

تصميم منظومة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية لإنارة مدينة بنغازي

أ. عبد لحفيظ محمد التاجوري

م. خالد بوبكر المنفي

م. مرعي سعيد سويسري

سالم عبدالسيد الصويعي

سعيد عبدالله هويدي

ملخص:

تعاني شبكة الكهرباء في ليبيا من أعباء كثيرة متمثلة في الاحمال المتزايدة بشكل مضطرد، وأثر ذلك على البيئة والاقتصاد جراء الحرق المستمر للنفط والغاز لتوليد الكهرباء دون الاستفادة من تصديره، في حين توفر بدائل فعالة متمثلة في الطاقة الشمسية وغيرها. في هذه الدراسة تم تصميم منظومة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية لإحلالها محل الإنارة التقليدية في الأحياء والمناطق التي تضررت أثناء الحرب على الإرهاب وتم حساب الطاقة الموفرة، والانبعاثات التي تم تجنب إنتاجها، والإيرادات التي تحققت باستخدام الطاقة الشمسية كما تم حساب توزيع الإنارة على سطح الطريق والمسافات بين الاعمدة وفقا للمواصفات المعمول بها في الشركة العامة للكهرباء، كما تم احتساب فترة استرداد رأس المال والعمر الاستثماري للمشروع . ومن خلال هذه الدراسة تبين أن استخدام الطاقة الشمسية في إنارة الشوارع بمدينة بنغازي تعتبر عملية مجدية .

مقدمة:

من مشاكل الطاقة الناضبة (النفط، الغاز، الفحم الحجري) لها أضرار بالبيئة، منها التلوث والأمطار الحمضية، والصحة العامة، ولا يغيب علينا ماأفرزته المصانع في الدول الكبرى الصناعية في العالم من ثاني أكسيد الكربون و أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين مما أضر البيئة، ويعتبر ذلك من المشاكل الأساسية مع الطاقة، ونجد أن هذه الغازات تؤدي إلى الاحتباس الحراري تسيطر صناعة النفط والغاز على اقتصاد ليبيا. ويشكل النفط والغاز مصادر الطاقة الرئيسية لمحطات توليد الطاقة، ومع تزايد الطلب على الطاقة في المستقبل القريب ستضطر ليبيا إلى حرق المزيد من النفط والغاز، وهذا بدوره سيؤدي إلى تخفيض الإيرادات، ويهدد الاقتصاد الهش، ويزيد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون، مما يوجب على الدولة الليبية أن تضع خطة عاجلة لتنويع مصادر الطاقة من خلال استخدام مصادر الطاقة المستدامة. ويمكن الحل لهذه المشاكل في اللجوء للطاقة النظيفة غير الناضبة والطاقة الشمسية تعتبر من أسهل أنواع الطاقة الشمسية والتي تتمتع بها بلادنا ليبيا.

تقع ليبيا في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، وتتوسط الشمال الإفريقي بين خطي عرض N (18.75 ° - 33 °) وخطي طول E (9.83 ° - 25 °)، وتقدر مساحتها $1,755,500 \text{ km}^2$ ، ويصنف مناخها إلى نموذجين رئيسيين هما مناخ البحر المتوسط شمالا، والمناخ الصحراوي وسطا وجنوبا، وليبيا من البلدان التي يجب أن تستثمر الطاقة الشمسية بشكل جدي وفعال للأسباب الآتية:

1. موقعها الجغرافي يعطيها ظروفًا مناخية مناسبة، منها طول فترات سطوع الشمس، والسماء الصافية وخاصة في المناطق الصحراوية.
2. مساحتها الشاسعة وأكثرها صحراوية، وجافة، وفيها مناطق نائية ومن الصعب وصول شبكات الكهرباء إليها.
3. تمتاز بساحل طويل على البحر، ويمكن تحلية مياهه باستخدام الطاقة الشمسية.
4. قريبا من دول الاتحاد الأوربي مما يعطي فرصة كبيرة لتصدير الطاقة إلى هذه البلدان[1].

لمحة :

الإتارة العامة تشكل أكثر من 20% من الطاقة المنتجة في أمريكا وأوروبا كما تشكل نسبة أكثر من المذكورة في بعض البلدان النامية [2]. في ليبيا خلال العام 2010م استهلكت الإتارة 3.996 تيرا وات ساعة مايعادل 19.4% من الطاقة المنتجة من المحطات العاملة بالوقود الأحفوري [3]. الإتارة العامة تعتبر عاملا هاما في تحقيق الأمان والراحة والإزدهار الاقتصادي[4]. يتم استخدام أنواع مختلفة من أنظمة الإدارة العامة حول العالم، فمنها ما يستخدم مصابيح الزئبق العالي الضغط ومصابيح الصوديوم عالي ومنخفض الضغط ومصابيح الميثيل هلايد والفلورسنت ومصابيح الديودات الباعثة للضوء [4]. تقنية مصابيح الصوديوم والميثيل هلايد هي الأكثر إستخداما في إنارة الشوارع نظرا لطول أعمارها الافتراضية وكفاءتها نسبيا.

