اختبارات الرؤية في ظل وجود التوهج العائق، والذي يحدث عندما تكون هناك مصادر إنارة قوية تعكس الضوء في العين وتسبب إزعاجاً أو تشويشاً على الرؤية، ويمكن أن يؤدي هذا إلى تقليل القدرة على رؤية العلامات المرورية والمركبات الأخرى وبالتالي يمكن أن يزيد من خطر وقوع حوادث السير.

• **R_{EI}** : الكثافة النسبية للانبعاث (*Relative Emission Intensity*) ، وهو عبارة عن مقياس يستخدم لتقييم كفاءة الإنارة على السطح، ويتم حسابه بقسمة أقصى قيمة إضاءة على السطح على متوسط القيم الإجمالية لشدة إضاءة السطح، وتشير القيمة الناتجة عن هذا المقياس إلى مدى توحيد الإضاءة على السطح، حيث يكون قيمة R_{EI} أعلى عندما يكون هناك توحيد جيد في الإضاءة على السطح، وأقل عندما يكون هناك عدم توحيد في الإضاءة على السطح.

4.3 تصميم منظومة الإنارة الشمسية

يتطلب تصميم منظومة خلايا شمسية تحديد السعة اللازمة لتحقيق الأحمال الكهربائية لعمود الإنارة. حيث تم الاعتماد في حساب هذه السعة على حمل المصباح المختار، وتم أخذه في الاعتبار لتجنب الحجم الأدنى والذي لا يفي بمتطلبات الحمل، حيث تحسب جميع الفقدوات المرتبطة ومن ثم قسمة الطاقة الكلية المطلوبة Wh/day على معامل الأمان لتعويض جميع الفقدوات المتوقعة [36].

$$E_{total} = E/\eta \quad (3.3)$$

حيث:

E : الطاقة الكلية في اليوم بوحدة Wh .

η : معامل الفقد الكلي للمنظومة.

1.4.3 حساب حجم اللوح الشمسي

لحساب حجم مصفوفة الألواح الشمسية PV يجب حساب الحد الأدنى لساعات الذروة المشمسة في اليوم (ساعات سطوع الشمس) وتحديد جهد الربط للنظام، ومن ثم حساب الحجم المطلوب لمصفوفة الألواح الشمسية كما يلي:

$$Peak\ Power(P_p) = \frac{average\ daily\ Energy(\frac{kwh}{d})}{Peak\ sun\ Hours(\frac{h}{d})} = \frac{E_t}{PSH} \quad (3.4)$$

يمكن حساب التيار الكلي المطلوب تجهيزه من اللوح الشمسي I_{dc} ، وذلك بقسمة القدرة الإسمية للمصفوفة على جهد نظام الربط ^[37]. يعتمد اختيار نظام جهد الربط على قيمه الطاقة المطلوب تجهيزها من البطاريات إلى الحمل كما هو موضح في الشكل (2.3).



شكل (2.3): نظام جهد الربط اعتمادا على الطاقة اليومية المطلوبة ^[37].

2.4.3 حساب حجم ساعات خزن الطاقة في البطاريات

تستخدم البطاريات الشمسية في فترة الليل وفي حالات الظروف الجوية الطارئة كالغيوم، يجب أن تكون سعتها التخزينية كافية لتشغيل الأحمال في الليل والأيام الغائمة. يتم تحديد سعة البطاريات من المعادلة التالية:

$$C_{TBB} = \frac{E_{total} * N_d}{DCBV_{battery} * \lambda_B * DOD} * FC \quad (3.5)$$

حيث أن:

N_d : عدد الأيام المغيمة التي يتم خلالها تجهيز الحمل بالطاقة المخزنة في البطاريات بدون شحن من

الألواح الشمسية لافتراض عدم وجود إشعاع شمسي كافٍ ^[38].

DOD: عمق التفريغ للبطاريات.

$DCBV_{battery}$: نظام فولتية ربط البطاريات.

λ_B : كفاءة الشحن والتفريغ للبطارية.

F_c : معامل تصحيح.

3.4.3 حساب حجم منظم الشحن

يستخدم منظم الشحن لتنظيم الفولتية والتيار أثناء شحن وتفريغ البطاريات ولحماية البطاريات من الشحن الزائد والفولتية العالية يجب أن يكون نظام منظم الشحن قادرا على تحمل أقصى تيار يتجه للألواح الشمسية، وكذلك أقصى تيار للحمل. يتم حساب تيار منظم الشحن من حاصل ضرب تيار دائرة القصر للوح الشمسي من مع عدد صفوف الألواح مع معامل الأمان 25% ، يتم حساب أقصى تيار لمنظم الشحن من المعادلة التالية:

$$I_{cc} = I_{sc} * S.F \quad (3.6)$$

حيث أن:

I_{sc} : دائرة القصر للوح الشمسي.

$S.F$: هو معامل الأمان للقيمة القصوى للتيار القادم من مصفوفات الألواح الشمسية ويؤخذ 25%.

يتم استخدام معامل الأمان للتأكد من أن المنظم سيعالج الحد الأقصى لتيار المصفوفة الذي يمكن أن يتجاوز القيمة المجدولة، وللتعامل مع الحمل الحالي أكثر من ذلك المخطط لها لإضافة المعدات أي بمعنى أن عامل الأمان هنا يسمح لنظام بالتوسع بعض الشيء. ويتم حساب قدرته من المعادلة:

$$V_{cc} = S.F * V_{dc} * N_s \quad (3.7)$$

حيث ان:

I_{cc} : تيار الشحن للمنظم.

V_{DC} : فولتية الدائرة المفتوحة للوح الشمسي.

$S.F$: معامل أمان قيمته من 20-25%.

4.4.3 حساب حجم العاكس

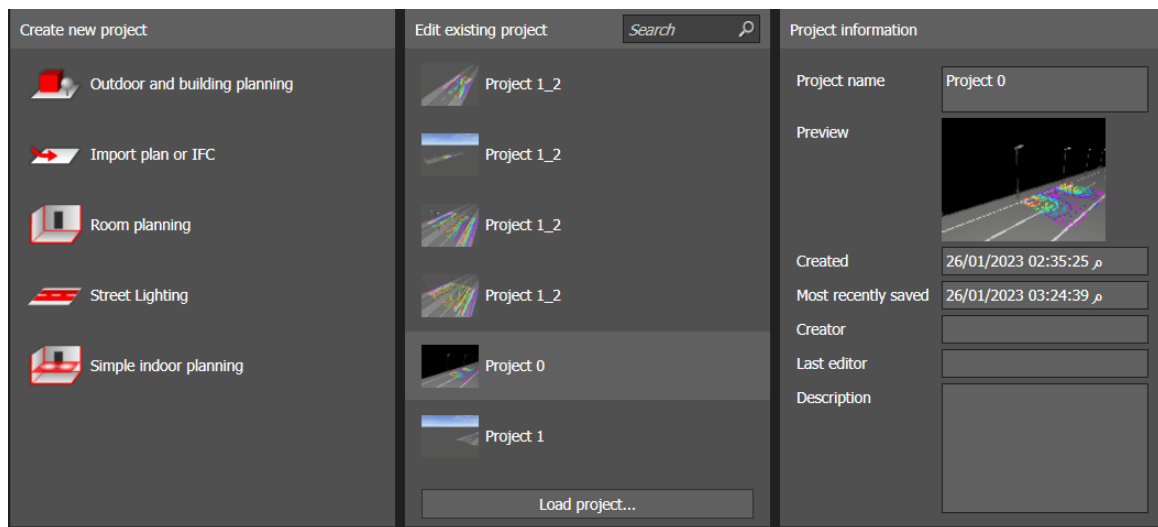
يستخدم العاكس لتحويل القدرة من التيار المستمر إلى التيار المتردد لتغذية الحمل يجب أن يتم اختيار العاكس بحيث يكون قادرًا على تجهيز أقصى قدرة كهربائية للأحمال بحيث تكون القدرة الداخلة له أعلى من القدرة الكلية للحمل، بما لا يقل عن 25-30% من الحمل الكلي، كما أن الجهد الاسمي للعاكس يجب أن يكون نفس جهد نظام البطاريات، وبهذا تكون سعة العاكس هي القدرة الكلية للحمل مع معامل أمان قيمته تتراوح من 20-25%.

5.3 البرنامج المستخدم في تصميم ومحاكاة إنارة الطرق

تم في هذا البحث استخدام برنامج (*DIALux*)، وهو برنامج لتصميم ومحاكاة الإنارة الداخلية والخارجية، ويساعد في الحصول على توزيع الإنارة الأمثل والتحكم في الإنارة وتوفير الطاقة وتلبية متطلبات الإنارة الدقيقة. ويتضمن (*DIALux*) مكتبة شاملة من المصابيح بمختلف المواد والألوان والأشكال والملحقات الأخرى التي يمكن استخدامها في التصميم. كما يوفر (*DIALux*) أدوات متقدمة لتحديد مستويات إنارة وتوزيع الإنارة وتحسين الرؤية والراحة البصرية والتحكم في الإنارة، ويمكن استخدامها لتصميم الإنارة في المباني السكنية والتجارية والصناعية والمناطق العامة وغيرها من الأماكن، يمكن استخدام (*DIALux*) لتحسين كفاءة الإنارة في الطرق وتقليل الاستهلاك الكهربائي وتحسين جودة الإضاءة والأمان. يتميز (*DIALux*) بسهولة الاستخدام والتنقل بين الوظائف والميزات، ويدعم البرنامج تنسيقات مختلفة للملفات والتصدير والاستيراد، مما يسهل تبادل البيانات مع برامج أخرى، كما يوفر (*DIALux*) أدوات وميزات متعددة تتيح للمستخدمين إنشاء أنظمة إضاءة فعالة من حيث التكلفة وتحسين جودة الإضاءة والأمان.

وتقليل الاستهلاك الكهربائي. ويمكن استخدام (*DIALux*) لتحليل النظام الموجود وتقييم أدائه وتحديد المشاكل الحالية وتحسينها. يمكن للمستخدمين تخصيص إعدادات (*DIALux*) واستخدامها في تصميم الإضاءة الخاصة بهم بناءً على متطلباتهم الفردية، ويوفر (*DIALux*) أيضًا مجموعة من الأدوات لتحليل الإنارة والتي تشمل تحليل الإنارة الداخلية والخارجية والإنارة الطبيعية والإنارة الصناعية والإنارة النهارية وغيرها^[39].

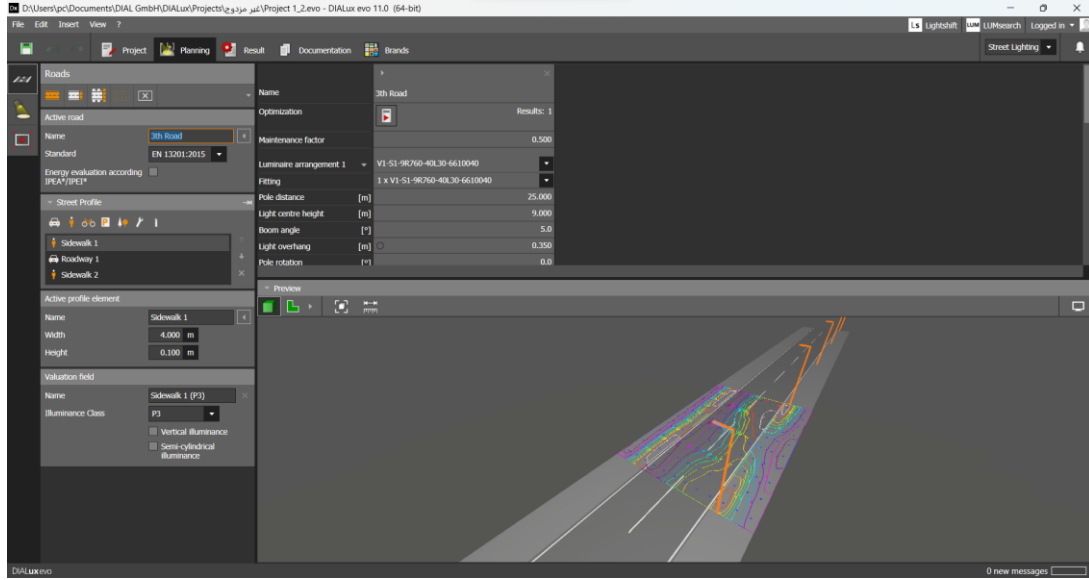
لبدء تصميم إنارة طريق في برنامج (*DIALux*)، يفتح البرنامج ثم يتم النقر على بمشروع جديد (*New Project*) من القائمة، ثم تحديد وحدات القياس التي تريد استخدامها في التصميم، على سبيل المثال المتر، ثم مشروع خارجي (*Outdoor Project*) وتحدد إنارة الطريق (*Street Lighting*) كنوع للمنطقة المراد تصميمها، أو من خلال واجهة بدء التشغيل للبرنامج والتي تظهر في بداية تشغيل البرنامج واختيار (*Street Lighting*)، كما هو موضح في الشكل (3.3)، ثم يتم إدخال المعلومات الأساسية للمشروع، مثل اسم المشروع وموقعه والمعلومات الأخرى المطلوبة.



شكل (3.3): واجهة بدء التشغيل برنامج (*DIALux*)^[39].

تحتوي واجهة برنامج (DIALux) على العديد من الأدوات والخيارات التي يمكن استخدامها في تصميم الإنارة، كما هو موضح في الشكل (4.3)، وتتمثل في:

1. شريط الأدوات: يحتوي على الأدوات الرئيسية التي يمكن استخدامها في تصميم الإنارة، مثل أدوات تحديد المصابيح والمواد والأشكال والحوامل والأعمدة.



شكل (4.3): يوضح الشكل الواجهة الرئيسية للبرنامج [39].

2. شريط القوائم: يحتوي على العديد من الخيارات والإعدادات التي يمكن استخدامها في تخصيص التصميم، مثل إضافة مشاريع جديدة وتحميل ملفات الإضاءة وتحديد الوحدات وإعدادات الإضاءة والتحكم في العرض والتنقل في الواجهة.

3. منطقة العرض: هي المساحة التي يتم فيها عرض التصميم والإنارة، ويمكن التنقل فيها باستخدام أدوات التحكم في العرض.

4. الجدول الخاص بالمصابيح: يحتوي على قائمة بالمصابيح والمواد والأشكال الأخرى المستخدمة في التصميم، ويمكن استخدامه لتحديد المعلومات الدقيقة للمصابيح وتوزيعها في المساحة المحددة.

5. **نافذة الخصائص:** تحتوي على العديد من الإعدادات والخيارات التي يمكن استخدامها في تخصيص

المصابيح والمواد والأشكال والإنارة، مثل تحديد نوع الإنارة وتعيين مستويات الإنارة وتوزيع الإنارة وضبط الألوان والظلال.

6. **نافذة النتائج:** تحتوي على النتائج الحالية لعملية التصميم، مثل مستويات الإضاءة وتوزيع الإضاءة واستهلاك

الطاقة وتحليل الإنارة والرؤية والراحة البصرية. هذه هي العناصر الرئيسية في واجهة برنامج (DIALux)، ويمكن استخدام الأدوات والخيارات المتاحة في البرنامج لتصميم الإضاءة المناسبة للمساحة المحددة، الجدير بالذكر أن (DIALux) يعتمد في تصميم إنارة الطرق والإنارة العمومية على معايير موضحة كما يلي:

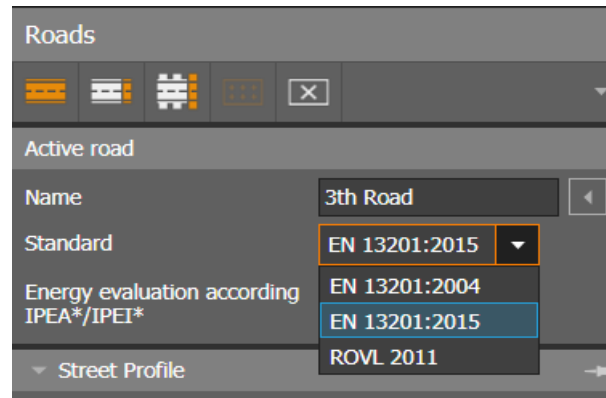
- **معييار EN 13201:2004:** يعتبر هذا المعيار مفيدة للمصممين والمستخدمين لمعرفة المتطلبات الأساسية لتصميم الإضاءة العمومية، بما في ذلك متطلبات الإضاءة والتوزيع والتحكم في الإضاءة وشروط الرؤية.

- **معييار EN 13201:2015:** يستخدم هذا المعيار مع التصميم الأساسي لإنارة الطرق وطرق المشاة (الرصيف) والمناطق العامة الأخرى. ويكون مفيداً أكثر عند الحاجة لمتطلبات الإنارة الأساسية والتوزيع وشروط الرؤية والتحكم في الإنارة والتصميم العملي.

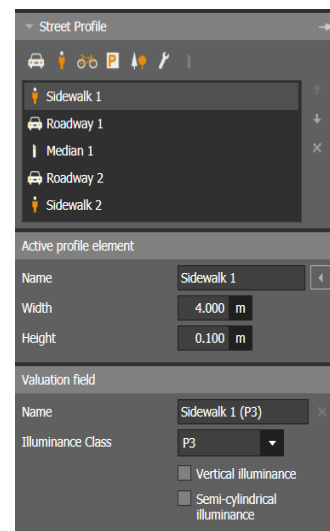
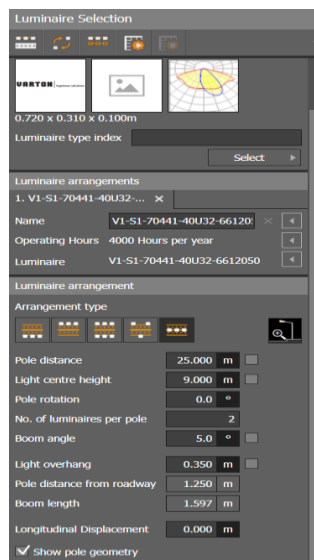
- **معييار ROVL 2011:** هذا المعيار يستخدم لتلبية متطلبات التصميم لإنارة الطرق وطرق المشاة (الرصيف) والمناطق العامة الأخرى في رومانيا.

تتضمن المعايير السابقة متطلبات أساسية لتصميم الإنارة العمومية، ويجب الالتزام بها عند التصميم لإنارة للطرق والمناطق العامة، ويجب الاختيار بينها بناء على المعايير التي تتبعها بلدك أو المشروع الذي تعمل عليه.

يطلب برنامج (*DIALux*) تحديد تكوين الطريق، وفئته ثم إدخال أبعاد الطريق، مثل طول وعرض وعدد الحواري فيها، وتحديد أبعاد طرق المشاة (الرصيف)، وتصنيفها حسب الفئة كما هو موضح في الشكل (5.3) ليطلب بعد ذلك إدخال مواصفات عمود الإنارة كارتفاع العمود وطول الذراع.....وزاوية الذراع وبُعد الذراع عن الطريق، وعدد المصابيح في عمود الإنارة كما هو موضح في الشكل (6.3)، فضلاً عن اختيار نوع المصباح وترتيب الأعمدة على الطريق، قبل عرض النتائج المبدئية والبدء في تحسينها حتى تتوافق مع متطلبات الفئة المختارة.



شكل (5.3): معايير التصميم المستخدمة في برنامج (*DIALux*)^[39].



شكل (6.3): نوافذ إدخال معلومات الطرق لبرنامج (*DIALux*)^[39].

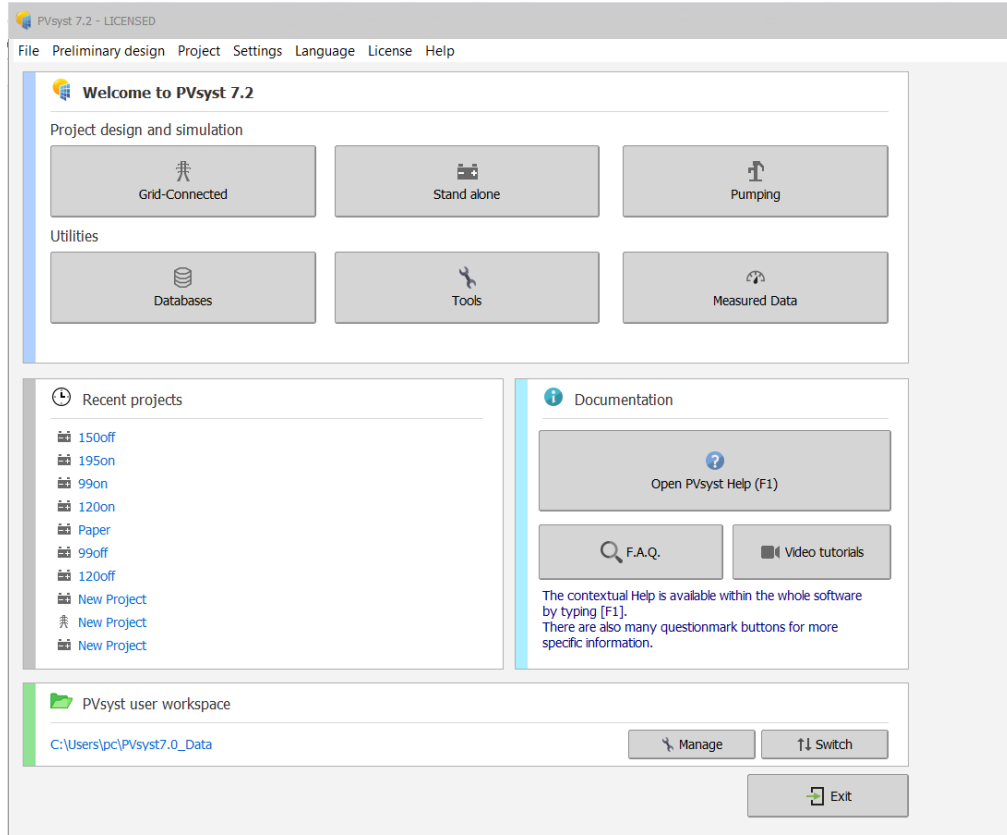
يمكن عرض النتائج باستخدام الرسوم البيانية المختلفة مثل الرسوم البيانية. ويمكن تخصيص هذه الرسوم البيانية حسب الاحتياجات الخاصة بالمستخدم، كما يمكن للبرنامج عرض النتائج في جداول تحتوي على معلومات مفصلة حول القيم المستخدمة في التحليلات والحسابات، كما يمكن للبرنامج عرض الرسوم البيانية ثلاثية الأبعاد. يمكن من خلال (DIALux) إنشاء تقارير مفصلة حول النتائج التي تم الحصول عليها من التحليلات والحسابات في (DIALux)، كما يمكن تخصيص هذه التقارير حسب الاحتياجات الخاصة بالمستخدم.