الشركة العامة للكهرباء تستخدم مصابيح الصوديوم العالي الضغط بسعات 250 وات في الشوارع والاحياء السكنية و400 وات للطرق الرئيسية والسريعة وهذه التقنية تعتبر حاليا قديمة وغير فعالة [4].

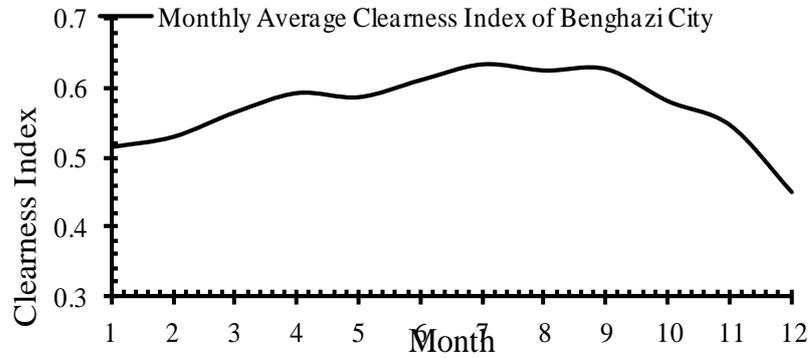
في هذه الأيام انتشرت أنظمة الإنارة بالديودات الباعثة للضوء LED وأصبحت أكثر شعبية في بعض البلدان حول العالم لكفاءتها، وارتفعت أسعارها، حيث بلغت الكفاءة لهذه المصابيح أكثر من 150 لومن/ وات وقابلة للزيادة كما ان عمرها الافتراضي يمكن أن يصل إلى 100,000 ساعة، في حين أن أسعار الوقود الاحفوري مرشحة للزيادة مستقبلا نرى انخفاض مستمر في أسعار تقنية إنارة الليد بالطاقة الشمسية [5].

في دراسة للجدوى الاقتصادية للإنارة بالطاقة الشمسية لمصابيح الليد تبين أنها يمكن أن توفر 50% من الطاقة المستهلكة بمصابيح الصوديوم العالي الضغط [6]. في جمهورية مصر العربية تم اقتراح إحلال الإنارة بمصابيح باليد محل الإنارة بمصابيح الصوديوم حيث تبين في دراسة جدوى اقتصادية أن تكلفة الإنارة بمنظومات الليد في دورة حياة بلغت 20 عاما تساوي 30% من تكلفة الإنارة التقليدية [7]. قام التاجوري باحتساب شدة الإشعاع الكلي الساقط على لوح مائل بمدينة بنغازي، وزوايا ساعة الشروق والغروب على سطح أفقي ومائل، بزواوية مثلى كما قام باحتساب متوسط طول فترات النهار على مدار العام وكذلك المتوسط الشهري لساعات سطوع الشمس الملحوظ وتبين من الدراسة أن الطاقة الشمسية مجدية الاستخدام في مناخ مدينة بنغازي كما تم حساب فترة استرداد رأس المال وكانت مشجعة وبلغت 1.4 سنة [2].

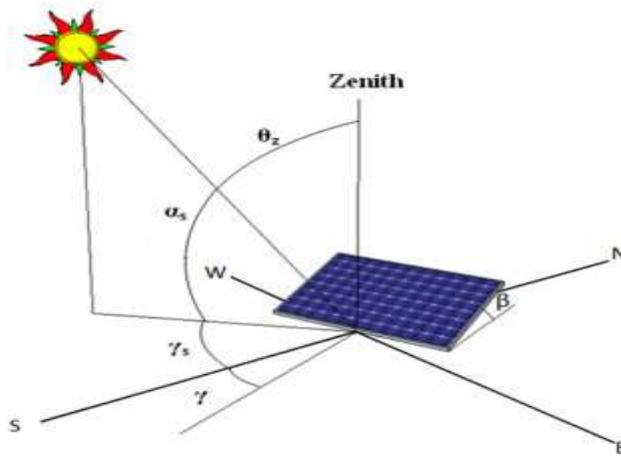
تهدف هذه الدراسة للمساهمة في توطيد استخدام الطاقات المتجددة، وبشكل خاص الطاقة الشمسية في مدينة بنغازي، وكبداية في الأحياء والمناطق المتضررة من أجل ترشيد إستهلاك الطاقة الكهربائية، وتقليل التلوث، وكذلك تقليل استنزاف النفط والغاز، والذي يعتبر المصدر الرئيسي للدخل في ليبيا.

البيانات المناخية لمدينة بنغازي:

مدينة بنغازي هي ثاني مدينة في ليبيا، وتبلغ مساحتها 314 كم²، ومتوسط ساعات الاشراق فيها 8.725 ساعة/اليوم أي مايعادل 3185 ساعة في العام، ومتوسط عامل صفاء السماء بها 0.572 الشكل (1)، وكمية الإشعاع الشمسي الساقط على ارض المدينة $10^{12} * 2.33022$ وات ساعة/ السنة ومناخها ساخن وشبه جاف صيفا ومعتدل وممطر أحيانا شتاء الجدول (1) [2] .



الشكل (1) المتوسط الشهري لمعامل الصفاء لمدينة بنغازي.



الشكل: (2) الزوايا الشمسية المستخدمة في الحسابات

جدول (1): البيانات المناخية لمدينة بنغازي

القيم	البيانات المناخية لمدينة بنغازي
69	معدل سقوط الامطار مم
7.17	الاشعاع الكلي ك.و.س/م ² /اليوم
1.6	الاشعاع المنتشر ك.و.س/م ² /اليوم
5.7	الاشعاع المباشر ك.و.س/م ² /اليوم
32.1°	خط العرض درجة
25.15°	خط الطول درجة
17 - 32	متوسط اقصى درجة حرارة للجو °C
27 - 18	متوسط درجة حرارة مياه البحر °C

حساب كمية الإشعاع الشمسي لمدينة بنغازي:

في العادة عند احتساب وتقييم كفاءة الحقل الشمسي، ومساهمته في أية منظومة طاقة، فمن الضروري احتساب شدة الاشعاع من ساعة الشروق إلى ساعة الغروب، لذا الخطوة الأولى يتم احتساب ساعات الشروق وساعات الغروب، وطول النهار والمعدل الشهري للإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح مائل وزوايا الشروق والغروب على سطح مائل وكذلك الزوايا المثلثية للمستقبل [2].

$$td = \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan\phi_L \cdot \tan\delta] \quad (1)$$

حيث: td : طول اليوم، ϕ_L زاوية خط العرض، δ زاوية الميلان .

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2)$$

احتساب ساعات الشروق والغروب.

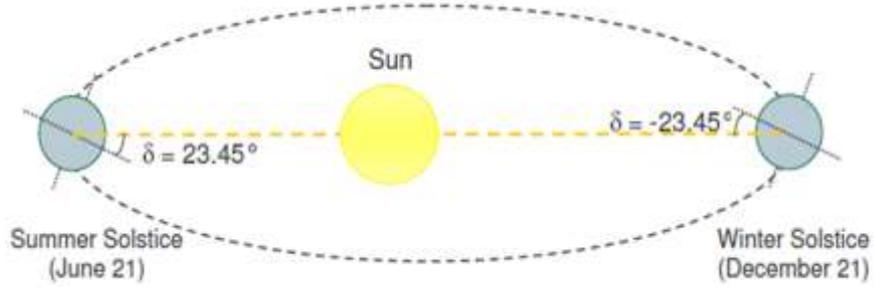
$$\omega_s = \cos^{-1} [-\tan \delta \tan \phi_L] \quad (3)$$

ساعة الشروق:

$$Hsr = 12 - \frac{\omega_s}{15} \quad (4)$$

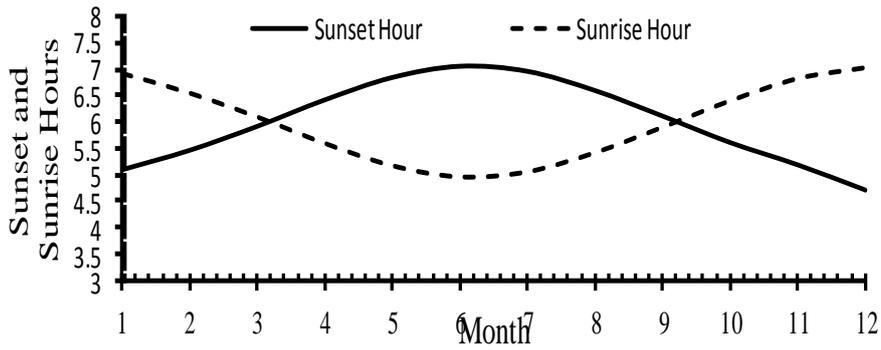
ساعة الغروب:

$$Hst = 12 + \frac{\omega_s}{15} \quad (5)$$



الشكل: (2) زاوية الميلان

الشكل (3) متوسط طول اليوم الشهري المحاسب لمدينة بنغازي.



الشكل (4) ساعات الشروق والغروب لمدينة بنغازي بناء على الايام الموصى بها.

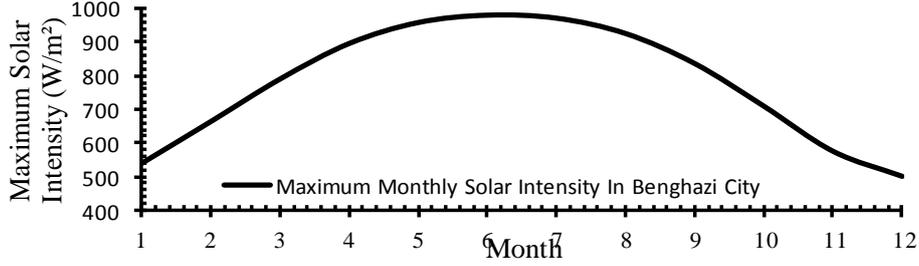
أقصى شدة إشعاع محتسبة في مدينة بنغازي.

$$DNI = I'' \sin \left(\frac{\pi t}{12} \right). \quad (6)$$

$$I'' = - 3083.45 + 533.98 td - 17.43 td^2 \quad (7)$$

حيث: t:

الوقت محسوباً من الشروق وحتى الغروب (ساعة الشروق $t = 0$ وساعة الغروب $t = td$).
 "أقصى اشعاع عمودي وات/م².
 DNI: الاشعاع المباشر وات /م².