6.3 البرنامج المستخدم في تصميم ومحاكاة منظومة الإنارة الشمسية

تم الاعتماد على برنامج (PVsyst) في تصميم ومحاكاة المنظومة الشمسية المستخدمة في تغذية الحمل، حيث يعتبر (PVsyst) أحد البرامج المهمة في حسابات المنظومات الشمسية، من تصميم وابتكار جامعة جنيف السويسرية، برعاية وزارة الطاقة بسويسرا. يقوم البرنامج على تصميم واختبار ومحاكاة انتاجية المنظومات الشمسية في ظروف عملها الحقيقية اعتمادًا على ظروف نصب المنظومة، وموقعها وشدة الإشعاع الشمسي الساقط عليها، إضافة لنوع مكونات هذه المنظومة كالألواح الشمسية، والعاكس والبطاريات المستخدمة فيها. كما يمتاز البرنامج بدقة حساباته في محاكاة مختلف أنواع الأنظمة على اختلاف أحجامها، فهو على خلاف العديد من البرامج يعمل على حسابات المنظومات الصغيرة بدقة بالغة وبنفس دقة الحسابات للمنظومات الكبيرة. يعمل البرنامج بشكل عام على أربع وظائف أساسية كما هو موضح في الشكل (7.3) يمكن تلخيصها فيما يلي:

- حسابات منظومات الألواح الشمسية المتصلة بالشبكة.
- حسابات منظومات الألواح الشمسية المستقلة عن الشبكة.

- منظومة الألواح الشمسية المنصبة لتشغيل مضخات المياه من الآبار.
- منظومة الألواح الشمسية الهجينة^[40].



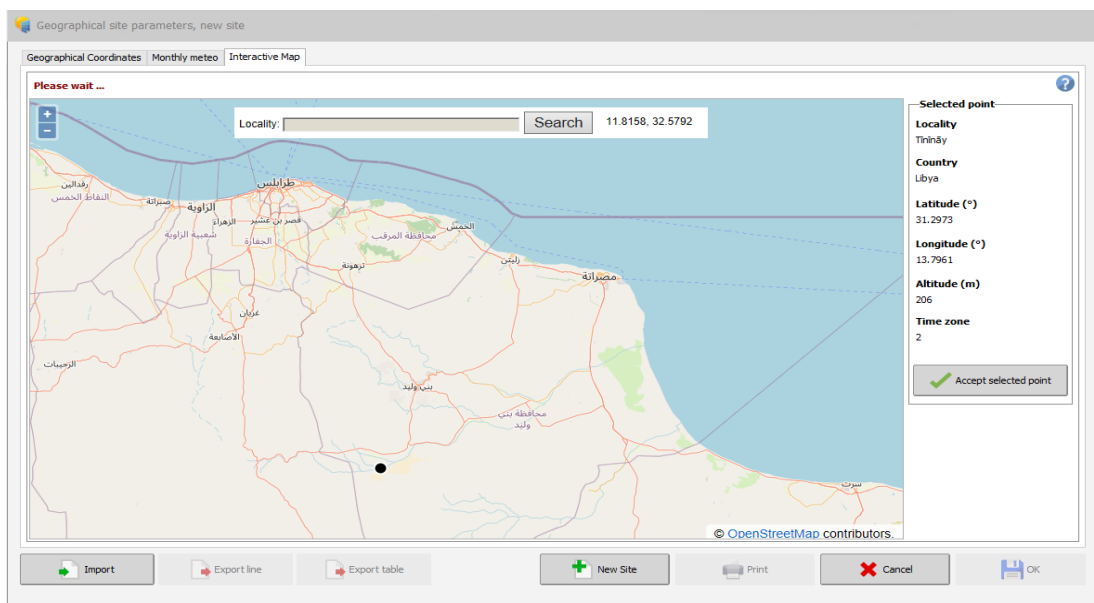
شكل (7.3): الواجهة الرئيسية لبرنامج (PVsyst)^[40].

1.6.3 فكرة عمل برنامج المحاكاة

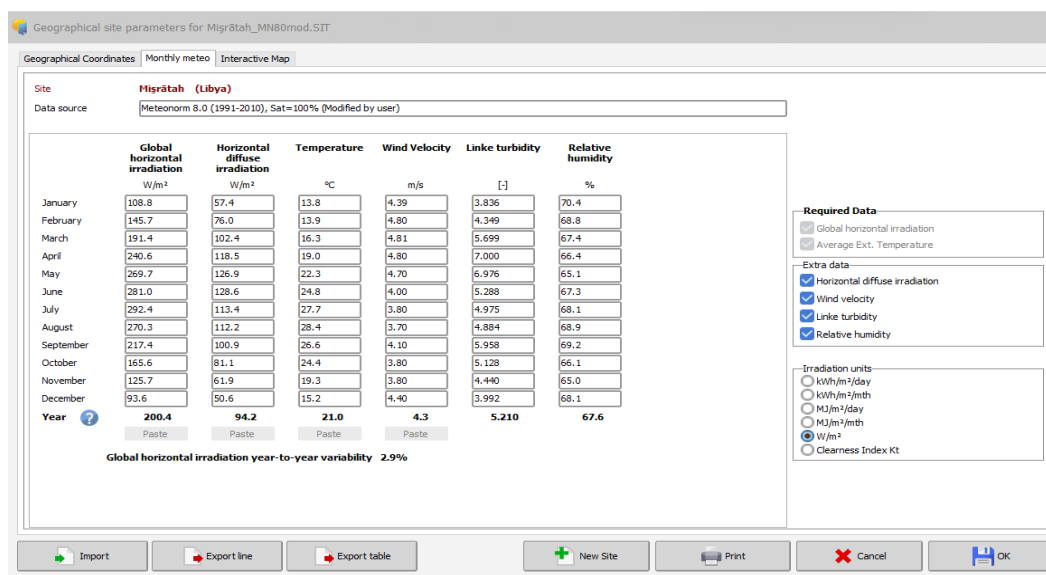
يمكن إيجاز فكرة عمل البرنامج، في تحديد موقع نصب المنظومة الشمسية لغرض حسابات الإشعاع الشمسي والظروف المناخية المحيطة بالمنظومة كما هو موضح في الشكل (8.3)، حيث يوفر البرنامج المستخدم في عملية المحاكاة (PVsyst) قياسات الإشعاع الشمسي لموقع نصب المنظومة، من خلال الاستكمال للبيانات المتاحة على الأرض، والتي توفرها قاعدة بيانات وكالة ناسا للبيانات النوعية

وبيانات شدة الإشعاع الشمسي، بعد تحديد خط الطول للموقع. يعمل البرنامج بعد ذلك على توفير بيانات

الموقع من الإشعاع الكلي، والإشعاع المنتشر، وسرعة الرياح كما هو موضح في الشكل (9.3).



شكل (8.3): اختيار موقع نصب المنظومة^[40].



شكل (9.3): بيانات المدينة من الإشعاع الكلي، والإشعاع المنتشر، وسرعة الرياح^[40].

يلي هذه الخطوة تحديد اتجاه وزوايا الألواح الشمسية والمتمثلة في زاوية ميل اللوح الشمسي (*Plane tilt*)، وهي الزاوية التي يصنعها اللوح الشمسي مع الأفق، وزاوية السميت (*Azimuth angle*) والتي تعرف على أنها الزاوية المحصورة بين المسقط الأفقي للعمودي على السطح وبين اتجاه الجنوب، وتتخذ موجبة في اتجاه غرب الجنوب وسالبة ناحية شرق الجنوب، ويطلق أيضا عليها اسم زاوية اتجاه السطح، وعادة ما توجه الخلايا الشمسية في الاتجاه الجنوبي بالنسبة للمناطق الواقعة في نصف الكرة الشمالي، وفي الاتجاه الشمالي في نصف الكرة الجنوبي، بحيث تكون أغلب الوقت مواجهة للإشعاع الشمسي.

يتطلب تصميم منظومة خلايا شمسية تحديد السعة اللازمة لتحقيق الأحمال الكهربائية لعمود الإنارة الشمسية والتي يحتاجها لتغذية كافة متطلباته كما هو موضح في الشكل. حيث تم الاعتماد في حساب هذه السعة على نتائج تصميم الإنارة الشمسية والتي ستستعرض في الفصل القادم وتوزيعها طيلة ساعات اليوم.

ليتم بعد ذلك اختيار مكونات المنظومة من ألواح شمسية وبطاريات والعاكس حسب مواصفات الشركات العالمية المدرجة في قاعدة بيانات البرنامج كما هو موضح في الشكل (10.3)، والتي تحقق سعة المنظومة المختارة، حيث يوفر البرنامج إمكانية الاطلاع على الكتلوجات الخاصة بالشركات، والمفاضلة بينها، قبل أن تتم عملية المحاكاة وعرض النتائج كما هو موضح في الشكل (11.3).

Stand-alone system definition, Variant: "New simulation variant", Variant: "New simulation variant"

Av. daily needs: 1.7 kWh/day
 Enter accepted PLOL: 5.0 %
 Enter requested autonomy: 2.0 day(s)
 Battery (user) voltage: 26 V
 Suggested capacity: 153 Ah
 Suggested PV power: 583 Wp (nom.)

Storage: PV Array | Back-Up | Simplified sketch

Sub-array name and Orientation:
 Name: PV Array
 Orient.: Fixed Tilted Plane
 Tilt: 20°
 Azimuth: 0°

Pre-sizing Help:
☐ No sizing
 Enter planned power: 0.7 kWp
☐ ... or available area: 0 m²

Select the PV module:
 All modules: Jinkosolar
 Sort modules: Power (selected) Technology
 565 Wp 37V Si-mono JKM565M-7RL4-V Since 2021 Datasheets 2021
 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 38.2 V
 Voc (-10°C) 58.3 V

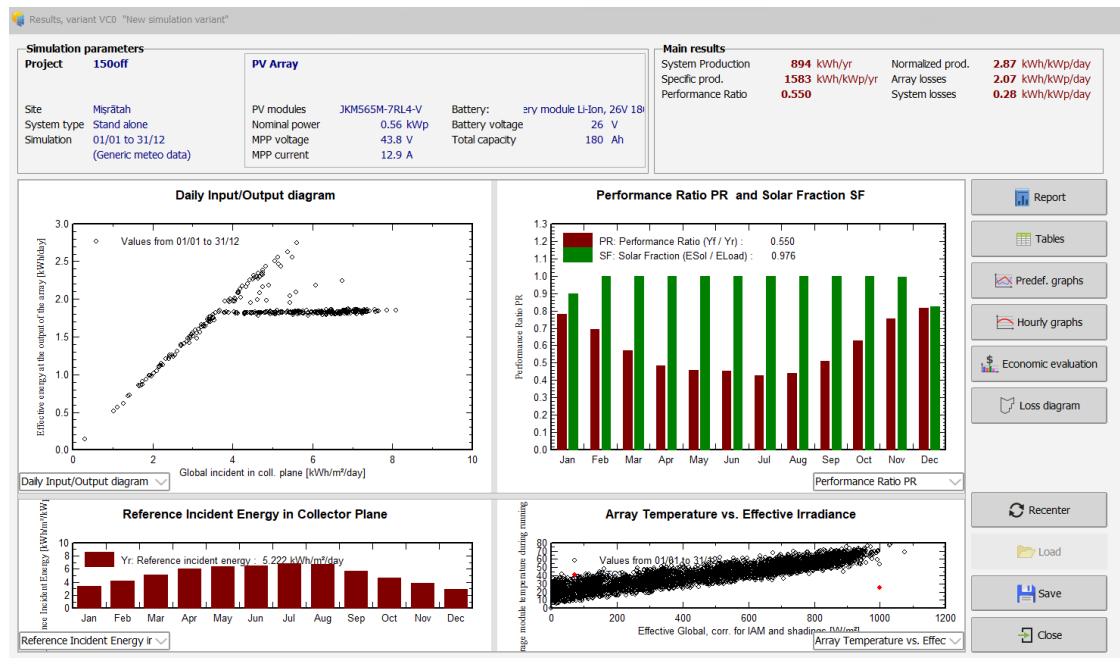
Select the control mode and the controller:
☒ Universal controller
 All manufacturers
 MPPT power converter
 Operating mode:
☐ Direct coupling
☒ MPPT converter
☐ DC-DC converter
 MPPT 1000 W 26 V 24 A 8 A Universal controller with MPPT conv G
 The operating parameters of the universal controller will automatically be adjusted according to the properties of the system.

PV Array design:
 Number of modules and strings:
 Mod. in series: 1
 Nb. strings: 1
 Nb. modules: 1 Area: 3 m²
 Operating conditions:
 Vmpp (60°C) 38 V
 Vmpp (20°C) 45 V
 Voc (-10°C) 58 V
 Plane irradiance: 1000 W/m²
 Impp (STC) 12.9 A
 Isc (STC) 13.8 A
 Isc (at STC) 13.6 A
 Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C): 0.6 kW
 Array nom. Power (STC): 565 Wp

User's needs:
 Household
 Night ratio: 50.0%
 Av. power: 69 W
 Daily energy: 1.66 kWh
 Capacity: 180 Ah
 Stored energy: 4.15 kWh
 1 str. of 1 modules
 Nom. Power: 565 Wp
 Av. daily energy: 2.05 kWh
 PV/Load: 8.2
 Nom. Power: 491 W
 Universal MPPT
 PV/PCConv: 1.15
 Thresholds acc. to SOC

Cancel OK

شكل (10.3): نافذة اختيار مكونات المنظومة.



شكل (11.3): عرض نتائج المحاكاة في البرنامج.

الفصل الرابع

فرضيات التصميم ومحاكاة الإنارة للمصابيح الثلاثة

تصميم إنارة الطرق يعتبر من الجوانب الهامة في تخطيط المدن والمناطق الحضرية، حيث يلعب دورًا حاسمًا في توفير الرؤية الجيدة للسائقين والمشاة، وتحسين السلامة العامة والأمن في الطرقات خلال الليل. يتضمن تصميم إنارة الطرق العديد من العوامل التي يجب النظر إليها، مثل الإنارة المناسبة، والتوزيع الجيد للإنارة، وتوافق التصميم مع البيئة المحيطة، وتوفير الطاقة، وتحقيق الكفاءة الاقتصادية، وتقليل التأثير البيئي. يستعرض هذا الفصل تصميم إنارة الطرق قيد الدراسة، ومناقشة أهم متطلبات تصنيف الإنارة المختار.

1.4 الحالة الدراسية

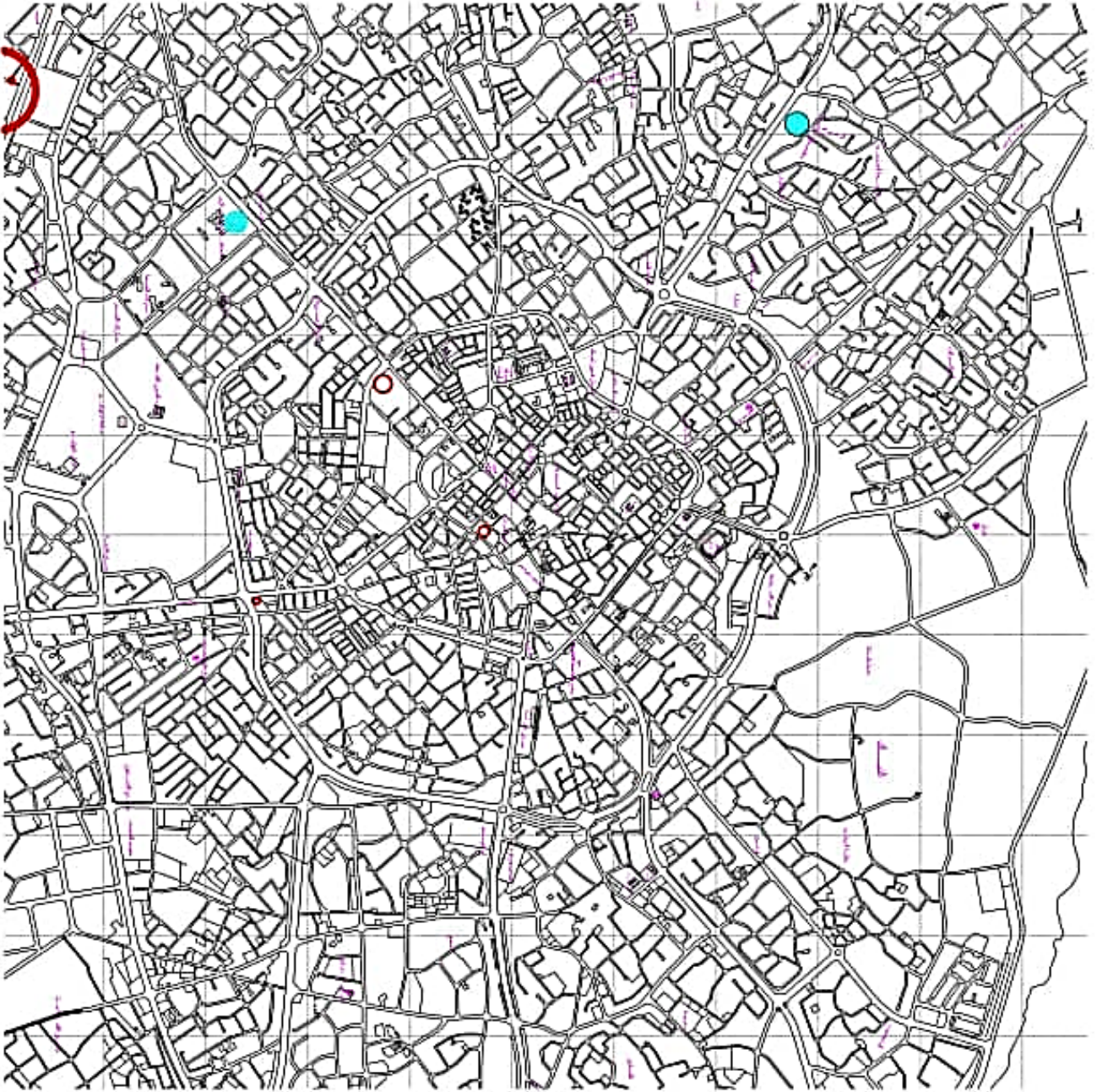
سيتم في هذا البحث اختيار الطرق الدائرية الأربعة في مدينة مصراتة (الدائري الأول، الدائري الثاني، الدائري الثالث، الدائري الرابع) الموضحة في الشكل (1.4) كدراسة حالة. والمقارنة بين إنارة الطريق بمصابيح الصوديوم التقليدية المغذاة من الشبكة العامة، وتقنية إنارة LED الذي يعمل بالشبكة أيضًا، من حيث جودة الإنارة والتكلفة. كما سيتم دراسة الإنارة بمصابيح LED التي تعمل بالطاقة الشمسية، وحساب الطاقة الموفرة نتيجة استبدالها مع أعمدة الإنارة السابقة.

تم تصنيف الطرقات إلى طريق فردي رئيسي وطريق مزدوج رئيسي، وذلك من أجل تحديد متطلبات الإنارة لكل منها، وبالتالي تحديد طريقة توزيع الأعمدة والمسافة الفاصلة بينها فضلاً عن حساب ارتفاع العمود، بالإضافة لحساب متوسط شدة الإضاءة والمساحة السطحية للوح الشمسي لكل صنف من الطرق.

2.4 فرضيات تصميم إنارة الطرق الأربعة قيد الدراسة

لتحديد تصنيف الإنارة وبالتالي تحديد متطلبات الإنارة في الطرق المختارة:

1. تعد المركبات الآلية هي المستخدم الرئيسي للطريق، وبسرعة لا تقل عن 60 كم/ ساعة مع إمكانية استخدام الطريق من قبل الدراجات النارية والعادية، ويقطعه المشاة بعض الأحيان.



شكل (1.4): خريطة لطرق الدوائر الأربعة بمدينة مصراتة.

2. مع السرعات العالية للمستخدم الرئيسي للطريق يسمح باستخدام الدراجات النارية بسرعات تقل عن 40 كم/ساعة، كذلك إمكانية تواجد الدراجات والمشاة في بعض الأحيان على جانبي الطريق.
3. أسطح الشوارع غالبًا ما تكون جافة.
4. ترتبط الشوارع ببعضها من خلال التقاطعات، حيث يفصل بين التقاطعات مسافة تقل عن 3 كيلومتر.
5. مصادر الإلهاء والارتباك (الإضاءة العالية واللوحات الإعلانية، ... وغيرها) لمستخدم الطريق تعتبر في المعدل الطبيعي.
6. حركة القيادة طبيعية حيث يمكن للمستخدم أن يميز مسار الطريق وأن يبقى في خط سيره لمدة طويلة دون أي عارض يمنعه من ذلك.
7. عند القيادة ليس بالضرورة تمييز وجوه المشاة، فقط يكفي رؤية هيئة الشخص على الطريق.

3.4 تحديد شدة الإضاءة

يعتبر توفير إنارة كافية وفعالة للشوارع والطرق من الأمور الحيوية لضمان السلامة والأمان للمشاة والسائقين أثناء القيادة في الليل. وتستخدم شدة الإضاءة في تحديد مستوى الإنارة المناسب لإنارة الشوارع والطرق، حيث تمثل شدة الإضاءة كما تم توضيحها في السابق على أنها كمية الضوء الذي يسقط على سطح معين. تحديد مستوى شدة الإضاءة الصحيح لإنارة الطرق يعتمد على عدة عوامل، مثل نوع الطريق وكمية حركة المرور والنشاط والمشاة ومستوى الجريمة في المنطقة. ويتم تحديد المستوى القياسي لشدة الإضاءة بشكل عام حقيقة من قبل الهيئات التنظيمية والسلطات المحلية، وتوجد توجيهات ودليل موحد لمستويات الإضاءة الموصي بها لمختلف أنواع الطرق والشوارع، فعلى سبيل المثال:

- توصي الجمعية البريطانية للمهندسين الإضاءة بمستويات بين (10-50) لوكس للطرق السكنية، وبين (20-30) لوكس لمناطق المشاة، وبين (30-50) لوكس للطرق الرئيسية والطرق السريعة، وذلك بناءً على عوامل مثل مستوى حركة المرور وهندسة الطريق^[41].

- توفر اللجنة الدولية للإضاءة (CIE) أيضًا دليل لمستويات الإضاءة الموصي بها للعديد من التطبيقات، بما في ذلك إنارة الطرق. وتوصي بمستويات بين (10-30) لوكس للطرق السكنية وبين (30-50) لوكس للطرق الرئيسية والطرق السريعة^[42].
 - توفر الجمعية الأمريكية لهندسة الإضاءة (IES) أيضًا دليلًا لمستويات الإضاءة الموصي بها لمختلف التطبيقات. ويوصي دليل الإضاءة الخاص بهم، الإصدار العاشر^[43]، بمستويات بين (5-30) لوكس للمناطق السكنية، وبين (10-30) لوكس للمناطق التجارية، وبين 20-50 لوكس للمناطق الصناعية.
- يتفاوت المستوى القياسي لشدة الإضاءة بناءً على العوامل المختلفة في موقع محدد، وكما ذكر سابقًا، فإن المستوى الفعلي لشدة الإضاءة يختلف بناءً على التشريعات والأنظمة الخاصة بالمنطقة، تم حساب متوسط شدة الإضاءة في الطرق الدائرية الأربعة في مدينة مصراته، من خلال استخدام جهاز قياس شدة الإضاءة (Digital Light Mete) الموضح في الشكل (2.4).



شكل (2.4): جهاز قياس شدة الإضاءة (Digital Light Mete).

جهاز قياس شدة الإضاءة هو جهاز يستخدم لقياس شدة الضوء الموجودة في موقع معين، والتي تعبر كما تمت الإشارة لها سابقاً عن كمية الضوء المنبعث من مصدر محدد باتجاه سطح معين، حيث يحتوي الجهاز على مستشعرات ضوء تستخدم للكشف عن الضوء وتحويله إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها. يعمل الجهاز عن طريق وضع المستشعر على السطح الذي يتم قياس شدة الضوء فيه، ويتم قياس شدة الضوء وعرض القراءات على الشاشة الرقمية بوحدة (LUX). يجعل استخدام جهاز قياس شدة الضوء الرقمي هذه العملية أسهل وأكثر دقة ويمكن استخدامه للتأكد من أن المستويات اللازمة من الإضاءة متوفرة في الموقع المطلوب، ويمكن استخدامه أيضاً في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في التطبيقات الإنارة لتحقيق التوازن بين الراحة البصرية والاقتصاد في استهلاك الطاقة. ونتيجة لعدم وجود مواصفات حقيقية للإنارة، كما ورد عن شركة الكهرباء بالمدينة، تم بواسطة الجهاز قياس شدة الإضاءة في حوالي 78 نقطة تقريباً متفرقة على جانبي ووسط الطريق للطرق الدائرية الأربعة التي تمثل حالة الدراسة، وبأخذ متوسط هذه النقاط نجد أن مستوى شدة الإضاءة حوالي $33 LUX$ ، وبهذا سيتم اعتماد القيمة $30 LUX$ على أنها متوسط شدة الإضاءة القياسية في هذا البحث للطرق الزوجية، على أن تعتمد القيمة $16lux$ للطرق الفردية.

4.4 تصميم إنارة الطرق

في هذا البحث سيتم التركيز على تصنيفين رئيسيين من إنارة الطرق، وتغطي هذه التصنيفات معظم الطرق في ليبيا وهي (M, P) وسيتم اعتبار أن كل الطرق تندرج تحت هذه التصنيفات. تم تصنيف الإضاءة من نوع M مع الطرق المخصصة للسائقين من السيارات والدراجات النارية على الطرق المرورية، والتي يمكن أن تستخدم أيضاً على الطرق السكنية، مما يسمح بسرعات قيادة متوسطة إلى عالية. تم تحديد فئة الإضاءة $M4$ من خلال تحديد الأوزان المصاحبة للقيود كما هو موضح في الجدول

(1.4) ومن تم جمع الأوزان (W) لتطرح من القيمة 6 وفقاً للمعادلة التالية:

$M: 6 - W$

(4.1)

جدول (1.4): القيود المستخدمة في تحديد الوزن W لتحديد فئة التصنيف M .

القيود	خيارات القيد	الوصف	الوزن	قيمة الوزن المختار W_i
السرعة	عالية جداً	أكبر من 90km/h	1	1
	عالية	أكبر من 90km/h وأقل من 70km/h	0.5	0.5
	متوسطة	أقل من 70km/h	0	-
حجم حركة المرور	عالية جداً	أكبر من 25000 مركبة في اليوم	1	-
	عالية	أكبر من 15000 مركبة وأقل من 25000 مركبة في اليوم	0.5	0.5
	متوسطة	أقل من 15000 مركبة وأكبر من 7000 مركبة في اليوم	0	-
	قليلة	أقل من 7000 مركبة وأكبر من 3000 مركبة في اليوم	- 0.5	-
	قليلة جداً	أقل من 3000 مركبة في اليوم	- 1	-
تكوين حركة المرور	مختلط مع نسبة عالية من المركبات الغير الآلية		2	
	مختلط		1	1
	مركبات فقط		0	
فصل الطريق	نعم		1	1
	لا		0	
الوزن W			4	

ومن ثم يمكن حساب التدفق الضوئي للطرق الدائرية الأربعة حسب المواصفات الموضحة في الجدول

(2.4) من العلاقة (2.3) حيث يتأثر اختيار قيمة التدفق الضوئي للطريق على عدة عوامل بما في ذلك

نوع وقوة مصدر الإضاءة، وارتفاع المصدر عن الأرض، وزاوية الإضاءة، ونوع العدسة المستخدمة، ونوع

السطح الذي يتم إضاءته، وكذلك جودة الإضاءة المحيطة بالمنطقة المراد إضاءتها. كل هذه العوامل

يمكن أن تؤثر على كمية الضوء الذي يصدره المصدر وعلى شدة الإضاءة الناتجة. وبالتالي، يمكن تعديل هذه العوامل لتحسين مستوى الإضاءة وزيادة متوسط التدفق الضوئي في الطريق المراد إضاءته.

جدول (2.4): مواصفات الطريق المستخدمة في حساب شدة الإضاءة.

التدفق الضوئي (lm)	عرض الطريق W (متر)	المسافة بين الأعمدة d (متر)	معامل الانقعا Cu	معامل الصيانة mf	طريقة توزيع الإضاءة	عدد الحواري	عدد المصابيح في العمود
حالة الطريق رقم 1	17	25	0.5	0.8	فردى متناظر	2	2
حالة الطريق رقم 2	17	25	0.5	0.8	مركزي مزدوج	2	2
حالة الطريق رقم 3	8.5	25	0.5	0.8	فردى	1	1

يمكن تحديد قدرة المصباح المستخدم في الإضاءة من خلال النظر إلى التدفق الضوئي المستهدف واختيار المصباح الذي يحقق هذه القيمة، ومن خلال تصفح العديد من الخيارات في شركات مختلفة، ومن خلال استخدام برنامج المحاكاة (*DIALux*)، تم اختيار عدد ثلاثة مصابيح مصنفة كالتالي:

1. مصباح بتدفق ضوئي قيمته 20116lm وهي تحقق متطلبات حالة الطريق رقم 1 وبقدرة

195Watt ، الجدول (3.4) يوضح مواصفات المصباح المستخدم في عملية التصميم والمحاكاة

في هذه الحالة.

جدول (3.4): مواصفات المصباح المستخدم في حالة الطريق رقم 1.

ت	نوع المصباح	LED
1	قدرة المصباح	195W
2	كفاءة الإضاءة	103lm/W
3	التدفق الضوئي للمصباح	20116lm
4	درجة حرارة اللون	$3000K$

2. مصباح بتدفق ضوئي قيمته $16200lm$ وهي تحقق متطلبات حالة الطريق رقم 2 وبقدرة $120Watt$ ، الجدول (4.4) يوضح مواصفات المصباح المستخدم في عملية التصميم والمحاكاة في هذه الحالة.

جدول (4.4): مواصفات المصباح المستخدم في حالة الطريق رقم 2.

ت	نوع المصباح	LED
1	قدرة المصباح	120 W
2	التدفق الضوئي للمصباح	16200 lm
3	درجة حرارة اللون	5000K

3. مصباح بتدفق ضوئي قيمته $13500lm$ وهي تحقق متطلبات حالة الطريق رقم 1 وبقدرة $99Watt$ ، الجدول (5.4) يوضح مواصفات المصباح المستخدم في عملية التصميم والمحاكاة في هذه الحالة.

جدول (5.4): مواصفات المصباح المستخدم في حالة الطريق رقم 3.

ت	نوع المصباح	LED
1	قدرة المصباح	99 W
2	التدفق الضوئي للمصباح	13500 lm
3	درجة حرارة اللون	4000K

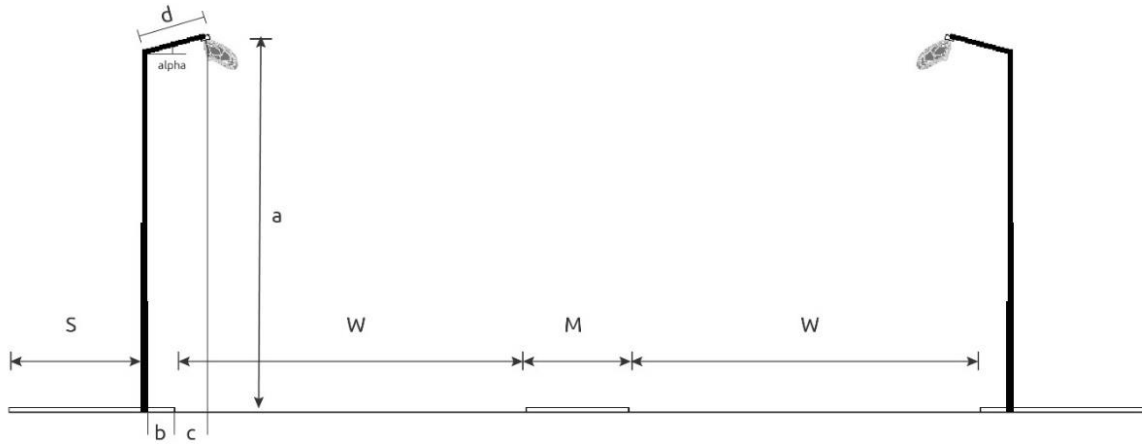
تم إجراء عملية المحاكاة على الطرق الدائرية الأربعة وفقاً للنماذج الثلاثة للمصابيح حيث اعتمد توزيع نماذج المصابيح على الطرق وفق قيود عدة تتلخص في التالي:

- التوزيع الحالي لأعمدة الإنارة، وذلك لتجنب التكاليف المتراكمة عن تغيير توزيع هذه الأعمدة.
- سوء استخدام المرافق العامة للطريق من قبل التجار والتعدي على منطقة المشاة (الرصيف) واستخدامها في عرض المنتجات.

- عدم وجود مواصفات حقيقية للطرق واختلاف هذه المواصفات على طول الطريق مما يسبب بعض العشوائية في توزيع الأعمدة.

1.4.4 محاكاة الإنارة بمصباح LED195

من خلال المحاكاة لعملية الإنارة بواسطة برنامج (*DIALux*) سيتم التأكد من تحقق كل مؤشرات الفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد للطريق، وذلك بمقارنتها بالمؤشرات المطلوبة للحصول على إنارة جيدة. ولتسهيل تتبع المحاكاة في هذا البحث سيتم الإشارة إلى نموذج المصباح المستخدم باسم المصباح مصحوباً بنوعه وقدرته مثلاً نقول (المصباح LED195)، والمقصود هنا المصباح في الحالة رقم 1 والذي قدرته $195Watt$ ، تمت محاكاة إنارة جزء من طريق الدائري الثالث والرابع بالمصباح LED195، حيث تم تركيب عدد 626 مصباح موزعة بشكل متناظر منها 308 مصباح موزع على الطريق الدائري الثالث وعدد 318 مصباح موزع على الطريق الدائري الرابع بمسافة فاصلة 25 متر بين العمود والآخر، وبأبعاد تصميمية موضحة في الجدول (6.4) المقرون بالشكل (3.4).



شكل (3.4): توضيح بمسميات الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة

جدول (6.4): الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة LED195 .

المتغير	الوصف	القيمة	ملاحظات
a	ارتفاع العمود	9m	حسب المواصفات الليبية
b	بعد العمود من حافة الطريق	0.725m	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
c	مدى بعد المصباح عن حافة الطريق	0.75m	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
s	عرض طريق المشاة	4m	متوسط القيم المقاسة في الطرق الأربعة قيد الدراسة
w	عرض الطريق	7m	متوسط القيم المقاسة في الطرق الأربعة قيد الدراسة
d	طول الذراع	1.5m	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
$alpha$	زاوية الذراع	15°	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة

بمحاكاة الإنارة بواسطة المصباح LED195، اتضح تحقق كل المؤشرات المحسوبة - ملحق (1.1) -
 للفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد M4، للجزء المراد إنارته بالأعمدة الفردية المتناظرة من الطريق
 الدائري الثالث والرابع، وذلك مقارنة بالقيم الموصي بها للمؤشرات قيد الدراسة للفئة كما هو موضح في
 الجدول (7.4).

جدول (7.4): المؤشرات المحسوبة للفئة المختارة من تصنيف
 الإنارة المحدد M4 للمصباح LED195.

المتغير	القيمة المحسوبة	الهدف	تحقيق القيمة المطلوبة
L_{av}	1.72 cd/m ²	$\geq 0.75 \text{ cd/m}^2$	✓
U_o	0.68	≥ 0.40	✓
U_1	0.90	≥ 0.60	✓
TI	8 %	$\leq 15 \%$	✓
R_{EI}	0.31	≥ 0.30	✓

حيث وجد أن قيمة نسبة التوحيد العمودي للإضاءة هي 0.68 ويمكن تفسير هذه النسبة بأن الإنارة الدنيا
 على السطح الطريق في الاتجاه العمودي تمثل 68% من الإضاءة القصوى على نفس السطح في
 الاتجاه العمودي، وبما أن القيمة الفعلية للمؤشر U_o تتجاوز الحد الأدنى الموصي به، فإن ذلك يعني أن
 توزيع الإنارة في الاتجاه العمودي أفضل بشكل ملحوظ، في حين أن نسبة التوحيد الأفقي للإنارة 0.9،

مما يعني أن الإنارة على السطح المستهدف توزعت بشكل متساوٍ على مسافة طولية محددة بنسبة 90%، وذلك يشير إلى أن توزيع الإنارة جيد ومتساوٍ، وأن الإنارة تغطي المساحة المستهدفة بشكل متساوٍ ويساعد في تحسين رؤية المستخدمين وجودة الإضاءة.

كما يتضح من النتائج أن جهاز الاستشعار الضوئي المستخدم في تصميم الإضاءة يتطلب مستوى إضاءة لا يقل عن 8% من الإضاءة القصوى الممكنة لتفعيل وظيفته، وهي قيمة جيدة مقارنة بالقيمة الموصى بعدم تجاوزها في الفئة المختارة من تصنيف الإنارة، كما أن معدل إضاءة الحواف 0.31 فهذا يعني أن معدل إضاءة الحواف على الأسطح العمودية في المكان المضاء يبلغ حوالي 31% من الإنارة المتوسطة في منتصف الطريق، وعلى الرغم من انخفاض المؤشر مما يعني أن الإنارة غير متساوية على الأسطح العمودية، وخاصة على الأطراف والحواف، ومما يفسر أيضاً عدم ارتفاع قيمة U_0 ، إلا أن القيمة مقبولة في التصميم وتحقق فرضيات التصميم، فضلاً على أنها تتجاوز القيمة الدنيا الموصى بها. كما نتج عن المحاكاة أن أقصى قيمة لشدة الإضاءة على سطح الطريق كانت $50.1 Lux$ كما هو موضح في الجدول (8.4)، في حين أن أقل قيمة كانت $16.9 Lux$ ، في حين كان متوسط شدة الإضاءة على سطح الطريق 32.5 وهي قيمة مقارنة للقيمة المستهدفة، أي ما يعادل $1.75 cd/m^2$ على سطح الطريق.

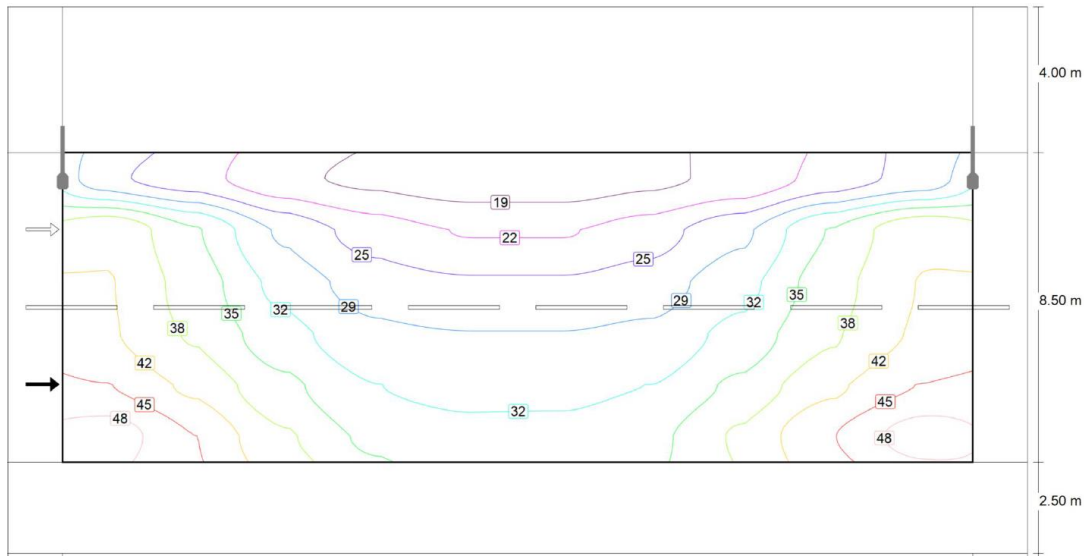
جدول (8.4): تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح LED195.