شكل: (5) أقصى شدة إشعاع شهري لمدينة بنغازي

$$h_{ss} = \cos^{-1}[\tan(L) \tan(\delta)] \quad (8)$$

$$h'_s = \min\{h_{ss}, \cos^{-1}[-\tan(L - \beta) \tan(\delta)]\} \quad (9)$$

$$\bar{R}_B = \frac{\cos(L - \beta) \cos(\delta) \sin(h'/ss) + (\pi/180) h'/ss \sin(L - \beta) \sin(\delta)}{\cos(L) \cos(\delta) \sin(h_{ss}) + (\pi/180) h_{ss} \sin(L) \sin(\delta)} \quad (10)$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_t}{H} = (1 - \bar{H}_d/\bar{H})\bar{R}_b + \bar{H}_d/\bar{H}(1 + \cos\beta)/2 + p(1 - \cos\beta)/2. \quad (11)$$

حيث: \bar{H} : المعدل الشهري للإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقي.
 \bar{H}_d : الإشعاع المنتشر الساقط على سطح أفقي.

- h_{ss} : زاوية ساعة الغروب على سطح افقي تحسب من المعادلة رقم (8).
- h'_{ss} : زاوية ساعة الغروب على سطح مائل تحسب من المعادلة رقم (9).
- \bar{B} : المتوسط الشهري لعامل الميلان المباشر ويحسب من المعادلة رقم (10).
- β : زاوية ميلان السطح المستقبل مع الافقي.
- ρ : انعكاسية الأرض، واقترح لايو وجوردن أن تكون قيمتها محصورة بين (0, 1) [1].
- \bar{R} : هي دالة معقدة في نفاذية الغلاف الجوي عدا عند الإعتدالات، وبذلك فهي تعتمد على صفاء الجو من حيث كمية بخار الماء وتركيز الجسيمات في الغلاف الجوي ويمكن حسابها وفقا لنموذج لايو وجوردن بالنسبة لسطح مقابل للجنوب بنصف الكرة الشمالي من المعادلة رقم (11).
- $\bar{H}t$: المعدل الشهري للإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح مائل.
- الزاويا المثلى السنوية:

وهي زاوية ميل السطح المستقبل للأشعة عن الأفقي، وهي التي عندها يتم الحصول على أعلى قيمة للإشعاع الشمسي .ووفقا لنموذج لايو وجوردن ولتحصيل أعلى طاقة شمسية خلال فصل الصيف يثبت اللوح الشمسي عند زاوية ($23 - L$ °) للمناطق الساحلية و ($21 - L$ °) للمناطق الصحراوية بينما خلال فصل الشتاء تثبت المجمعات الشمسية عند زاوية ($18 + L$ °) للمناطق الساحلية و ($21 + L$ °) للمناطق الصحراوية.

وعليه فإن الزاوية المثلى لإستقبال الاشعة على اللوح الشمسي في مدينة بنغازي خلال فصل الصيف

$$\beta = 32.1 - 23 = 9.1 \text{ . أما في فصل الشتاء فتكون قيمة الزاوية :}$$

$$\beta = 32.1 + 18 = 50.1$$

ويمكن تتبع أشعة الشمس للحصول على أعلى قيمة من الإشعاع الساقط على اللوح الشمسي في مدينة بنغازي وباستخدام دوران اللوح حول المحور الشمالي الجنوبي من الشرق إلى الغرب ويمثل هذا التتبع بالمعادلة رقم (12).

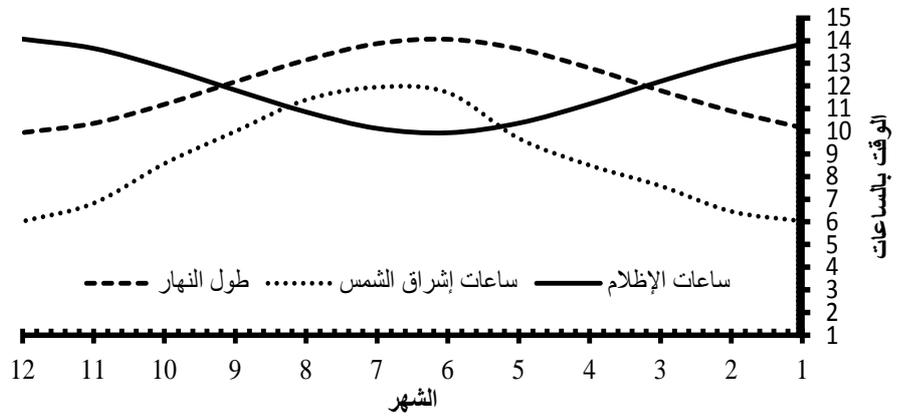
$$\cos(\theta) = \sqrt{\cos^2 \theta_z + \cos^2 \delta \cdot \sin^2 \omega}$$

12)

جدول (2): حسابات المتوسط الشهري للإشعاع والزاويا لمدينة بنغازي [2].