E_{av}	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2
32.5 Lx	16.9 Lx	50.1 Lx	0.52	0.34
L_{av}	L_{min}	L_{max}	g_1	g_2
1.75 cd/m ²	1.21 cd/m ²	2.10 cd/m ²	0.68	0.58

كما أن إذا كان معامل توحيد الإضاءة $g_1 = 0.68$ ، فهذا يعني أن الإضاءة في الطريق تبلغ متوسط شدتها 68% من الإضاءة المتوسطة في الأماكن المضاءة بشكل متساوي من الطريق. كما أن مؤشر عدم توحيد الإضاءة $g_2 = 0.58$ ، مما يعني أن أدنى مستوى للإضاءة في المساحة المضاءة يشكل نسبة حوالي

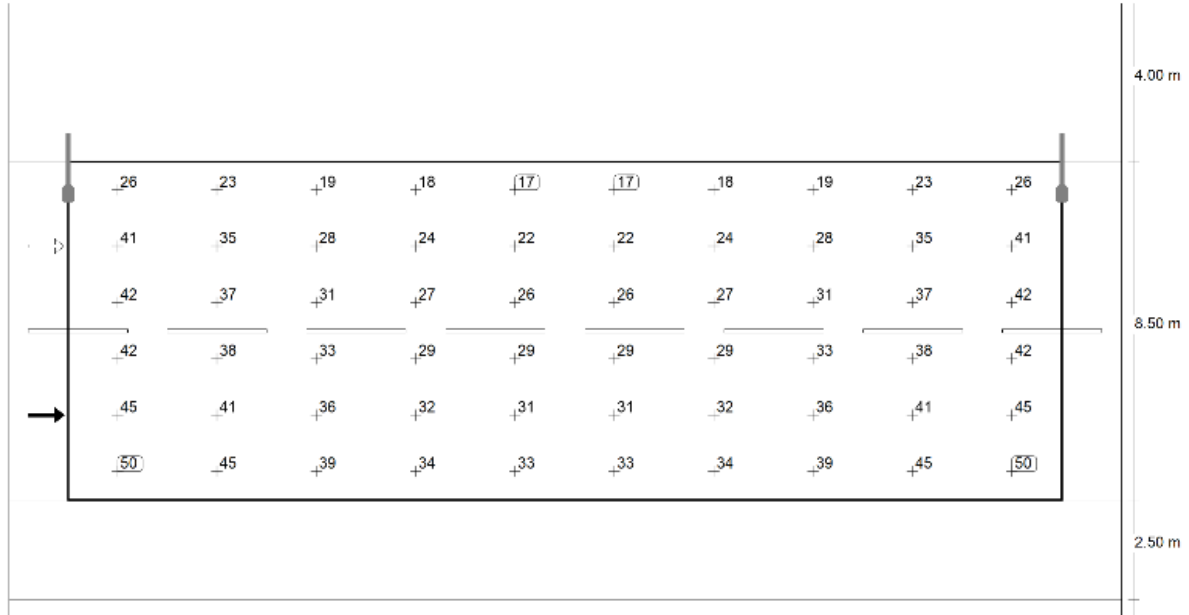
58% من المتوسط لمستوى الإضاءة في المساحة المضاءة. وبمعنى آخر، فإن هذا المعامل يشير إلى وجود فرق واضح في شدة الإضاءة بين الأجزاء المختلفة في المكان المضاءة، وهذا يمكن أن يؤثر على راحة العين والرؤية للأشخاص داخل المكان. إلا أن الجدير بالذكر أن قيم معامل عدم توحيد الإضاءة المقبولة تختلف حسب نوع التطبيق، ولكن بشكل عام، فإن القيمة المقبولة لهذا المعامل تتراوح بين 0.4 إلى 0.6. ولتحسين معامل عدم توحيد الإضاءة، يمكن اختيار مصابيح مناسبة واستخدام تقنيات التصميم الصحيحة وتركيبها بشكل مناسب في المكان المضاءة.

يوضح الشكل (4.4) منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED195 وهو مخطط يوضح مستويات الإضاءة المتساوية في المساحة المضاءة على الطريق. ويتكون من خطوط مستقيمة متوازية موزعة بانتظام في المساحة المضاءة، والتي تمثل مختلف مستويات الإضاءة المتساوية والتي يجب الحفاظ عليها للحصول على متوسط شدة الإضاءة المطلوبة.



شكل (4.4): منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED195

في حين يوضح الشكل (5.4) شبكة القيم لضمان الحصول على القيمة التصميمية لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاءة، والتي يجب المحافظة عليها على مدار فترة الاستخدام. وتمثل القيمة المقبولة لشدة الإضاءة الأفقية الحد الأدنى للإضاءة المطلوب في المساحة المضاءة.

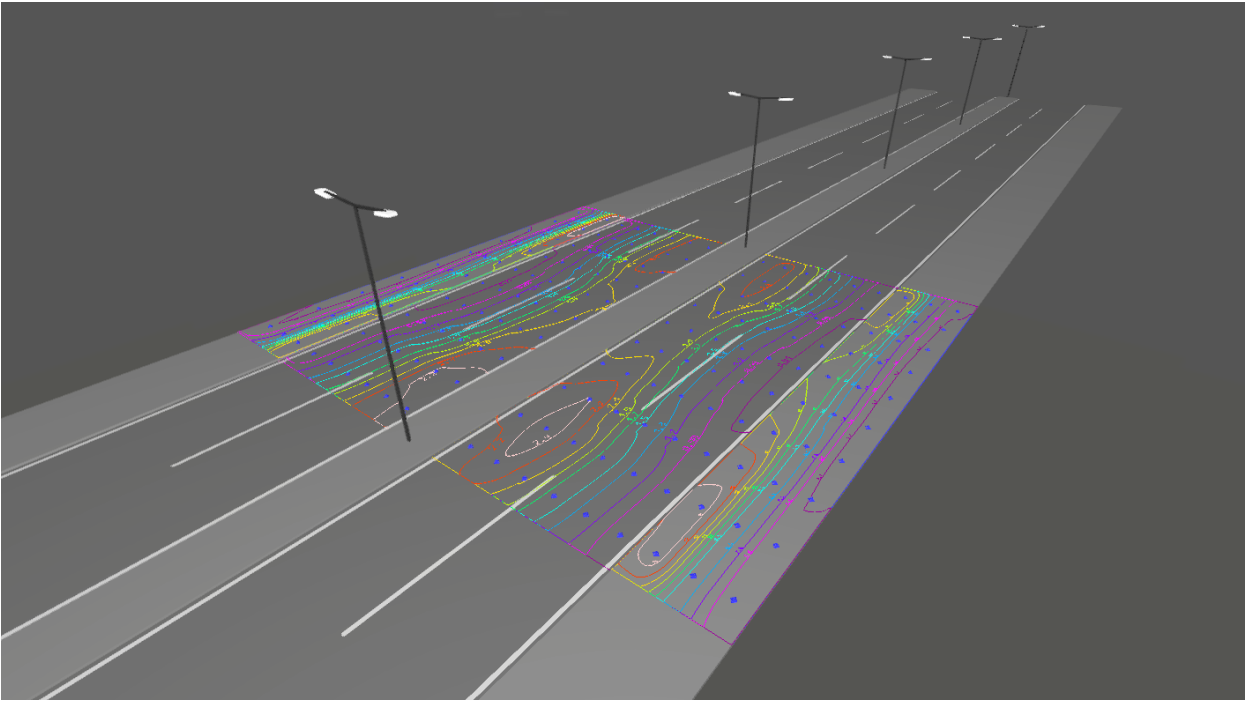


شكل (5.4): شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء بمصباح LED195.

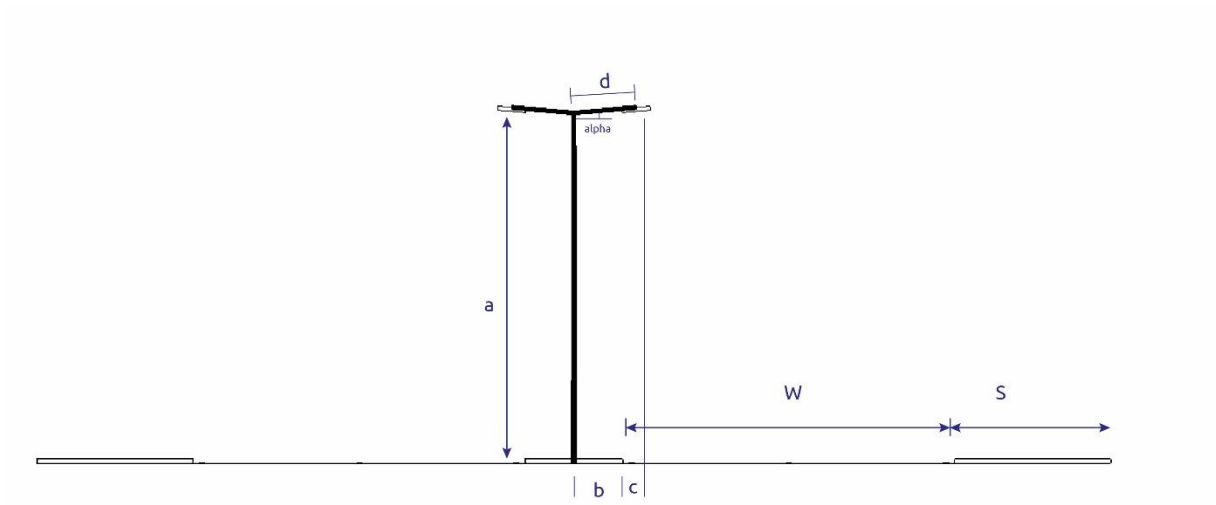
2.4.4 محاكاة الإنارة بمصباح LED120

تمت محاكاة جزء من إنارة طرق الدوائر (الثاني والثالث والرابع) بالمصباح LED120، حيث تم تركيب عدد 613 عمود إنارة مركزي مزدوج بمسافة فاصلة 25 متر بين العمود والآخر كما هو موضح في الشكل (6.4). موزع منها 227 عمود إنارة على الطريق الدائري الثاني وعدد 139 عمود إنارة على الطريق الدائري الثالث، وعدد 247 عمود إنارة على الطريق الدائري الرابع، وبأبعاد تصميمية موضحة في الجدول (9.4)، والمقرون بالشكل (7.4).

اتضح تحقق كل المؤشرات المحسوبة للفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد M4 كما في الملحق (2.1)، للجزء المراد إنارته بالأعمدة المركزية الزوجية، وذلك مقارنة بالقيم الموصي بها للمؤشرات قيد الدراسة للفئة كما هو موضح في الجدول (10.4)،



شكل (6.4): توزيع أعمدة الإنارة المركزية المزدوجة.



شكل (7.4): توضيح بمسميات الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة.

جدول (9.4): الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة LED120 .

المتغير	الوصف	القيمة	ملاحظات
a	ارتفاع العمود	9m	حسب المواصفات الليبية
b	بعد العمود من حافة الطريق	0.725m	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
c	مدى بعد المصباح عن حافة الطريق	0.35	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
s	عرض طريق المشاة	4m	متوسط القيم المقاسة في الطرق الأربعة قيد الدراسة
w	عرض الطريق	17m	متوسط القيم المقاسة في الطرق الأربعة قيد الدراسة
d	طول الذراع	1.597m	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
$alpha$	زاوية الذراع	5°	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة

كما يتضح من النتائج أن الجهاز الاستشعار الضوئي المستخدم في تصميم الإضاءة يتطلب مستوى إضاءة لا يقل عن 9% من الإضاءة القصوى الممكنة لتفعيل وظيفته، وهي قيمة جيدة مقارنة بالقيمة الموصى بعدم تجاوزها في الفئة المختارة من تصنيف الإنارة، كما أن معدل إضاءة الحواف على الأسطح العمودية في المكان المضاء يبلغ حوالي 38% من الإضاءة المتوسطة في منتصف الطريق، وتعتبر هذه القيمة مقبولة في التصميم وتحقق القيم الموصى بها للفئة المختارة من تصنيف الإنارة.

جدول (10.4): المؤشرات المحسوبة للفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد M4 للمصباح LED120.

المتغير	القيمة المحسوبة	الهدف	تحقيق القيمة المطلوبة
L_{av}	1.72 cd/m ²	$\geq 0.75 \text{ cd/m}^2$	✓
U_o	0.46	≥ 0.40	✓
U_1	0.78	≥ 0.60	✓
TI	9%	$\leq 15 \%$	✓
R_{EI}	0.38	≥ 0.30	✓

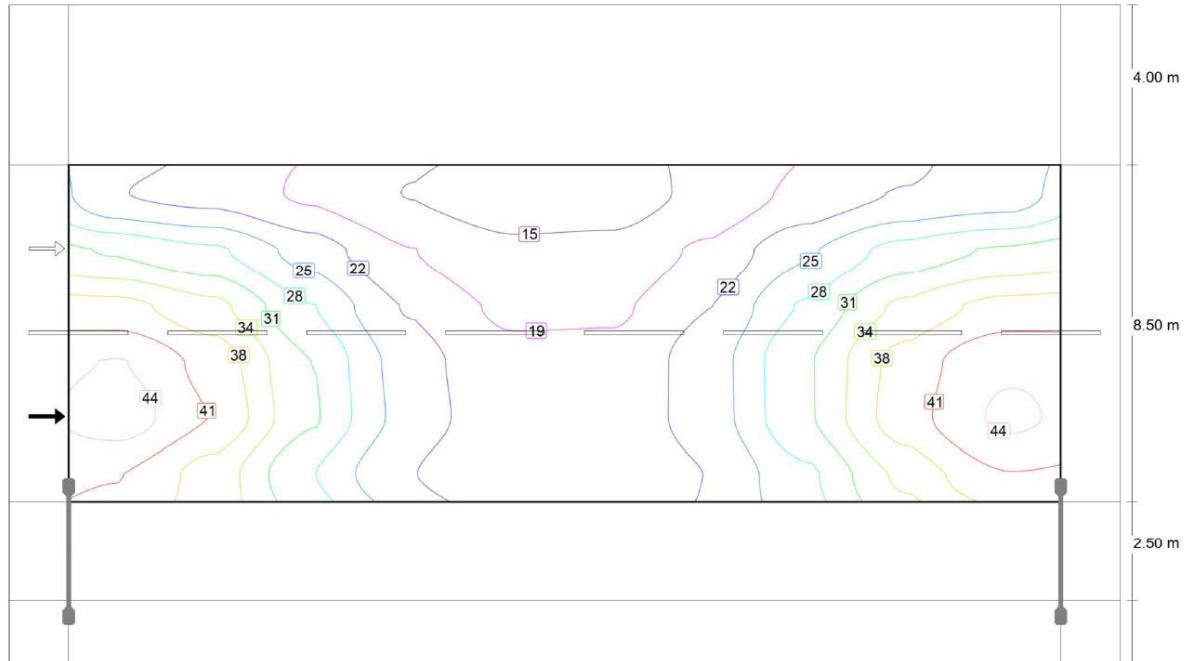
كما نتج عن المحاكاة أن أقصى قيمة لشدة الإضاءة على سطح الطريق كانت 45.6Lux كما هو موضح في الجدول (11.4)، في حين أن أقل قيمة كانت 13.8Lux، في حين كان متوسط شدة الإضاءة على سطح الطريق 27.2 وهي قيمة مقارنة للقيمة المستهدفة، أي ما يعادل 1.36 cd/m² على سطح الطريق.

كما أن الإضاءة في الطريق تبلغ متوسط شدتها 46% من الإضاءة المتوسطة في الأماكن المضاءة بشكل متساوي من الطريق. كما أن مؤشر عدم توحيد الإضاءة $g_2 = 0.3$ ، مما يعني أن أدنى مستوى للإضاءة في المساحة المضاءة يشكل نسبة حوالي 30% من المتوسط لمستوى الإضاءة في المساحة المضاءة.

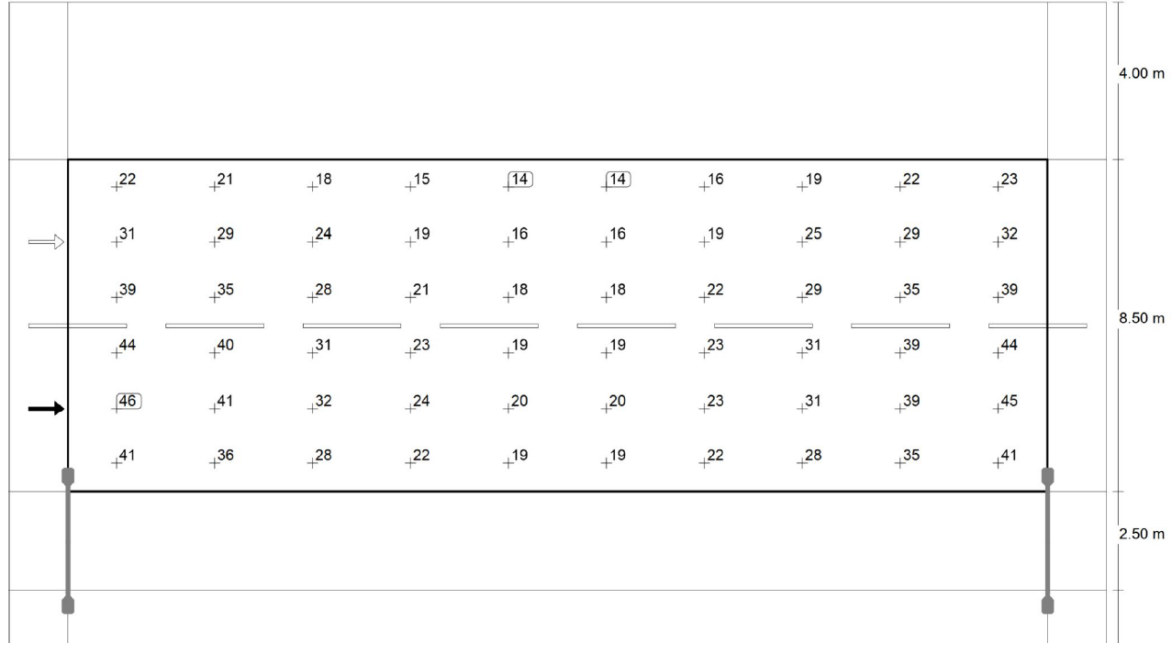
جدول (11.4): تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح LED120.

E_{av}	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2
27.2 Lx	13.8 Lx	45.6 Lx	0.51	0.30

يوضح الشكل (8.4) منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED120 وهو مخطط يوضح مستويات الإضاءة المتساوية في المساحة المضاءة على الطريق. في حين يوضح الشكل (9.4) شبكة القيم لضمان الحصول على القيمة التصميمية لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء.



شكل (8.4): منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED120



شكل (9.4): شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء لمصباح LED120.

3.4.4 محاكاة الإنارة بمصباح LED99

تمت محاكاة إنارة طريق دائري الأول بالمصباح LED99، حيث تم تركيب عدد 110 مصباح

موزع على الطريق بمسافة فاصلة 25 متر بين العمود والآخر كما هو موضح في الشكل (10.4).

بمحاكاة الإنارة بواسطة المصباح LED99، وبأبعاد تصميمية موضحة في الجدول (12.4) المقرون

بالشكل (11.4)، اتضح تحقق كل المؤشرات المحسوبة للفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد M4،

للجزء المراد إنارته بالأعمدة الفردية، وذلك مقارنة بالقيم الموصي بها للمؤشرات قيد الدراسة للفئة كما هو

موضح في الجدول (13.4)، حيث وجد أن قيمة نسبة التوحيد العمودي للإضاءة تمثل 59% من

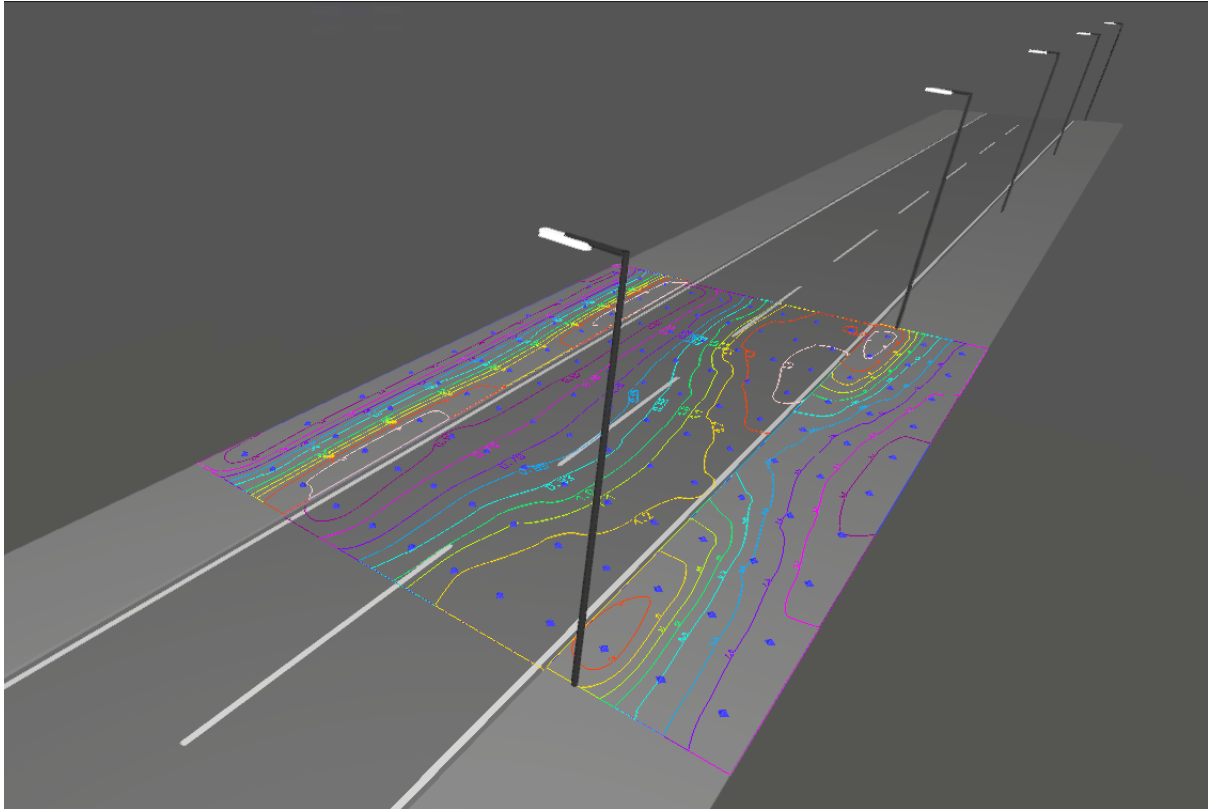
الإضاءة القصوى على نفس السطح في الاتجاه العمودي، في حين أن الإضاءة على السطح المستهدف

توزعت بشكل متساوٍ على مسافة طولية محددة بنسبة 83%. كما يتضح من النتائج أن الجهاز

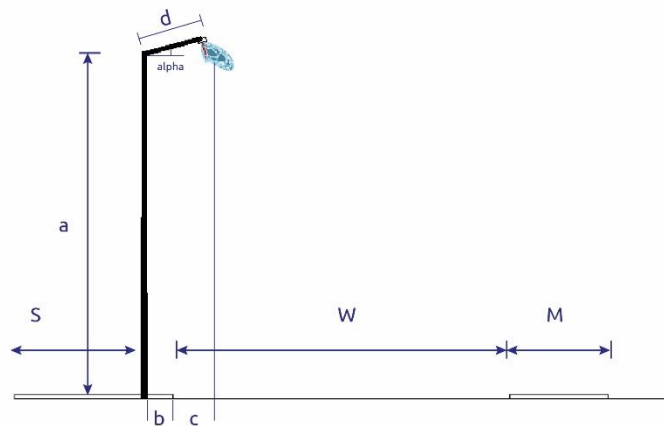
الاستشعار الضوئي المستخدم في تصميم الإضاءة يتطلب مستوى إضاءة لا يقل عن 8% من الإضاءة

القصوى الممكنة لتفعيل وظيفته، وهي قيمة جيدة مقارنة بالقيمة الموصي بعدم تجاوزها في الفئة المختارة

من تصنيف الإنارة، كما أن معدل إضاءة الحواف على الأسطح العمودية في المكان المضاء يبلغ حوالي 51% من الإضاءة المتوسطة في منتصف الطريق، وتعتبر هذه القيمة مقبولة في التصميم وتحقق القيم الموصي بها للفئة المختارة من تصنيف الإنارة.



شكل (10.4): توزيع أعمدة الإنارة الفردية على طريق الدائري الأول.



شكل (11.4): توضيح بمسميات الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة LED99 .

جدول (12.4): الأبعاد التصميمية لأعمدة الإنارة LED99 .

المتغير	الوصف	القيمة	ملاحظات
a	ارتفاع العمود	9m	حسب المواصفات الليبية
b	بعد العمود من حافة الطريق	0.70m	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
c	مدى بعد المصباح عن حافة الطريق	0.35	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
s	عرض طريق المشاة	4m	متوسط القيم المقاسة في الطرق الأربعة قيد الدراسة
w	عرض الطريق	8.5m	متوسط القيم المقاسة في الطرق الأربعة قيد الدراسة
d	طول الذراع	1m	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة
$alpha$	زاوية الذراع	5°	حسب المحاكاة للتحقق متطلبات الإنارة

جدول (13.4): المؤشرات المحسوبة للفئة المختارة من تصنيف

الإنارة المحدد M4 للمصباح LED99 .

المتغير	القيمة المحسوبة	الهدف	تحقيق القيمة المطلوبة
L_{av}	0.97cd/m ²	$\geq 0.75 \text{ cd/m}^2$	✓
U_o	0.59	≥ 0.40	✓
U_1	0.83	≥ 0.60	✓
TI	%8	$\leq 15 \%$	✓
R_{EI}	0.51	≥ 0.30	✓

كما نتج عن المحاكاة أن أقصى قيمة لشدة الإضاءة على سطح الطريق كانت 28.7 Lux كما هو موضح في الجدول (14.4)، في حين أن أقل قيمة كانت 9.81 Lux ، في حين كان متوسط شدة الإضاءة على سطح الطريق 16.4 وهي قيمة مقاربة للقيمة المستهدفة، أي ما يعادل 0.97 cd/m^2 على سطح الطريق. كما أن الإضاءة في الطريق تبلغ متوسط شدتها 42% من الإضاءة المتوسطة في الأماكن المضاءة بشكل متساوي من الطريق. كما أن مؤشر عدم توحيد الإضاءة $g_2 = 0.34$ ، مما يعني أن أدنى مستوى للإضاءة في المساحة المضاءة يشكل نسبة حوالي 34% من المتوسط لمستوى الإضاءة في المساحة المضاءة.

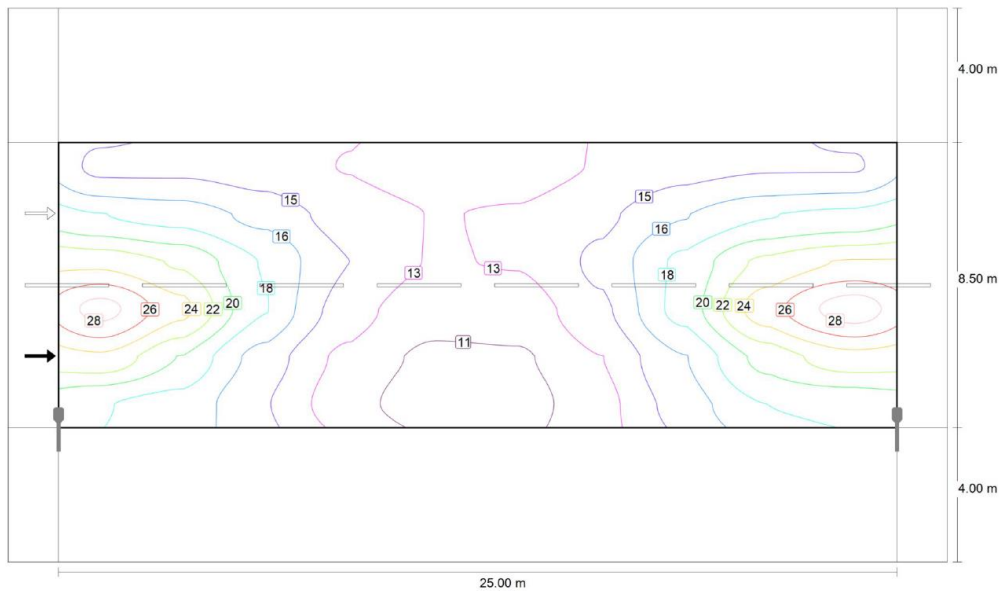
جدول (14.4): تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح LED99 .

E_{av}	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2
16.4 Lx	9.81 Lx	28.7 Lx	0.6	0.42

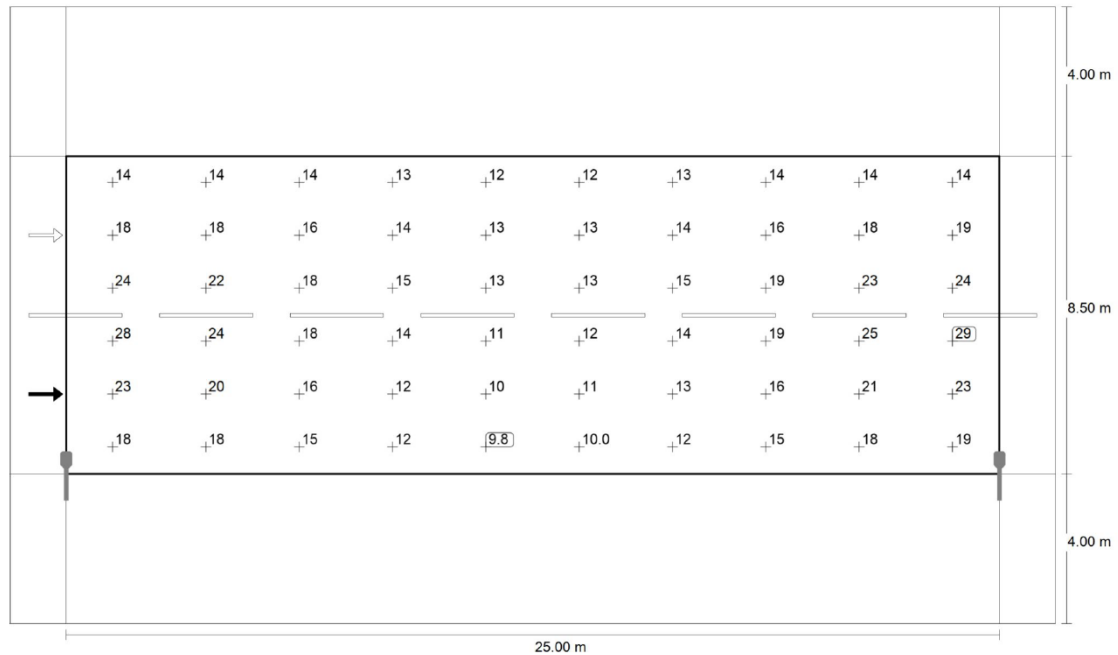
يوضح الشكل (12.4) منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED120. في حين

يوضح الشكل (13.4) شبكة القيم لضمان الحصول على القيمة التصميمية لشدة الإضاءة الأفقية في

المكان المضاء.



شكل (12.4): منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED99.



شكل (13.4): شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء في ممر المشاة بمصباح LED99.

5.4 تصميم إنارة ممر المشاة (الرصيف)

يتم تخصيص الإضاءة من نوع P للطرق المخصصة للمشاة أو حركة المرور بسرعة منخفضة كالدراجات.

تم تحديد فئة الإضاءة $P3$ من خلال تحديد الأوزان المصاحبة للقيود كما هو موضح في الجدول (15.4)

ومن تم جمع الأوزان (W) لتطرح من القيمة 6 وفقاً للمعادلة التالية:

$$P: 6 - W \quad (4.2)$$

جدول (15.4): القيود المستخدمة في تحديد الوزن W لتحديد فئة التصنيف P .

القيود	خيارات القيد	الوصف	الوزن	W_i
السرعة	منخفضة	أكبر من $5km/h$ وأقل من $30km/h$	1	1
	منخفضة جداً	أقل من $5km/h$	0	
حجم حركة المرور	عالية جداً	أكبر من 5000 مركبة وأقل من 7000 مركبة في اليوم	1	
	عالية	أكبر من 3000 مركبة وأقل من 5000 مركبة في اليوم	0.5	0.5
	متوسطة	أقل من 3000 مركبة وأكبر من 1000 مركبة في اليوم	0	
	قليلة	أقل من 1000 مركبة وأكبر من 500 مركبة في اليوم	- 0.5	
	قليلة جداً	أقل من 500 مركبة في اليوم	- 1	
تكوين حركة المرور		مشاة، درجات هوائية، آليات	2	
		مشاة، آليات	1	
		مشاة، درجات هوائية	1	1
مركبات متوقفة		موجود	0.5	0.5
		غير موجود	0	
الإضاءة المحيطة		عالية	1	
		متوسطة	0	0
		منخفضة	-1	
		مجموع قيم الوزن		3

من خلال محاكاة لعملية الإنارة بواسطة برنامج (DIALux) سيتم التأكد من تحقق كل مؤشرات الفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد للطريق، وذلك بمقارنتها بالمؤشرات المطلوبة للحصول على إنارة جيدة والتي سيتم اختصارها في أربع مؤشرات فقط بدل 6 مؤشرات وهي (متوسط شدة الإضاءة، القيمة الدنيا لشدة الإضاءة، ومؤشر توحيد الإضاءة، ومؤشر عدم توحيد الإضاءة)، والجدول (16.4) يوضح قيم هذه المؤشرات مقارنة بالقيم الموصى بها في حال استخدام المصباح LED195.

جدول (16.4): المؤشرات المحسوبة للفئة المختارة من تصنيف الإنارة المحدد M4 للمصباح LED195.

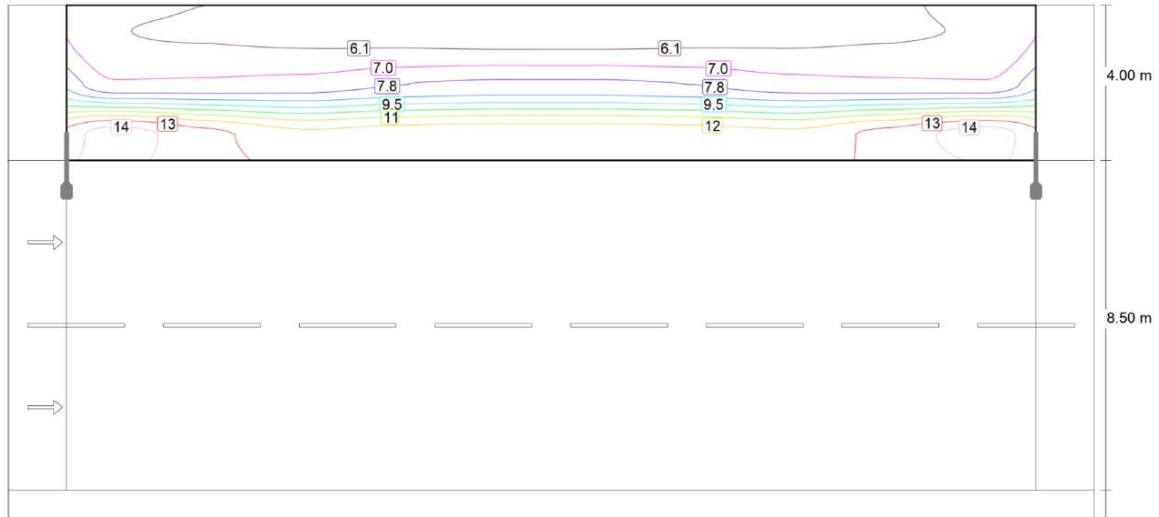
المتغير	القيمة المحسوبة	الهدف	تحقيق القيمة المطلوبة
L_{av}	1.72 cd/m ²	$\geq 0.75 \text{ cd/m}^2$	✓
U_o	0.59	≥ 0.40	✓

نتج عن المحاكاة أن أقصى قيمة لشدة الإضاءة على الممر كانت 28.7 Lux كما هو موضح في الجدول (17.4)، في حين أن أقل قيمة كانت 9.81 Lux ، وكان متوسط شدة الإضاءة على سطح الطريق 16.4 lux ، وهي تحقق الفئة المطلوبة. كما أن معامل توحيد الإضاءة $g_1 = 0.6$ ، فهذا يعني أن الإضاءة في الطريق تبلغ متوسط شدتها 68% من الإضاءة المتوسطة في الأماكن المضاءة بشكل متساوي من الطريق. وكان مؤشر عدم توحيد الإضاءة $g_2 = 0.42$ ، مما يعني أن أدنى مستوى للإضاءة في المساحة المضاءة يشكل نسبة حوالي 42% من المتوسط لمستوى الإضاءة في المساحة المضاءة.

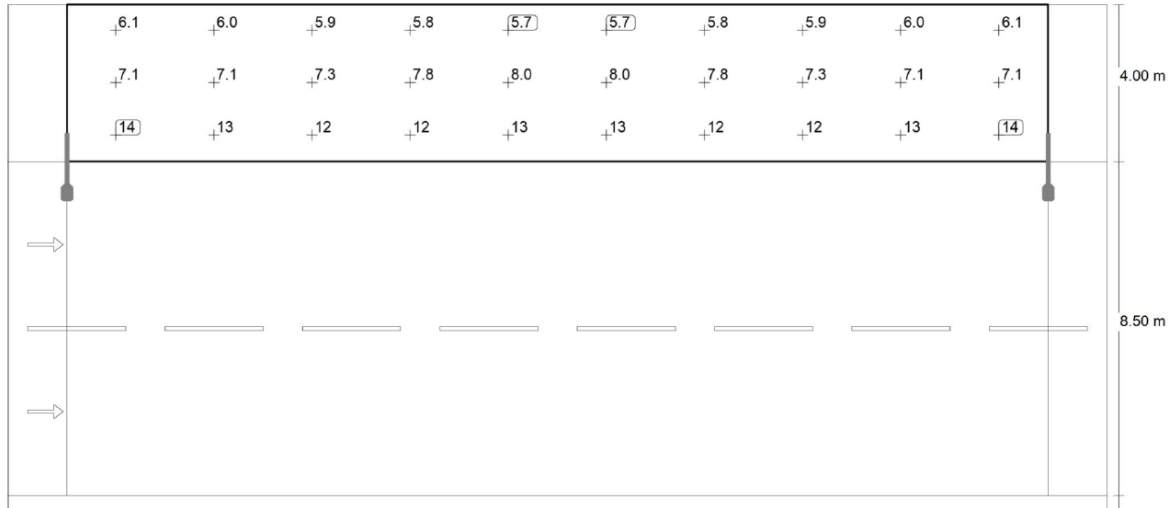
جدول (17.4): تحقيق متوسط شدة الإضاءة بالمصباح LED195.

E_{av}	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2
16.4 Lx	9.81 Lx	28.7 Lx	0.6	0.42

يوضح الشكل (14.4) منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED195. في حين يوضح الشكل (15.4) شبكة القيم لضمان الحصول على القيمة التصميمية لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء.



شكل (14.4): منحنيات الإضاءة الأيزومترية لتصميم الإضاءة بمصباح LED195 لممر المشاة



شكل (15.4): شبكة القيم لشدة الإضاءة الأفقية في المكان المضاء بمصباح LED195 لممر المشاة.

وننتيجة لتعذر عرض كل النتائج بسبب العدد الكبير لها والتي تمثل ناتج محاكاة كل نموذج من نماذج الإضاءة المستخدمة تم استعراض هذه النتائج في الملحق (1.1).

الفصل الخامس

تصميم ومحاكاة منظومة الإنارة الشمسية

تستخدم منظومة الإنارة الشمسية الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء وتشغيل المصابيح الشمسية وتوفير الإضاءة في المناطق التي تفتقر أو تواجه مشاكل لتوفير الكهرباء بالطرق التقليدية. في هذا الفصل سيتم دراسة تصميم الأجزاء المختلفة التي تشكل منظومة الإنارة الشمسية. تشمل هذه الأجزاء الألواح الشمسية، البطاريات، والعاكس ومنظم الشحن. يتم استخدام هذه الأجزاء معًا لجمع الطاقة الشمسية وتخزينها في البطاريات ثم استخدامها لتشغيل المصابيح الشمسية لإنارة المناطق المختلفة.

1.5 المنهجية المتبعة في تصميم ومحاكاة منظومة الإنارة الشمسية

سيتم في هذا البحث دراسة إمكانية استخدام الطاقة الشمسية لغرض إنارة الطرق قيد الدراسة (الطرق الدائرية الأربعة)، ومن هنا يتعين اختيار الحجم المناسب لمنظومة الطاقة الشمسية لغرض تزويد حمل عمود الإنارة. يجب أن يكون الحجم المحدد النهائي قابلاً للتطبيق تقنياً واقتصادياً، ونتيجة لذلك، تم دراسة ثلاثة مقترحات مختلفة:

1. المقترح الأول

يتم فيه دراسة إمكانية إنارة الطرق الدائرية الأربعة باستخدام منظومة إنارة شمسية مستقلة عن الشبكة، حيث سيتم تحديد حجم منظومة الطاقة الشمسية PV لتزويد مصباح الإنارة، لمدة 10 ساعات متواصلة، بحيث يشتغل المصباح الست ساعات الأولى بكامل قدرته 100%، ثم تنخفض قدرة المصباح حيث يشتغل بنسبة 60% من قدرته الكاملة. كما يمكن ملاحظة بوضوح أن المنظومة الشمسية في هذا المقترح ستكون لها قدرة كبيرة ومعدل عالٍ من تفريغ البطارية. وهذا يؤدي إلى تكلفة عالية.

2. المقترح الثاني

يتم فيه دراسة إمكانية إنارة الطرق الدائرية الأربعة باستخدام نظام شمسي هجين، حيث سيتم تحديد حجم منظومة الطاقة الشمسية PV لتزويد مصباح الإنارة، لمدة 6 ساعات متواصلة، بحيث يشتغل المصباح بكامل قدرته 100%، ثم يتم تغذية المصباح بعد ذلك من الشبكة.