الشهر	N	δ (°)	hss(°)	h'ss(°)	$\frac{\overline{H_D}}{\overline{H}}$	$\overline{B_R}$	\overline{R}	$\overline{H_t}$ (MJ/m ²)
يناير	17	-20.92	76.1	76.1	0.38	1.96	1.56	11.93
فبراير	47	-12.95	81.7	81.7	0.42	1.57	1.29	16.46
مارس	75	-2.42	88.5	88.5	0.39	1.2	1.1	19.48
أبريل	105	9.41	95.96	86.9	0.34	0.88	0.9	21.63
مايو	135	18.79	77.7	77.7	0.329	1.01	1	20.70
يونيو	162	23.09	74.49	74.49	0.31	0.99	1	22.52
يوليو	198	21.18	104.1	99.5	0.374	0.85	0.91	23.22

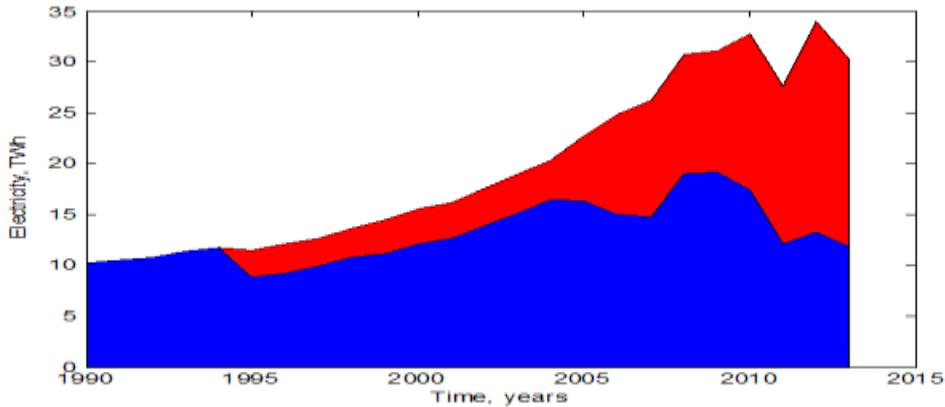
22.67	1.01	1.02	0.365	95.8	98.6	13.45	228	أغسطس
22.29	1.05	1.07	0.345	90.94	91.4	2.22	258	سبتمبر
19.13	1.1	1.15	0.35	83.9	83.9	-9.60	288	أكتوبر
16.27	1.13	1.24	0.35	77.6	77.6	-18.91	318	نوفمبر
12.19	1.61	2.08	0.403	74.5	74.5	-23.05	344	ديسمبر



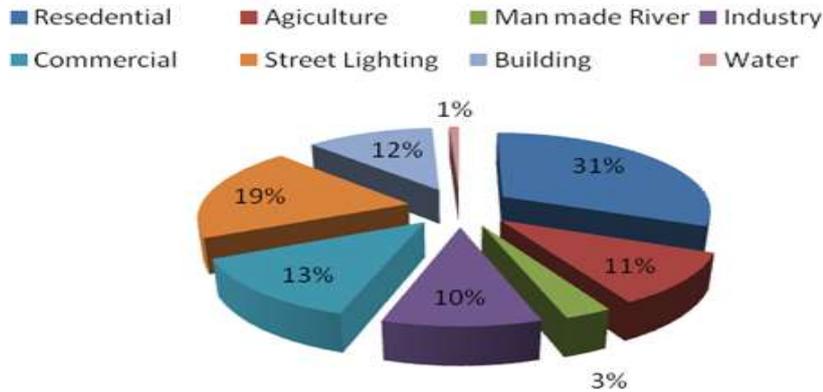
الشكل: (6) المتوسط الشهري لساعات إشراق الشمس مع متوسط طول النهار والليل في مدينة بنغازي.

حاليا توليد الكهرباء في ليبيا 37 % منه من الوقود السائل، و54 % من الغاز الشكل (7) [8]، كما بين الشكل (8) توزيع الطاقة المنتجة على القطاعات المختلفة، حيث يتضح أن الأحمال المنزلية، والإنارة تشكلان مانسبته 50% من الطاقة المنتجة. الإنارة العامة تشكل 19% من احتمال مدينة بنغازي أي مايعادل 1627.008 ميجاوات/ ساعة، وهذه طاقة كبيرة يلزم لتوليدها حرق كمية كبيرة من الوقود السائل (618.85 متر مكعب خلال 12 ساعة عمل فقط)، والغازي (512,896 متر مكعب خلال 12 ساعة عمل فقط)، كما ينجم عنها انبعاث كميات من الملوثات والمتمثلة في غاز أول أكسيد الكربون CO ، وغاز ثاني أكسيد الكربون CO₂ ، وغاز ثاني أكسيد الكبريتيك SO₂ ، وغازات أكاسيد النيتروجين NO_x .