3. المقترح الثالث

يتم فيه دراسة إمكانية إنارة الطرق الدائرية الأربعة باستخدام مصابيح LED من الشبكة مباشرة لمدة 10 ساعات متواصلة، بحيث يشتغل المصباح بكامل قدرته 100%، ثم مقارنة هذه المقترحات الثلاثة مع بعضها ومقارنتها أيضا في حال استخدام مصابيح الصوديوم التقليدية.

تم في هذا البحث الاعتماد على برنامج (PVsyst) في تصميم منظومة الإنارة الشمسية في المقترحين الأول والثاني لتحقيق متطلبات إنارة الطرق الأربعة المدروسة، وفقا للمواصفات المتاحة من الشركات المصنعة، ومن ثم محاكاة عمل هذه المنظومة طيلة أيام السنة وتقييم أدائها.

يقوم البرنامج على تصميم واختبار ومحاكاة إنتاجية المنظومات الشمسية المغذية لمصابيح الإنارة في ظروف عملها الحقيقية اعتمادًا على ظروف نصب المنظومة، وموقعها وشدة الإشعاع الشمسي الساقط عليها، إضافة لنوع مكونات هذه المنظومة كالألواح الشمسية والمحول والبطاريات المستخدمة فيها وجودة المصباح.

2.5 تصميم ومحاكاة منظومة الإنارة الشمسية

لمحاكاة المنظومة الشمسية ديناميكيا يتطلب الأمر توفر بيانات الإشعاع الشمسي للمكان قيد الدراسة، والذي تمثله في هذا البحث مدينة مصراتة، كون الطرق المختارة واقعة وسط المدينة. من خلال الاستكمال للبيانات المتاحة على الأرض، والتي توفرها قاعدة بيانات وكالة ناسا للبيانات النوعية وبيانات شدة الإشعاع الشمسي، وبعد تحديد موقع المدينة بخط عرض 32.375 درجة، وخط طول 15.0915 درجة، يظهر البرنامج بيانات المدينة، والمتوسط السنوي للبيانات، حيث يبلغ الإشعاع الشمسي العمودي الكلي $1755.5 \text{ kW/m}^2/\text{year}$ ، والإشعاع الشمسي العمودي المنتشر $831.3 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ ، ومؤشر الوضوح 0.556، ودرجة الحرارة الجوية 21 درجة مئوية، وسرعة الرياح 4.3 m/s ، الجدول

(1.5) يوضح قيم الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح ومعامل الوضوح المستخدمة في محاكاة منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED195 على أساس المقترح الأول.

جدول (1.5): قيم الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح ومعامل الوضوح المستخدمة في محاكاة منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED195 على أساس المقترح الأول.

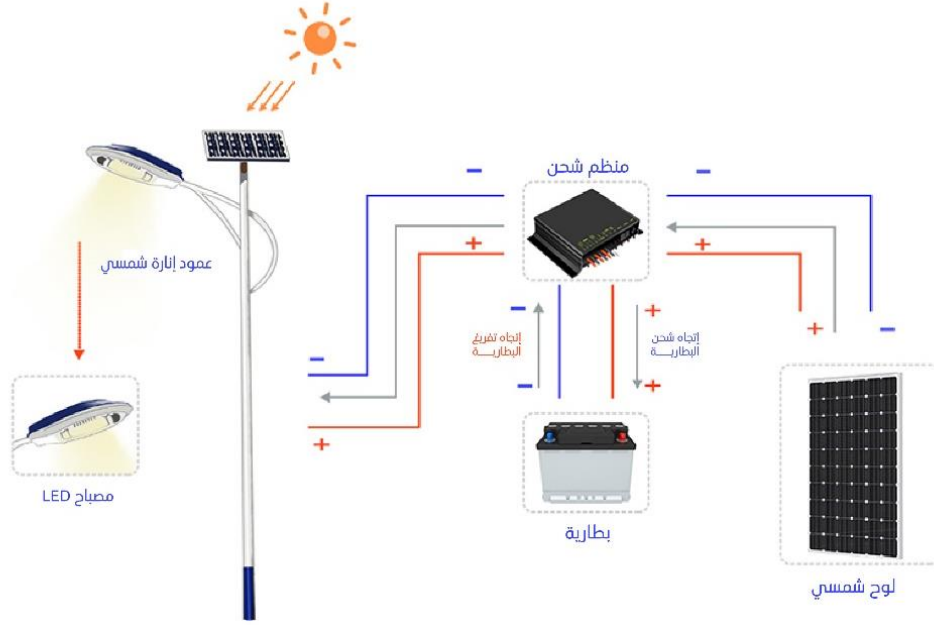
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	WindVel	GlobInc	DifSInc	Alb_Inc
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
January	81.0	42.68	13.80	4.4	104.8	29.98	0.489
February	97.9	51.09	13.87	4.8	118.8	33.99	0.590
March	142.4	76.16	16.32	4.8	159.7	47.22	0.859
April	173.2	85.32	18.98	4.8	182.3	47.98	1.044
May	200.6	95.42	22.28	4.7	199.4	50.52	1.209
June	202.2	95.02	24.76	4.0	194.7	50.14	1.219
July	217.5	86.79	27.74	3.8	212.6	43.33	1.312
August	201.1	81.61	28.44	3.7	207.4	41.17	1.213
September	156.5	75.04	26.63	4.1	172.1	43.87	0.944
October	122.9	59.98	24.36	3.8	145.5	38.34	0.740
November	90.5	44.08	19.30	3.8	116.4	30.19	0.546
December	69.8	35.70	15.21	4.4	92.1	26.29	0.420
Year	1755.5	828.89	21.02	4.3	1905.9	483.03	10.586

1.2.5 المقترح الأول: إنارة الطرق الدائرية الأربعة باستخدام نظام شمسي مستقل عن

الشبكة

من محاكاة برنامج (PVsyst) ومن خلال تصميم منظومة الإنارة الشمسية للمصباح LED195 على أساس المقترح الأول والذي يتم فيه دراسة تصميم ومحاكاة منظومة إنارة شمسية مستقلة عن الشبكة كما هو موضح بالشكل (1.5)، فإن إجمالي سعة البطارية المطلوبة 180Ah لتغذية مصباح LED195 بجهد ربط 26V، حيث تبلغ كفاءة الشحن للبطارية 96%. كما هو موضح في الملحق (1.2)

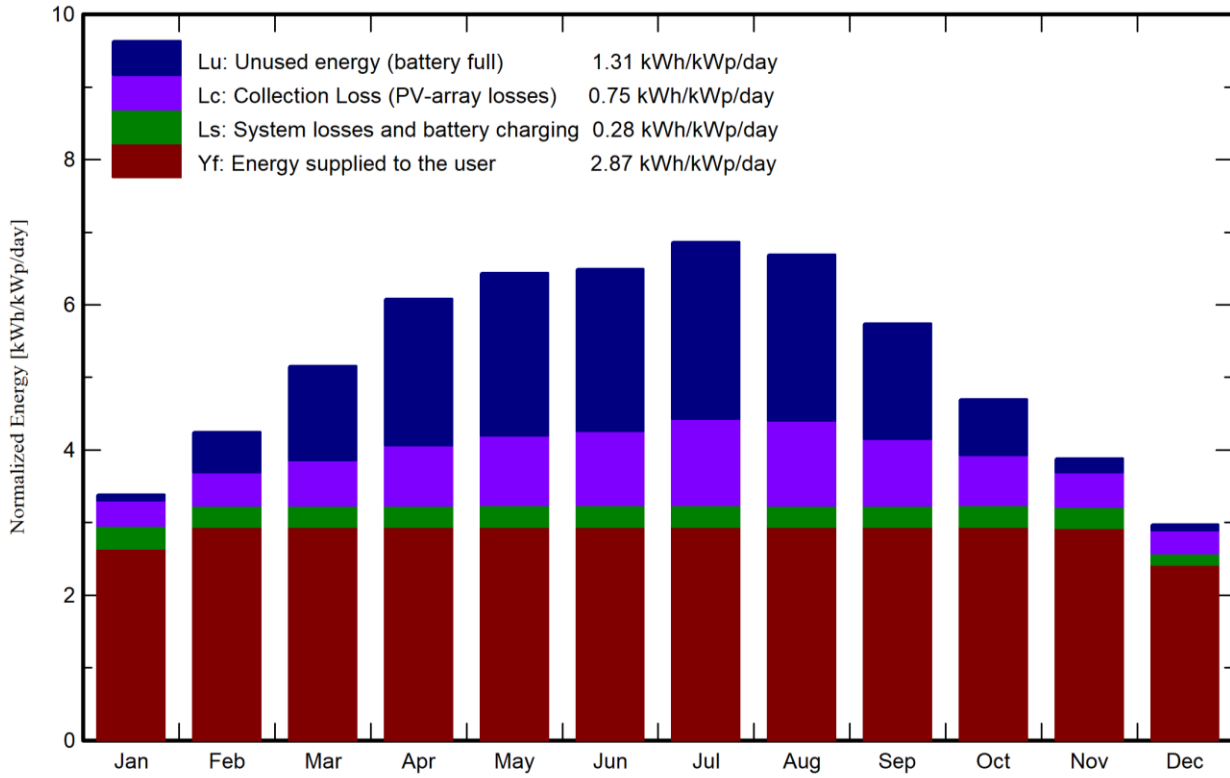
بالإضافة إلى ذلك تم اختيار لوح شمسي بقدرة اسمية 565 Watt لشحن البطاريات المطلوبة لتغطية حمل الإنارة ليلاً، وبكفاءة 20.67% .



شكل (1.5): منظومة الإنارة الشمسية مستقلة عن الشبكة.

في برنامج (PVsyst) ، يتم اختيار العاكس ومنظم الشحن $MPPT$ كجزء من تكوينات المنظم، حيث تبلغ القدرة الاسمية للعاكس 452 Watt . كما تم اختيار المنظم بناءً على جهد النظام على تخزين البطارية والذي يبلغ 26V ، كما يمكن للمنظم تنظيم ما يصل إلى 491 Watt من القدرة القصوى، وبتيار خرج 17.4A .

نتج عن المحاكاة، أن متوسط الطاقة غير المستخدمة لمنظومة الإنارة الواحدة هو $1.3\text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ ، في حين أن كمية الطاقة المفقودة من الألواح $0.75\text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ ، كما تبلغ كمية خسائر المنظومة وشحن البطارية $0.28\text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ ، في حين تبلغ الطاقة المزودة للمنظومة $2.87\text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ ، كما هو موضح في الشكل (2.5).



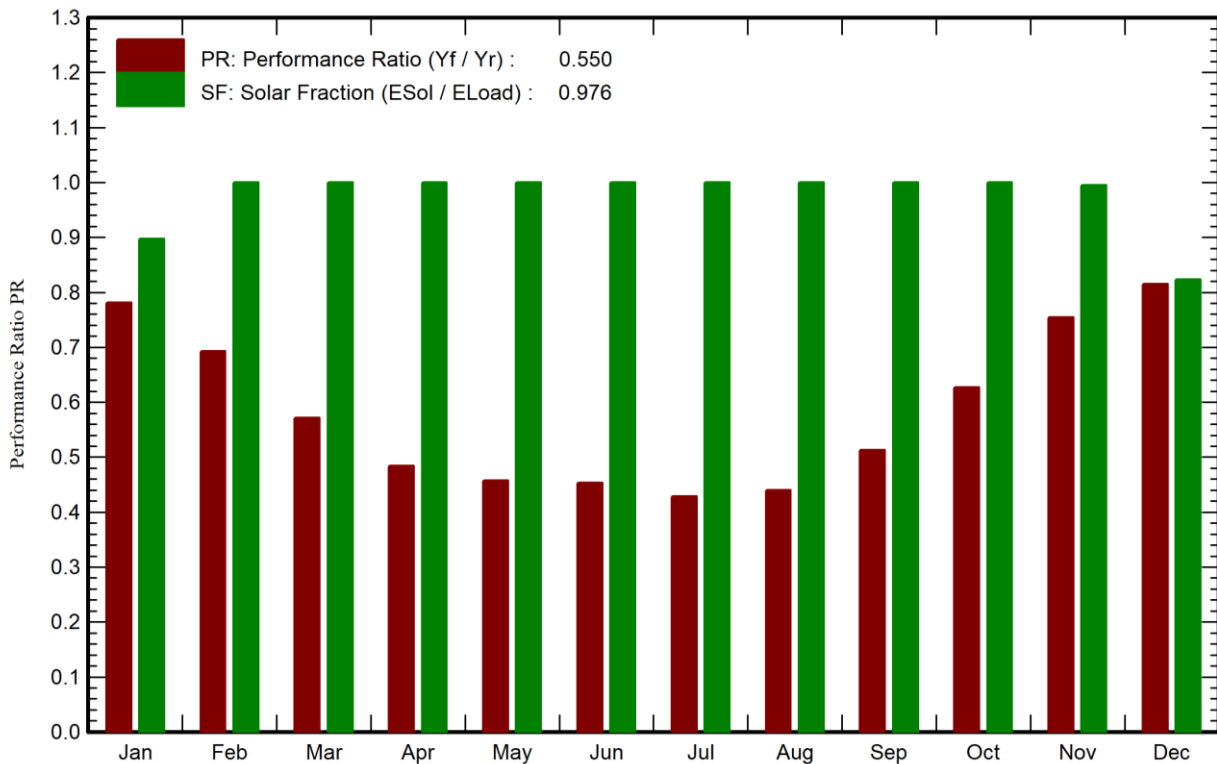
شكل (2.5): الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقودات لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية

المصباح LED195 على أساس المقترح الأول.

يوضح الشكل (3.5) معدل الأداء (*Performance Ratio (PR)*) لمنظومة الإنارة المصممة خلال العام والتي تبلغ قيمته 0.55، حيث يُعد معدل الأداء هو كفاءة النظام خلال العام ويوفر معلومات حول تأثير الخسائر العامة على لإنتاج المقدر. تشمل الخسائر في وحدات الطاقة الشمسية، وزاوية الميل، والغبار، والظلال، وخسائر درجة حرارة الوحدة.

في حين نجد أن نسبة المساهمة الشمسية (*Solar fraction (SF)*) قيمتها 0.976 وتعرف في حالة المنظومة الشمسية المستقلة على أنها النسبة المئوية للطاقة التي تم توليدها من المنظومة الشمسية والتي يحتاجها المصباح لفترة الإنارة، ويتم استخدام هذه النسبة لتحديد كفاءة المنظومة الشمسية وتقييم مدى قدرته على تلبية احتياجات الطاقة الكهربائية دون الحاجة إلى مصادر طاقة خارجية.

أن معدل الأداء والمساهمة تتقلب على مدار العام، بينما تشهد المساهمة الشمسية ارتفاعاً في شهر فبراير لتثبت تقريباً تسعة أشهر قبل أن ترجع تنخفض في ديسمبر من العام. في حين يبلغ إجمالي السنوي للطاقة المتحصل عليها من الألواح الشمسية والمستخدم في شحن 591.96 kWh ، في حين أن إجمالي الطاقة لحمل الإنارة 606.63 kWh ، كما هو موضح في الجدول (2.5).



شكل (3.5): المساهمة الشمسية ومعدل الأداء لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية

المصباح $LED195$ على أساس المقترح الأول.

بنفس المنهجية السابقة تم تصميم منظومتي الإنارة الشمسية للمصباح $LED120, LED99$ على

أساس المقترح الأول، وبالمواصفات المفصلة في الملحقين (2.2) و(3.2) على التوالي، حيث كان

إجمالي سعة البطارية المطلوبة $93Ah$ لتغذية مصباح $LED195$ بجهد ربط $13V$ ، وبكفاءة الشحن

للبطارية 96%، وهي نفس السعة لتغذية المصباح $LED99$ على رغم الحاجة فقط إلى $80Ah$ ، إلا أن

عدم وجود هذه السعة ضمن مواصفات الشركات المصنعة حال دون استخدامها.

جدول (2.5): ناتج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية

المصباح LED195 على أساس المقترح الأول.

	EArray	E_Load	E_User	SolFrac
	kWh	kWh	kWh	ratio
January	51.80	51.52	46.24	0.898
February	51.16	46.54	46.54	1.000
March	56.64	51.52	51.52	1.000
April	54.85	49.86	49.86	1.000
May	56.74	51.52	51.52	1.000
June	54.91	49.86	49.86	1.000
July	56.77	51.52	51.52	1.000
August	56.65	51.52	51.52	1.000
September	54.79	49.86	49.86	1.000
October	56.69	51.52	51.52	1.000
November	54.53	49.86	49.59	0.995
December	45.12	51.52	42.40	0.823
Year	650.66	606.63	591.96	0.976

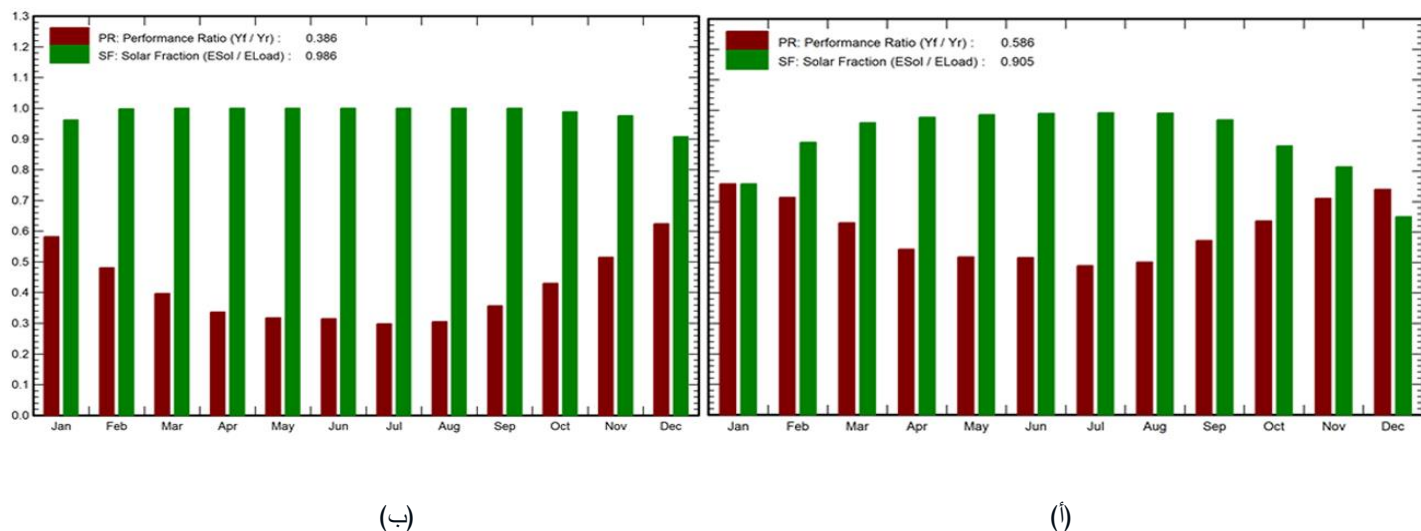
في حين تم اختيار اللوح شمسي بقدرة اسمية 305 Watt لشحن البطاريات المطلوبة لتغطية حمل الإنارة LED120، وبكفاءة 15.83%، وكانت سعة العاكس 244 Watt ، واللوحة الشمسية بقدرة اسمية 245 Watt لشحن البطاريات المطلوبة لتغطية حمل الإنارة LED99، وبكفاءة 15.43%، وكانت قدرة العاكس 196 Watt . نجد من نتائج محاكاة منظومة تغذية المصباح LED120 وكما هو موضح في الشكل (4.5 أ) أن نسبة المساهمة الشمسية 0.905، في حين أن متوسط الطاقة غير المستخدمة $0.84\text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ كما موضح في الشكل (4.5 ب)، وكمية الطاقة المزودة للمنظومة $3.06\text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ ، كما يبلغ إجمالي السنوي للطاقة المتحصل عليها من الألواح الشمسية والمستخدم في شحن 340.65 kWh ، كما هو موضح في الجدول (3.5 أ). في حين يبلغ إجمالي السنوي للطاقة المتحصل عليها من منظومة الإنارة الشمسية للمصباح LED99 على أساس المقترح

الأول والمستخدم في شحن البطارية لعمود الإنارة 308.71 kWh ، كما هو موضح في الجدول

(3.5.ب)، بنسبة مساهمة شمسية 0.986 كما هو موضح في الشكل (4.5.ب)، في حين متوسط

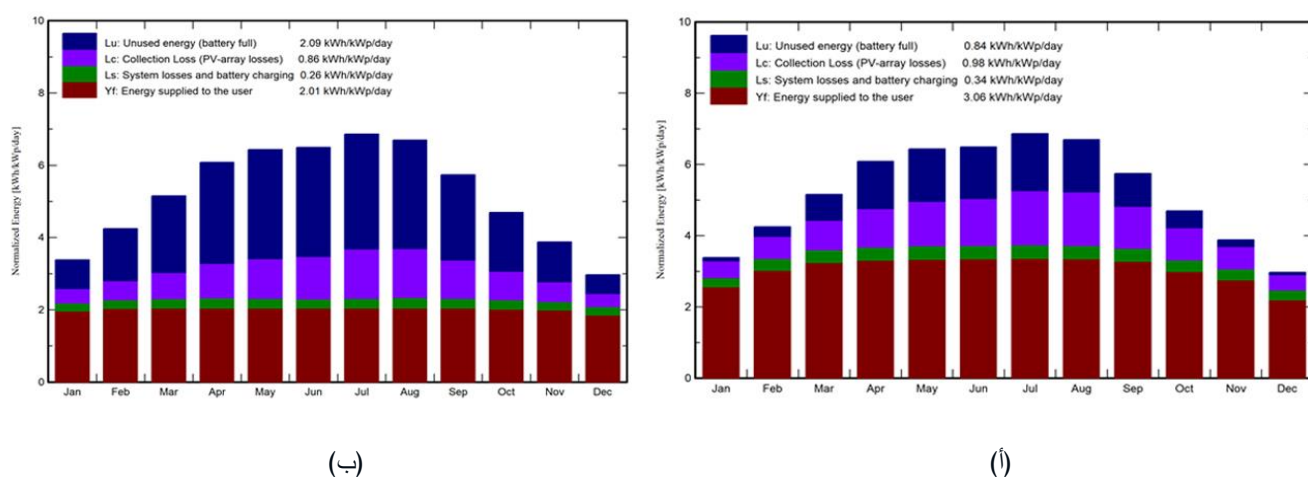
الطاقة الغير مستخدمة $2.09 \text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ ، كما هو موضح في الشكل (5.5.ب)، في حين أن

كمية الطاقة المزودة للمنظومة $2.01 \text{ kWh/kW}_p/\text{day}$



شكل (4.5): المساهمة الشمسية ومعدل الأداء لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية

المصباح $LED120, LED99$ على أساس المقترح الأول.



شكل (5.5): الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقودات لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية

المصباح $LED120, LED99$ على أساس المقترح الأول.

جدول (3.5): ناتج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح $LED120, LED99$ على أساس المقترح الأول.

(ب)

	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	37.56	10.33	1.006	25.59	26.60
February	42.65	16.96	0.054	23.97	24.02
March	56.49	27.68	0.000	26.60	26.60
April	63.42	35.26	0.000	25.74	25.74
May	68.18	39.34	0.000	26.60	26.60
June	65.80	38.07	0.000	25.74	25.74
July	70.23	41.39	0.000	26.60	26.60
August	68.32	39.08	0.000	26.60	26.60
September	57.83	29.82	0.000	25.74	25.74
October	49.52	21.16	0.310	26.29	26.60
November	40.83	13.97	0.618	25.12	25.74
December	32.57	6.74	2.477	24.12	26.60
Year	653.40	319.82	4.464	308.71	313.17

(أ)

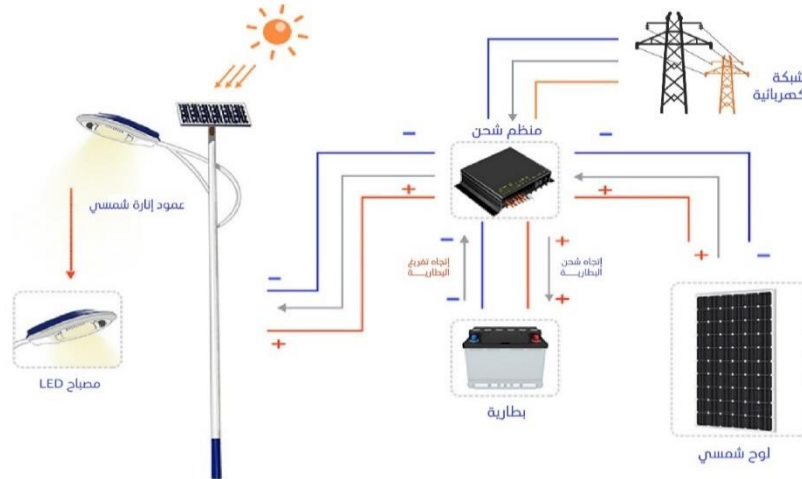
	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	26.31	0.80	7.76	24.24	31.99	0.758
February	29.83	2.31	3.05	25.85	28.90	0.894
March	39.49	6.77	1.32	30.67	31.99	0.959
April	44.36	12.08	0.72	30.24	30.96	0.977
May	47.65	13.96	0.46	31.53	31.99	0.985
June	45.93	13.26	0.33	30.63	30.96	0.989
July	48.99	15.08	0.27	31.72	31.99	0.992
August	47.67	13.83	0.30	31.69	31.99	0.991
September	40.37	8.36	0.97	29.99	30.96	0.969
October	34.61	4.49	3.74	28.25	31.99	0.883
November	28.55	1.68	5.76	25.20	30.96	0.814
December	22.87	0.67	11.21	20.78	31.99	0.650
Year	456.64	93.29	35.89	340.79	376.68	0.905

2.2.5 المقترح الثاني: إنارة الطرق الدائرية الأربعة باستخدام نظام شمسي هجين

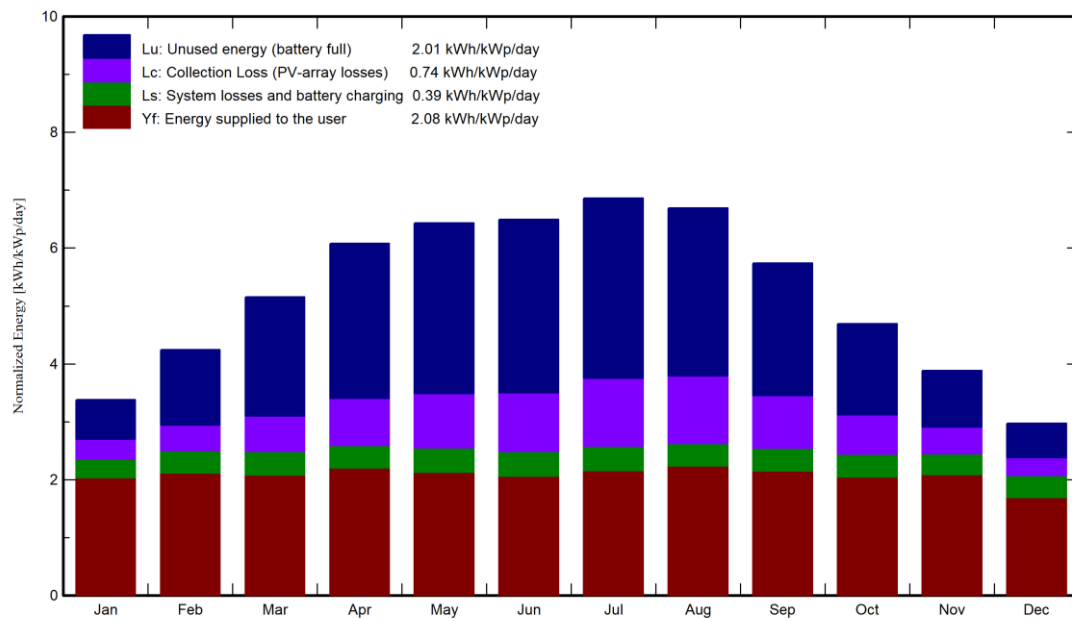
يعتمد المقترح الثاني في هذا البحث على استخدام منظومة إنارة شمسية هجينة، حيث أن الشبكة ستعوض الطاقة المطلوبة لتغذية مصباح الإنارة في حال حدوث نقص كما هو موضح في الشكل (6.5). ومن خلال عملية المحاكاة لمنظومة الإنارة الشمسية للمصباح $LED195$ على أساس المقترح الثاني كما هو موضح في الملحق (1.3)، فإن إجمالي سعة البطارية المطلوبة $103Ah$ لتغذية مصباح $LED195$ بجهد ربط $13V$ لمدة ست ساعات متواصلة قبل أن تتم تغذية المصباح من الشبكة للأربع الساعات الباقية، مع اختيار لوح شمسي بقدرة اسمية $410 Watt$ لشحن هذه البطاريات، كما تبلغ القدرة الاسمية للعاكس $328 Watt$.

كما تم اختيار المنظم بناءً على جهد النظام على تخزين البطارية والذي يبلغ $13V$ ، كما يمكن للمنظم تنظيم ما يصل إلى $357 Watt$ من القدرة القصوى، وبتيار خرج $25.2A$ ، متوسط الطاقة غير المستخدمة - الشكل (7.5) - والناتج عن محاكاة المنظومة السابقة هو $2.01kWh/kW_p/day$ ، في حين أن كمية الطاقة المزودة للمنظومة $2.08 kWh/kW_p/day$ ، كما يبلغ إجمالي السنوي للطاقة

المتحصل عليها من الألواح الشمسية والمستخدمة في شحن 370.03 kWh ، كما تم تعويض النقص في تغذية منظومة الإنارة من الشبكة بإجمالي سنوي 339.71 kWh ، كما هو موضح في الجدول (4.5).



شكل (6.5): منظومة إنارة شمسية هجينة.



شكل (7.5): الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقدان لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية

المصباح $LED195$ على أساس المقترح الثاني.

جدول (4.5): ناتج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح $LED195$ على أساس المقترح الثاني.

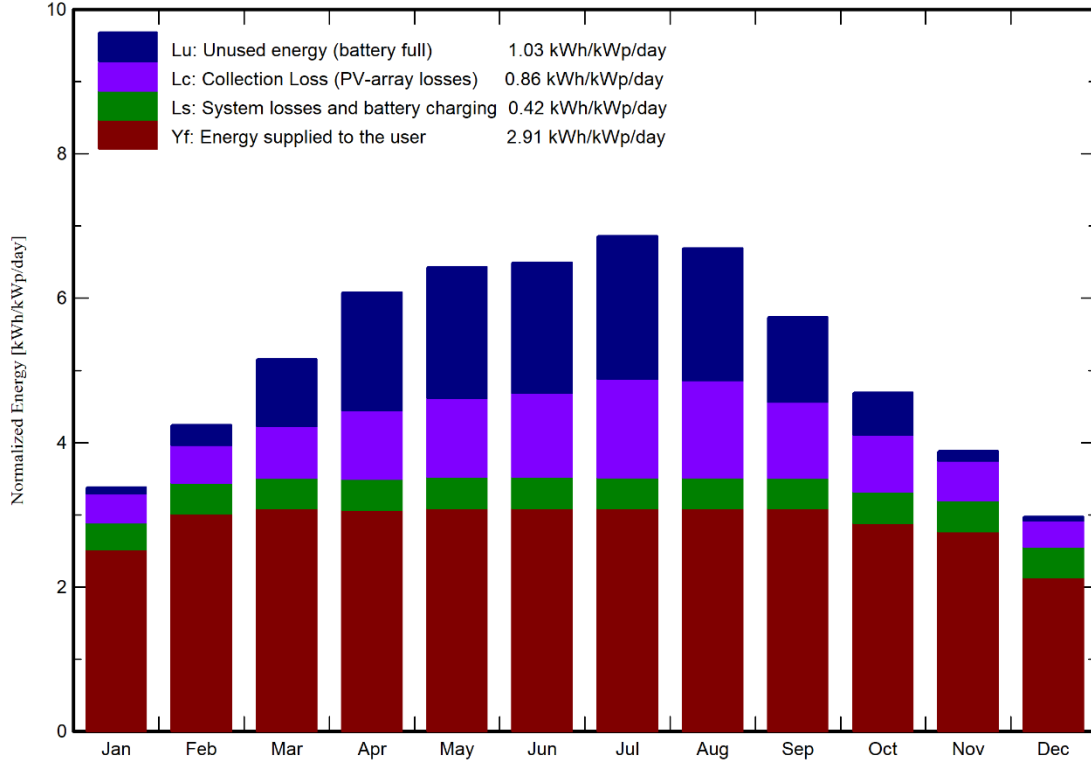
	EArray	E_Load	E_User	E_BkUp	EBatCh	EBatDis	SolFrac
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	29.99	55.15	55.28	29.47	48.64	45.90	0.468
February	28.70	49.81	49.94	25.70	45.13	42.03	0.487
March	31.65	55.15	55.29	28.89	50.59	46.85	0.479
April	31.88	53.37	53.50	26.43	48.52	45.25	0.507
May	32.36	55.15	55.29	28.25	50.45	46.81	0.490
June	30.63	53.37	53.51	28.17	48.92	45.28	0.475
July	32.71	55.15	55.29	27.88	50.33	46.77	0.497
August	33.37	55.15	55.29	26.89	50.18	46.85	0.515
September	31.27	53.37	53.51	27.10	48.83	45.42	0.495
October	31.04	55.15	55.29	29.33	50.16	46.56	0.471
November	30.07	53.37	53.50	27.80	47.57	44.57	0.481
December	26.36	55.15	55.28	33.81	48.08	44.61	0.389
Year	370.03	649.34	650.96	339.71	587.41	546.89	0.479

في حين نجد أن نسبة المساهمة الشمسية 0.48، وتعرف في النظام الهجين على أنها هي النسبة المئوية للطاقة المستخدمة في المنظومة الشمسية مقارنة بإجمالي الطاقة المستخدمة في النظام. وهي تشير إلى مدى كفاءة النظام في استخدام الطاقة الشمسية المتاحة وتوليدها وتحويلها إلى طاقة كهربائية يمكن استخدامها في تشغيل الأحمال، حيث تشير قيمة المساهمة الشمسية في هذه الحالة 48% من الطاقة المستخدمة في النظام تأتي من الطاقة الشمسية.

وكما هو موضح في الملحق (2.3) من خلال محاكاة لمنظومة الإنارة الشمسية للمصباح $LED120$ على أساس المقترح الثاني، تم اختيار لوح شمسي بقدرة اسمية 210 Watt ، لشحن بطارية بسعة إجمالية $93Ah$ لتغذية مصباح $LED120$ بجهد ربط $13V$ ، كما تبلغ القدرة الاسمية للعاكس

168 Watt، كما تم اختيار منظم قادر على تنظيم ما يصل إلى 183 Watt من القدرة القصوى،

وبتأثير خرج 12.9A.



شكل (8.5): الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقودات لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED120 على أساس المقترح الثاني.

نجد أن نسبة المساهمة الشمسية 0.498، في حين أن متوسط الطاقة غير المستخدمة - الشكل (8.5)

- والناتج عن محاكاة المنظومة السابقة هو 1.03 kWh/kWp/day ، وكمية الطاقة المزودة للمنظومة

والمستخدمة في شحن 255.16 kWh ، كما يبلغ إجمالي السنوي للطاقة المتحصل عليها من الألواح الشمسية

بإجمالي سنوي 225.04 kWh ، كما هو موضح في الجدول (5.5).

في حين يبلغ إجمالي السنوي للطاقة المتحصل عليها من منظومة الإنارة الشمسية للمصباح LED99

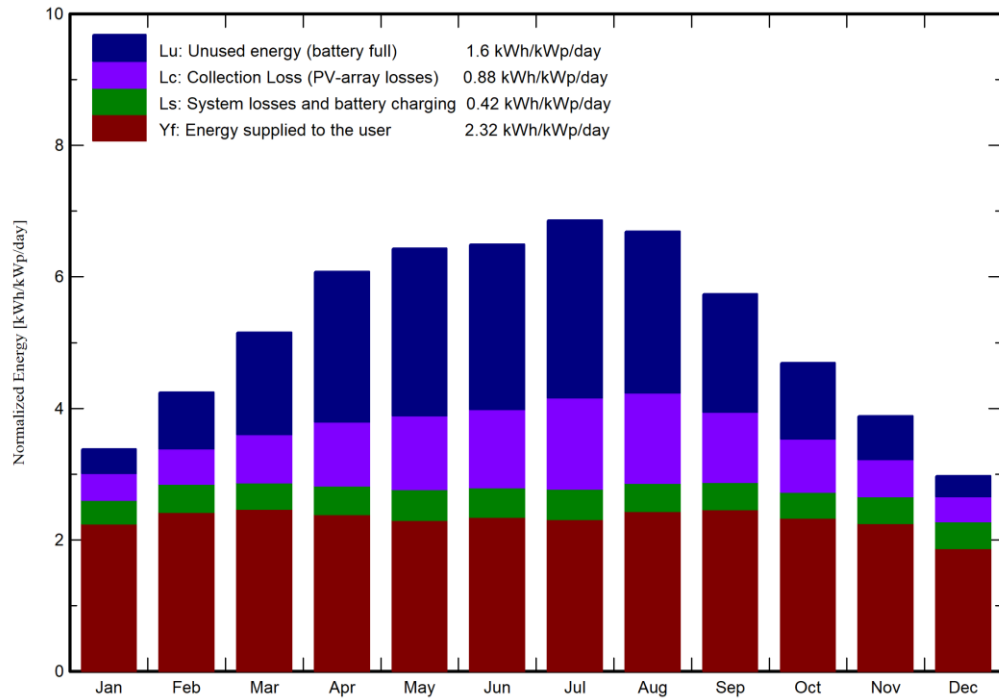
على أساس المقترح الثاني - الملحق (3.3) - والمستخدمة في شحن البطارية لعمود الإنارة

كما تم تعويض النقص في تغذية منظومة الإنارة من الشبكة بإجمالي 194.98 kWh سنوي 206.05 kWh ، كما هو موضح في الجدول (6.5)، في حين متوسط الطاقة الغير مستخدمة كما هو موضح في الشكل $1.6 \text{ kWh/kW}_p/\text{day}$.

جدول (5.5): ناتج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح $LED120$ على أساس المقترح الثاني.

	EArray	E_Load	E_User	E_BkUp	EBatCh	EBatDis	SolFrac
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	18.81	37.94	38.02	21.66	31.64	30.05	0.431
February	20.22	34.27	34.34	16.64	29.79	28.13	0.517
March	22.86	37.94	38.03	17.92	32.96	31.16	0.530
April	22.02	36.72	36.80	17.50	31.94	30.15	0.526
May	22.91	37.94	38.03	17.93	32.97	31.16	0.530
June	22.17	36.72	36.80	17.36	31.85	30.11	0.530
July	22.89	37.94	38.03	17.93	32.89	31.11	0.530
August	22.87	37.94	38.03	17.94	33.01	31.18	0.529
September	22.08	36.72	36.80	17.35	31.87	30.14	0.530
October	21.58	37.94	38.03	19.26	32.68	30.78	0.495
November	20.15	36.72	36.80	19.37	31.53	29.67	0.475
December	16.62	37.94	38.02	24.18	31.29	29.34	0.365
Year	255.16	446.76	447.72	225.04	384.42	363.00	0.498

كما أن كمية الطاقة المزودة للمنظومة $2.3 \text{ kWh/kW}_p/\text{day}$ ، كما هو موضح في الشكل (9.5) وبمساهمة شمسية 0.444 ، حيث تتكون المنظومة من لوح شمسي بقدرة اسمية 195 Watt ، لشحن بطارية بسعة إجمالية 62 Ah لتغذية مصباح $LED99$ بجهد ربط 13 V ، كما تبلغ القدرة الاسمية للعاكس 156 Watt ، و تم اختيار منظم قادر على تنظيم ما يصل إلى 170 Watt من القدرة القصوى، وبتيار خرج 12 A .



شكل (9.5): الإجمالي الشهري للطاقة الشمسية المنتجة والفقودات لمنظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED99 على أساس المقترح الثاني.

جدول (6.5): ناتج المحاكاة لاحتياجات منظومة الإنارة الشمسية لتغذية المصباح LED99 على أساس المقترح الثاني.

	EArray	E_Load	E_User	E_BkUp	EBatCh	EBatDis	SolFrac
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	15.73	31.43	31.51	17.95	26.68	25.25	0.431
February	15.56	28.39	28.46	15.23	24.73	23.08	0.466
March	17.34	31.43	31.50	16.58	27.22	25.57	0.475
April	16.52	30.42	30.49	16.55	26.45	24.62	0.458
May	16.74	31.43	31.51	17.60	27.32	25.29	0.442
June	16.36	30.42	30.49	16.79	26.33	24.47	0.450
July	16.78	31.43	31.51	17.52	27.24	25.26	0.445
August	17.32	31.43	31.50	16.81	27.35	25.52	0.467
September	16.82	30.42	30.49	16.07	26.41	24.75	0.474
October	16.48	31.43	31.50	17.43	27.03	25.36	0.448
November	15.56	30.42	30.49	17.31	26.26	24.57	0.433
December	13.78	31.43	31.51	20.20	26.30	24.54	0.360
Year	194.98	370.11	370.94	206.05	319.32	298.27	0.446

3.5 مناقشة المقترحات قيد الدراسة

تعتبر إنارة الطرق من المجالات التي تستهلك كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية، وتتسبب في إنتاج كميات كبيرة من الانبعاثات الكربونية، مما يؤثر على البيئة ويزيد من تكاليف الطاقة، ولهذا السبب، فإن استبدال أعمدة الإنارة القديمة بأخرى تستهلك كميات أقل من الطاقة يمكن أن يحقق توفيراً كبيراً في تكاليف الطاقة والحفاظ على البيئة.