الشكل: (7) الطاقة الكهربائية المولدة من الوقود السائل والغاز [2].



Electrical Energy Consumption



الشكل: (8) إسهام الطاقة الكهربائية المنتجة في تغذية القطاعات المختلفة في العام 2012[2].

جاء أحداث الحرب في مدينة بنغازي خلال الأعوام 2014 إلى، 2017 تضررت العديد من الأحياء والمناطق، وأصيبت بنيتها التحتية بالتلف، ولم تسلم شبكة الإنارة من هذا الضرر، ومن بين هذه المناطق منطقة بنينا- منطقة سيدي فرج- منطقة بوعطني منطقة المساكن الجاهزة- حي الأنصار-حي بنغازي الجديدة - منطقة القوارشة - منطقة قنفودة - جزء من حي الزيتون ا- منطقة قار يونس- حي الجزيرة - حي غريبيل- حي خريبيش- أجزاء من حي سيدي حسين- حي الصابري الشرقي- حي الصابري الغربي وأجزاء كبيرة من الطرق والشوارع الرئيسية بالمدينة كشارع جمال عبد الناصر- شارع الأندلس- شارع الجزائر- شارع الفاتح - شارع 7 أكتوبر- طريق

الجماهيرية- طريق العروبة- شارع عمرو بن العاص- شارع أحمد رفیق- شارع موسى بن نصير- الطريق الدائري الرابع الطريق الدائري الخامس- الطريق الدائري العاشر - إنارة جامعة بنغازي فبلغت أطوال شبكة الإنارة المتضررة 144 كيلومتر بعدد 144 لوحة إنارة و4,800 عمود و 5,600، كشاف إنارة وتوابعها من قواعد خرسانية، وعددها 4,800، وكوابل نحاسية بطول 232,202 متر وأسلاك تاريض بطول 150,000 متر .

وفي هذه الدراسة سيتم إجراء مقارنة ضمن مشروع إعادة الإعمار للمناطق المذكورة أعلاه، ودراسة الجدوى الاقتصادية، والبيئية من خلال منظومتي إنارة مختلفتين أحدهما المنظومة التقليدية والمعمول بها في الشركة العامة للكهرباء، ومنظومة الإنارة بمصابيح الليد العاملة بالطاقة الشمسية، وسيتم استخدام عينات من بعض الطرق والشوارع في حساب شدة الإضاءة والمسافة بين الأعمدة وفقاً للمواصفات المعمول بها بالشركة العامة للكهرباء، وستكون الدراسة لدورة حياة عمل 25 عام، وسيكون التعامل بالأسعار المعتمدة من قبل الحكومة في العام 2021م ومعامل التحويل للعملة مقارنة مع الدولار الأمريكي 4.84.

جدول (3): تكلفة معدات الإنارة التقليدية المعمول بها بالشركة العامة للكهرباء

ت	البيان	الوحدة	الكمية	سعر الوحدة (\$)	إجمالي السعر (\$)
1	عمود إنارة إرتفاع 9 متر	عدد	4,800	337.2	1,618,560
2	قاعدة خرسانية (60سم * 60سم * 100سم)	عدد	4,800	232.4	1,115,520
3	ذراع مفرد 2 متر	عدد	4,000	95.04	380,160
4	ذراع مزدوج 2 متر	عدد	800	103.5	82,800
5	لوحة تجميع كوابل	عدد	4,800	61.98	297,504
6	كشاف انارة صوديوم 400 وات	عدد	2,600	299.6	778,960
7	كشاف انارة صوديوم 250 وات	عدد	3,000	247.9	743,700
8	لوحة تحكم إنارة	عدد	144	1551.7	223,445
9	كيل حجم 4*16 مم ²	متر	150,000	17.36	2,604,000

374,677	53.51	7,002	متر	كيل حجم 95*3.5 مم ²	10
333,920	41.74	8,000	متر	كيل حجم 50*3.5 مم ²	11
152,544	2.27	67,200	متر	كيل حجم 1.5*3 مم ²	12
1,446,200	10.33	140,000	م.ط	مواسير بلاستيكية 10 سم ²	13
340,500	2.27	150,000	متر	سلك تأريض عاري 16*1 مم ²	14
1,594,952	10.33	154,400	م.ط	أعمال حفر	15
12,087,442	التكلفة الرئيسية				
1,450,493	تكلفة التركيبات والانشاءات 12% من التكلفة الرئيسية [2].				
2,417,488	تكلفة الصيانة 2% من التكلفة الرئيسية [2].				
15,955,423	الإجمالي				

تكلفة التشغيل لدورة الحياة للمنظومة التقليدية العاملة بالوقود الأحفوري (LCRC) :

$$LCRC = E_W * E_C * \Delta t * N \quad (13)$$

حيث: E_W الاستهلاك السنوي من الطاقة الكهربائية كيلوات E_C لتعريفه الكهربائية 0.1 \$ / ك. و. س. تكلفة إنتاج الكهرباء في ليبيا 0.176 \$ / ك. و. س. [10] وأيضا المرجع [11] أكد أن سعر الكهرباء الفعلي في ليبيا يتراوح بين 0.15 \$ / ك. و. س. و 0.2 \$ / ك. و. س.

Δt : عدد ساعات التشغيل لمدة سنة / سنة، N فترة العمر الافتراضي سنة. كمية الطاقة الكهربائية للمصابيح وعددها 5600 مصباح (1790 كيلوات) لمدة عام تكون قيمتها 1790 * 12 ساعة * 365 يوم = 7,840,200 كيلوات ساعة. تكلفة دورة الحياة = 1790 * 12 * 365 * 0.1785 * 25 = 34,986,892.2 دولار.

الطاقة المباعة للمرافق العامة خلال نفس الفترة وبقيمة 0.01 \$ / ك. و. س. . الايراد = 1790 * 12 * 365 * 0.01 * 25 = 1,960,050 دولار.

حساب التلوث الناجم عن تشغيل المنظومة التقليدية:

أولا: إنبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂.

يتم أولاً حساب كمية الكهرباء المنتجة بالوقود الغازي وكذلك كمية الكهرباء المنتجة بالوقود السائل.

$$\text{كمية الطاقة المنتجة بالوقود الغازي} = E_W * 0.54 = 4,233,708 \text{ ك.و.س./سنة.}$$

$$\text{كمية الطاقة المنتجة بالوقود السائل} = E_W * 0.37 = 2,900,874 \text{ ك.و.س./سنة.}$$

$$\text{كمية الطاقة المنتجة بالمزدوجة} = E_W * 0.09 = 705,618 \text{ ك.و.س./سنة.}$$

$$\text{كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث من حرق الوقود الغازي} = 4,233,708 * 0.185 * 25 = 19,580,900 \text{ كجم.}$$

$$\text{كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث من حرق الوقود السائل} = 2,900,874 * 0.53 * 25 = 38,436,580 \text{ كجم.}$$

$$\text{الكمية الكلية من الغاز المنبعث} = 19,580,900 + 38,436,580 = 58,017,480 \text{ كجم.}$$

ثانياً: انبعاث غاز أول أكسيد الكربون CO:

$$1- \text{كمية غاز أول أكسيد الكربون المنبعث من حرق الوقود الغازي} = 4,233,708 * 0.0005 * 25 = 52,921 \text{ كجم.}$$

$$2- \text{كمية غاز أول أكسيد الكربون المنبعث من حرق الوقود السائل} = 2,900,874 * 0.0002 * 25 = 14,505 \text{ كجم.}$$

$$\text{الكمية الكلية من الغاز المنبعث} = 14,505 + 52,921 = 67,426 \text{ كجم.}$$

ثالثاً: انبعاث غاز ثاني أكسيد الكبريت SO2:

$$1- \text{كمية غاز ثاني أكسيد الكبريت المنبعث من حرق الوقود الغازي} = 4,233,708 * 0.0005 * 25 = 52,921 \text{ كجم.}$$

$$2- \text{كمية غاز ثاني أكسيد الكبريت المنبعث من حرق الوقود السائل} = 2,900,874 * 0.0164 * 25 = 1,189,359 \text{ كجم.}$$

$$3- \text{الكمية الكلية من الغاز المنبعث} = 1,189,359 + 52,921 = 1,242,280 \text{ كجم.}$$

رابعاً: إنبعاث غازات أكاسيد النيتروجين NOx .

$$1- \text{كمية غازات أكاسيد النيتروجين المنبعثة من حرق الوقود الغازي} = 4,233,708 = 0.0009 * 25 = 95,259 \text{ كجم.}$$

$$2- \text{كمية غازات أكاسيد النيتروجين المنبعثة من حرق الوقود السائل} = 2,900,874 * 0.0025 * 25 = 181,305 \text{ كجم.}$$

$$3- \text{الكمية الكلية من الغاز المنبعث} = 181,305 + 95,259 = 27,656 \text{ كجم.}$$

$$\text{تكلفة معالجة انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون} = 67,426 \text{ طن} * 220 \$ / \text{طن} = 14,833,720 \text{ دولار.}$$

التكلفة الإجمالية لمنظومة الإنارة التقليدية خلال 25 عام.

$$\text{التكلفة الإجمالية} = (\text{التكلفة الابتدائية} + \text{تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية} + \text{التكلفة الاجتماعية}) - \text{إيراد الطاقة المباعة.}$$

$$\text{التكلفة الإجمالية} = (14,833,720 + 34,986,892.2 + 15,955,423) = 63,815,985.5 \text{ دولار.}$$

التكلفة الإجمالية لمنظومة الإنارة الشمسية خلال 25 عام.

$$\text{التكلفة الإجمالية} = \text{التكلفة الابتدائية مضافا إليها تكلفة الصيانة} + \text{تكلفة استبدال الوحدة الشمسية الكاملة والتي عمرها الافتراضي 11 عاما مرتين.}$$

$$\text{التكلفة الإجمالية} = 10,970,750 + 14,967,680 = 25,938,430 \text{ دولار.}$$