يعتمد هذا البحث على ثلاثة مقترحات تم توضيحها فيما سبق تركز على استبدال أعمدة الإنارة في الطرق لزيادة كفاءة استخدام الطاقة وتقليل استهلاكها، وذلك من خلال تركيب أعمدة إنارة حديثة وفعالة من حيث الاستهلاك. ويمكن تحقيق ذلك في المقترح الأول عن طريق استبدال أعمدة الإنارة الحالية التقليدية، بأعمدة إنارة شمسية مستقلة عن الشبكة.

سيتم تحليل الفيض النقدي للمقترح الأول بناء على تكلفة عمود الإنارة الشمسية، والذي يبلغ متوسط تكلفته (\$1750) للعمود الواحد مع مصاريف التركيب^[44]، ستدفع بإجمالي القيمة (\$3,433,500) لعدد 1349 عمود. وبما أن المقترح الأول يركز بشكل أساسي على مخزون البطاريات من الطاقة، لتغذية الأحمال ليلاً، فإن هذه البطاريات يكون لها عمر افتراضي من 7-10 سنوات، وسيفرض من خلال البحث بأنه سيتم استبدال البطاريات عن عمر 8 سنوات، بمتوسط تكلفة \$/Ah 1 وإجمالي التكلفة (\$170,775). ليكون العائد من المنظومات (\$682,55) وهي قيمة التوفير المتمثلة في إجمالي تكلفة الكيلووات ساعة من الطاقة الكهربائية المستهلكة من الشبكة والموضح تفصيلها في الجدول (7.5)، حيث أن تكلفة الطاقة الكهربائية في ليبيا يعادل \$/kWh 0.083، كما نلاحظ من عملية المحاكاة بأن استخدام المقترح الأول سيساهم في تزويد أعمدة الإنارة بإجمالي (822,335kWh) من الطاقة بواسطة الطاقة الشمسية.

جدول (7.5): عائد الطاقة من الألواح الشمسية للمقترح الأول.

مصاييح الإنارة			
LED195	LED120	LED99	البيان
591.96	340.79	308.71	الإنتاج السنوي للمصباح الواحد (kWh)
626	1226	110	عدد المصاييح
370566.96	417808.54	33958.1	اجمالي الطاقة الموفرة (kWh)

يمكن تقييم هذا المقترح من عدة معايير، إلا أنه في هذا البحث سيتم الاعتماد فقط على معيارين هما فترة الاسترداد ومعيار العائد/ التكلفة، حيث يمكن تعريف معيار فترة الاسترداد على أنه مؤشر لقياس كم من الوقت يستغرق لاسترداد تكلفة الاستثمار الأولية في مشروع معين. ويمكن حساب معيار فترة الاسترداد من خلال قسمة إجمالي تكلفة المشروع التقديرية على العائد السنوي للمشروع حيث أن فترة الاسترداد في المقترح الأول كانت (30 سنة) كما هو موضح في الجدول (8.5)، وهي فترة غير مقبولة كاستثمار للدولة في الوقت الراهن، بسبب بخس تكلفة الطاقة الكهربائية في الدولة الليبية، إلا أن هناك من الأسباب ما يجعلها مقبولة على الرغم من عدم نجاحها كاستثمار، وتتضمن هذه الأسباب كونها خيارًا لتوليد الطاقة النظيفة وتقليل انبعاثات الكربون، وخيار جيد أيضًا لتحديد الاستدامة في الدولة وتسمح المنظومات الشمسية بتوليد الطاقة الكهربائية من مصدر طاقة متجدد وغير ناضب.

كذلك تحقيق الاعتمادية بشكل كبير حيث تعتبر المنظومات الشمسية موثوقة ومتينة، فهي لا تحتاج إلى الصيانة الدورية ولا تتأثر بالانقطاعات في الكهرباء كما هو الحال مع بعض الحلول الأخرى، هذا ويمكن أن تكون المنظومات الشمسية استثمارًا جيدًا في المستقبل، حيث يتوقع أن تزيد تكلفة الطاقة الكهربائية التقليدية مع مرور الوقت، في حين أن تكلفة المنظومات الشمسية تنخفض.

وأما المعيار الثاني العائد/الكلفة (*Return on Investment / ROI*) هو مؤشر يستخدم لتقييم جدوى الاستثمار، ويعبر عن العائد النسبي المتوقع من الاستثمار مقابل التكلفة الإجمالية للإنفاق عليه.

جدول (9.5): عائد الطاقة من الألواح الشمسية للمقترح الثاني.

مصباح الإنارة			البيان
LED195	LED120	LED99	
370.03	255.16	194.98	الإنتاج السنوي للمصباح الواحد (kWh)
339.71	225.04	206.05	الطاقة المستهلكة من الشبكة للمصباح الواحد
626	1226	110	عدد المصابيح
231638.78	312826.16	21447.8	إجمالي الطاقة الموفرة (kWh)
212658.46	275899.04	22665.5	إجمالي الطاقة المستهلكة (kWh)

وعلى هذا النحو وبنفس الطريقة المتبعة في المقترح الأول تم حساب معيار فترة الاسترداد ومعيار العائد على التكلفة للمقترح الثاني والثالث، الجدول (10.5) يوضح ملخص مختصر نتائج دراسة الجدوى للمقترحات الثلاث ومقارنتها بالمصابيح التقليدية المستخدمة في الوقت الحالي.

جدول (10.5): المقارنة بين المقترحات للطرق قيد الدراسة.

نتائج المقترحات الثلاثة للطرق قيد الدراسة				
عمود الإنارة التقليدي	المقترح الثالث	المقترح الثاني	المقترح الأول	
0	1881976	565912	822333	الإجمالي السنوي للطاقة موفرة (kWh)
2864520	982543	511898	0	الإجمالي السنوي للطاقة المستهلكة من الشبكة (kWh)
0	156204.008	46970.696	68253.639	إجمالي العائد (تكلفة الطاقة الموفرة على الشبكة (\$))
237755.16	81551.069	42487.534	0	إجمالي الاستهلاك السنوي (تكلفة الطاقة المزودة من الشبكة (\$))
472150	269800	1483900	2360750	إجمالي تكلفة أعمدة الإنارة مع التركيب
-		30	30	فترة الاسترداد (شهر)
-		3.20%	2.90%	العائد / التكلفة

نلاحظ من خلال المقترح الثاني أن فترة الاسترداد كانت ما يقارب (30 سنة)، وهي فترة غير مقبولة أيضاً كاستثمار للدولة في الوقت الراهن، إلا أن هناك العديد من الأسباب التي تجعل مشروع إنارة الطرق على أساس المقترح الثاني مقبول للدولة الليبية، يمكن تلخيص أهمها في النقاط التالية:

- عدم استقرار الشبكة الليبية مما يعرض الطرق قيد الدراسة للخطر الدائم نتيجة طرح الأحمال غير المنظم وغير المجدول.
 - المساهمة في رفع كفاءة الطاقة وتخفيف الحمل على الشبكة في الوقت الراهن.
 - إن منظومات الطاقة الشمسية تتطلب تكلفة أعلى في البداية من أعمدة الإنارة التقليدية. ولكن في المقابل، فإن منظومات الطاقة الشمسية توفر توفيراً كبيراً في تكاليف الطاقة على المدى الطويل، فضلاً عن استرداد قيمتها، حيث تستخدم الطاقة الشمسية المجانية.
 - تعد المنظومة الشمسية الهجينة أكثر استدامة وصديقة للبيئة من المنظومة المستقلة عن الشبكة، حيث أنها تعتمد على الطاقة الشمسية المتجددة ولا تتطلب استخدام الوقود الأحفوري الذي يسبب التلوث البيئي.
 - توفر المنظومة الشمسية الهجينة مستوى أعلى من الاعتمادية بالمقارنة مع المقترحات قيد الدراسة الأخرى، فهي تتميز أيضاً عن المنظومة المستقلة عن الشبكة، حيث أنها تحتوي على نظام احتياطي يمكنها من الاستعانة بالشبكة عند الحاجة إليها، في الأيام الغائمة كمثال.
 - تعتبر المنظومة الشمسية الهجينة أكثر كفاءة من حيث التكلفة الأولية بالمقارنة مع المنظومة المستقلة عن الشبكة، حيث أنها تستخدم بطاريات صغيرة أقل تكلفة وتحتاج إلى أقل عدد من اللوحات الشمسية لتزويد الإضاءة بالطاقة اللازمة.
 - توفر المنظومة الشمسية الهجينة مستوى أعلى من الراحة بالمقارنة مع المنظومة المستقلة عن الشبكة، حيث تعمل بشكل تلقائي ولا تتطلب الصيانة الدورية بنفس الشكل الذي يتطلبه نظام مستقل عن الشبكة.
- من خلال الجدول (10.5) نلاحظ بأن تركيب مصابيح LED يوفر استهلاك الطاقة من الشبكة العامة للكهرباء ما يعادل (1.9GWh) وبالتالي يوفر على الدولة ما قيمته تعادل (\$156,204) سنوياً. وهو

يعتبر أنسب الحلول الحالية من حيث التكلفة، فضلاً عن كون مصابيح LED توفر إضاءة أكثر كفاءة وجودة مقارنة بمصابيح الصوديوم التقليدية، كما تعتبر مصابيح LED أكثر استدامة وصديقة للبيئة من مصابيح الصوديوم التقليدية، حيث تتميز بعمر أطول ولا تحتوي على الزئبق الذي يسبب التلوث البيئي. كذلك استخدام المقترح الثالث يضع ليبيا في مصاف بعض الدول حول العالم التي تعمل على تشجيع استخدام مصابيح LED لإنارة الطرق، وتقديم حوافز للشركات والأفراد للاستثمار في هذه التقنية.

بشكل عام، فإن استخدام أحد المقترحات الثلاثة، يعتمد على الاحتياجات المحددة لكل تطبيق والظروف المحيطة بها، ويجب تقييم العوامل المختلفة المتعلقة بالكفاءة والتكلفة والاستدامة والاستخدامات المختلفة قبل اتخاذ القرار النهائي.

الفصل السادس

الخلاصة والتوصيات

1.6 الخلاصة

في هذا البحث تم دراسة وتصميم ومحاكاة منظومة إنارة شمسية ودراسة جدوى استخدامها، حيث تم استخدام برنامج (*DIALux*) لمحاكاة توزيع الإنارة. كما تم استخدام برنامج (*PVsyst*) لتصميم منظومات الإنارة الشمسية الهجينة والمستقلة، وفيما يلي نستعرض خلاصة هذا البحث:

- من خلال فرضيات هذا البحث، تم اعتماد تصنيفين رئيسيين من إنارة الشوارع، وتغطي هذه التصنيفات معظم الطرق في دولة ليبيا وهي (M, P) وتم اعتبار أن كل الطرق المدروسة تتدرج تحت هذه التصنيفات.

- تم تصميم الإنارة في الطرق قيد الدراسة باستخدام برنامج (*DIALux*)، على أساس الفئة 4 للتصنيف M ، بالنسبة للطرق الرئيسية، والفئة 3 للتصنيف P ، والمخصص لممر المشاة (الرصيف)، حيث تم اختيار مصابيح بقوة 195 W لأعمدة الإنارة الفردية المتناظرة، ومصابيح بقوة 120 W مع أعمدة الإنارة المركزية المزدوجة، بالإضافة إلى مصابيح بقوة 99 W ، في الأعمدة الفردية في الطريق الفردي.

- تم تصميم المنظومات الشمسية المستقلة عن الشبكة المغذية لمصابيح الإنارة المختارة باستخدام برنامج (*PVsyst*)، حيث تم اختيار لوح شمسي بقوة 565 W لتغذية المصباح 195 W ، مع بطارية بسعة 180 Ah وبجهد ربط 26 V . في حين تم اختيار لوح شمسي بقوة 305 W ، لتغذية المصباح 120 W ، وبطارية 93 Ah وبجهد ربط 13 V ، كما تم تغذية المصباح 99 W بلوح شمسي له قدرة 245 W لشحن بطارية بسعة 93 Ah وبجهد ربط 13 V .

- تم تصميم المنظومات الشمسية الهجينة المغذية لمصابيح الإنارة المختارة باستخدام برنامج (*PVsyst*)، حيث تم اختيار لوح شمسي بقوة 410 W لتغذية المصباح 195 W ، مع بطارية

بسعة $103Ah$ وبجهد ربط $23V$. في حين تم اختيار لوح شمسي بقدرة $210W$ ، لتغذية المصباح $120W$ ، وبطارية $93Ah$ وبجهد ربط $13V$ ، كما تم تغذية المصباح $99W$ بلوح شمسي له قدرة $195W$ لشحن بطارية بسعة $62Ah$ وبجهد ربط $13V$.

- من خلال دراسة الجدوى للمقترحات الثلاثة، وجد أن المنظومة الشمسية بنوعيتها تحتاج إلى 30 سنة لاسترداد تكلفتها، مع أخذ عامل الصيانة واستبدال البطاريات في الحسبان، في حين وجد أن مصابيح LED حين استبدالها بمصابيح الصوديوم التقليدية الحالية توفر ($156,204\$$) سنوياً على الدولة مقارنة بمصابيح الصوديوم التقليدية.

2.6 التوصيات

- 1- في حال استخدام التوزيع الحالي لأعمدة الإنارة نقترح استخدام مصابيح LED، أو أعمدة الإنارة الشمسية الهجينة داخل المدن، في حين تستخدم أعمدة الإنارة الشمسية المستقلة في المناطق النائية.
- 2- دراسة الأحمال الميكانيكية على أعمدة الإنارة.
- 3- دراسة تأثير توزيع الأعمدة بطرق مختلفة لتحقيق أفضل إضاءة بأقل قدرة.
- 4- نوصي بدراسة جدوى تركيب أنظمة شمسية مستقلة في المناطق النائية من حيث التكلفة ومقارنتها فيما إذا تمت إنارتها عن طرق مد خطوط الكهرباء والبنية التحتية اللازمة.
- 5- دراسة تصميم أعمدة لتتحمل الصدمات وتحقق أمان لقائدي المركبات.
- 6- دراسة أثر الإنارة على النباتات والبيئة المحيطة.

المراجع

المراجع

- [1] العائب. مصطفى، قليصة. خليل، "المركزات الشمسية ودورها في التوليد الكهروشمسي الحراري"، ندوة تطاوين للطاقات المتجددة، ديسمبر 2012.
- [2] شنب. معمر 1، زغنين. منصور* 1، العيساوي. ستار 2، شتوان. محمد 2، "معوقات استخدام الطاقات المتجددة في ليبيا"، ICCPGE-2016, 1, 813-822، جامعة المرقب ليبيا 2016.
- [3] Mohamed Ekhlal, Ibrahim M. Salah, Nurredin M. Kreema, "Energy Efficiency and Renewable Energy", Libya -National study, United nations Environment Program (UNEP), Sophia Antipolis, September, 2017.
- [4] ابوعوه. الصديق، شتوان. علي، "إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية بين الفرص والتحديات حالة دراسية للقطاع السكني في ليبيا"، رسالة بحثية مقدمة كجزء من متطلبات الحصول على درجة الإجازة العالية (ماجستير) (في إدارة المشاريع الهندسية، أكاديمية الدراسات العليا فرع مصراتة)، 2016.
- [5] T. G. M. o. Generation, "Monthly Generation Report," GECOL, Tripoli, 2022.
- [6] A. N. Y. Al-Athram and others, "Report on applying PV systems on rooftops," GECOL, Tripoli, Libya.
- [7] Eshtaiwi. S, Aburwais. M, Elsanusi. O, Elayeb. M, Shetwan. M "the Impact of Residential Optimally Designed Rooftop PV System on Libya Power Shortage Case", 2023.
- [8] S. Eshtaiwi, M. Aburwais, M. Elayeb, M. Abozaed, and M. Shetwan, "Rooftop PV systems as a solution to the electrical power shortage in Libya," IET Conference Proceedings, pp. 441-447 Available: <https://digitallibrary.theiet.org/content/conferences/0.1049/icp.2023.0033>
- [9] عبد الكريم. محرم، "كيف تعمل الخلايا الشمسية"، 2011.
- [10] حمودي. على، "دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية"، دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية، جامعة تشرين، 2008/2009.

[11] Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2018). Solar cell efficiency tables (version 51). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(1), 3-12.

[12] الحلبي. هبة، " الطاقة الكهروضوئية "، 2011.

[13] Energy Market Authority Agency. "Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems", Building and Construction Authority Agency, Apr-2011.

[14] عريشة. منال، الصوا. نسرين، " أنظمة الخلايا الشمسية"، 2012.

[15] M. A. Rahman, A. M. Ahmed, and M. R. Islam, "Road lighting and accidents: a review," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 143, no. 6, Jun. 2017. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000953.

[16] A. S. Shaaban, "Impact of road lighting on traffic safety: a review of empirical studies," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 50, pp. 923-934, Jul. 2013. doi: 10.1016/j.aap.2012.08.017.

[17] K. S. Kim, Y. H. Park, and S. J. Kim, "A new approach to street lighting: LED systems, intelligent control, and communication technology," *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 2, pp. 154-160, Feb. 2011. doi: 10.1109/MCOM.2011.5706338.

[18] H. A. Elsayed, "LED street lighting: a case study in Riyadh, Saudi Arabia," *IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, May 2014, pp. 159-164. doi: 10.1109/EIT.2014.6871820.

[19] S. K. Raut and V. S. Kalamkar, "Optimization of solar-powered LED lighting system," *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, Aug. 2017, pp. 3176-3180. doi: 10.1109/ICECDS.2017.8389947.

[20] E. A. El-Shatter, "Road lighting design: a critical review," *IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD)*, Sep. 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICIRD.2018.8615156.

[21] S. M. AlGhamdi and H. A. Baghabra Al-Amoudi, "Evaluation of road lighting conditions in Jeddah city, Saudi Arabia," *IEEE 6th GCC Conference and Exhibition (GCCCE)*, Apr. 2014, pp. 1-4. doi: 10.1109/IEEEGCC.2014.6843578.

- [22] D. K. Pradhan and V. Kumar, "Design and analysis of a color temperature adjustable LED lighting system for smart homes," IEEE 8th International Conference on Power Systems (ICPS), Mar. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICPESYS.2018.8671629.
- [23] R. S. Adhikari, "Solar-powered LED lighting system," IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Nov. 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/APPEEC.2017.8308813.
- [24] M. S. Alam, M. R. Islam, and M. A. Hossain, "Design and implementation of a solar-powered street light system," IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), May 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/TENCONSpring.2017.8070154.
- [25] M. Z. A. Abdul Aziz, M. H. B. Mohamed, and M. S. A. Rahim, "Design and development of a solar-powered LED lighting system with battery backup for emergency purposes," IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON), Oct. 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/CENCON.2018.8606046.
- [26] M. A. Ahmed, M. A. Karim, and S. K. Paul, "Design and development of an intelligent solar-powered LED street lighting system," IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), Feb. 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/ECACE.2016.7479552.
- [27] H. A. Al-Qahtani, S. A. Khan, and A. A. Al-Jumaily, "Design and development of a smart street lighting system using IoT and machine learning," IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA), Nov. 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICSIMA.2018.8611823.
- [28] T. Taguchi, "Road Lighting Fundamentals: Technology and Application," Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2015.
- [29] P. F. Lum and J. A. Simmins, Handbook of Lighting Surveys and Audits, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012.
- [30] G. Gordon, Interior Lighting for Designers, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2015.

- [31] D. J. Marne, *Lighting Design Basics*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2017.
- [32] P. Tregenza and M. Wilson, "Daylighting: Architecture and Lighting Design, 1st Edition," New York, NY, USA: Routledge, 2003.
- [33] S. M. Winchip, "Lighting for Interior Design, 4th Edition," Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2015.
- [34] J. E. Kaatz, "Roadway Lighting Design Guide, 2nd Edition," New York, NY, USA: Illuminating Engineering Society, 2018.
- [35] F. S. Merritt and J. R. A. Guenther, "Standard Handbook for Electrical Engineers, 16th Edition," New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2017.
- [36] D. S. H. Chan, "Photovoltaic Systems Engineering, 4th Edition," Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
- [37] J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition," Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013.
- [38] S. J. Prinsloo, "Solar Lighting Systems: Module, Battery, Controller, and LED Technology," Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2017.
- [39] M. H. Al-Sharif and O. M. Al-Qersh, "Optimizing Lighting Design for Educational Buildings Using DIALux Software", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 184-190, Dec. 2019.
- [40] N. Benattouche, "Performance analysis of photovoltaic system using PVsyst software", *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Marrakech, Morocco, Nov. 2016, pp. 1-5.
- [41] The Institution of Lighting Professionals (ILP). (n.d.). *Street Lighting Guidelines*. Retrieved from: <https://shorturl.at/chnt6>
- [42] CIE. (n.d.). *Outdoor Lighting Patterns*. Retrieved July 16, 2023, from <http://cie.co.at/publications/outdoor-lighting-patterns>
- [43] Illuminating Engineering Society, *The Lighting Handbook*, Illuminating Engineering Society, New York, NY, 2011.
- [44] "Cost Comparison of Solar Street Lights vs Traditional Street Lights," Anethic, January 26, 2023. [Online]. Available: <https://shorturl.at/oBLNZ>.