حساب المسافة بين الأعمدة بطريقة الليومن .

$$F * U * N * M = E * A \quad (14)$$

حيث: F الفيض الكلي للمصباح (ليومن)، U معامل الاستخدام الذي يأخذ في الاعتبار كفاءة المصباح والفواقد، N العدد الكلي للمصابيح، عامل الصيانة للكشاف وفقا لفترات الصيانة والتنظيف، ومعدلات التلوث، الجدول (5)، E متوسط كفاءة الفيض الضوئي المحتجز على الطريق، ويقاس باللكس الجدول (4)، A المساحة المطلوب إنارتها متمثلة في المسافة بين العمودين وعرض الطريق الواقع بينهما $A = W_1 * S^2$ ، S المسافة بين الأعمدة بالمتر، W_1 عرض الطريق أو عدد حارات المرور بالطريق بالمتر.

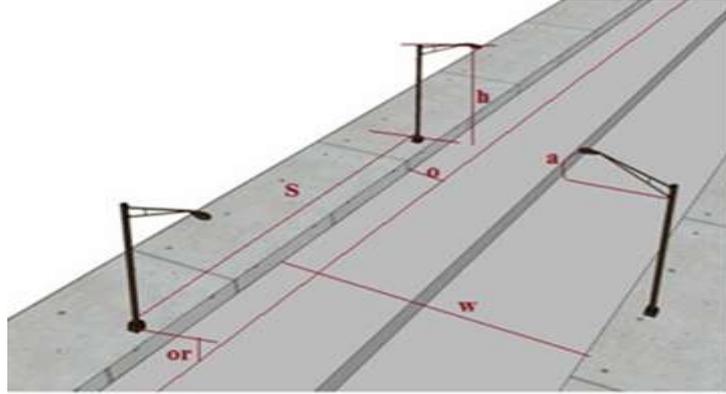
ووفقا للمواصفات المعمول بها في الشركة العامة للكهرباء والتي تحدد متوسط مستوى الإضاءة لكل طريق أو شارع حسب الجدول رقم (4) كما يبين الشكلان (9 ، 10) أبعاد الطريق المدرس وارتفاع الاعمدة وطريقة الحسابات الصحيحة والخاطئة في عملية توزيع الإنارة على سطح الطريق.

جدول (4): مستوى الإضاءة.

نسب التماثل		E _{min}	E _{ave}	منطقة التطبيق
E _{max} :E _{min}	E _{max} :E _{min}			
2.5:1	3:1	15	30	الطرق السريعة والشوارع الرئيسية
3:1	5:1	10	25	شوارع التسوق بالضواحي
3:1	5:1	10	25	الشوارع الفرعية
5:1	10:1	5	15	شوارع أخرى

جدول (5): عوامل الصيانة

مستوى التلوث			فترات التنظيف (شهور)
منخفض	متوسط	عالي	
0.82	0.62	0.53	12
0.80	0.58	0.48	18
0.79	0.56	0.45	24
0.78	0.53	0.42	36



الشكل: (9) أبعاد الطريق المدروس وارتفاع الأعمدة والمسافة بينها.



الشكل: (10) يبين التصميم الصحيح والتصميم الخاطئ لإنتظام الانارة على الطريق.

عينة من الحسابات لبعض الطرق الرئيسية بمدينة بنغازي:

جدول (6) : حساب المسافة بين الأعمدة لبعض شوارع وطرق مدينة بنغازي بطريقة الليومن.

عدد الكشافات	عدد الأعمدة	S	M	E_{ave}	F	U	W_2	W_1	الطريق
32	16	42	0.53	30	44000	0.44	3	16	الطريق الدائري الأول
76	38	45	0.53	30	44000	0.468	4	16	شارع الخليج العربي بين الدائري الثالث

والدائري الخامس									
17	17	29	0.53	25	28000	0.341	1	7	شارع العقيب
79	79	28	0.53	25	28000	0.45	2.5	10	شارع التل
2000	1000	41	0.53	30	44000	0.44	4	20	الطريق الدائري العاشر
1000	500	37	0.53	30	44000	0.475	3	20	طريق الجماهيرية
16	16	30	0.53	25	28000	0.415	2	8	شارع آل جعودة
132	66	33	0.53	30	44000	0.545	4	26	شارع موسى بن النصير
21	21	36	0.53	30	44000	0.46	2.5	10	ش.الجزائر بين جمال والجماهيرية
79	79	45	0.53	30	44000	0.44	3	15	ش. الفاتح من العروبة الى الضريح
31	31	38	0.53	30	44000	0.49	2	10	ش. عمرو بن العاص
20	20	35	0.53	30	44000	0.49	2	11	ش. الاسكندرية
15	15	39	0.53	30	44000	0.45	2.5	9	ش. احمد الشريف
29	29	31	0.53	30	44000	0.472	2.5	12	ش.جمال بين الكورنيش والجزائر

المكونات الأساسية لأنظمة إنارة الشوارع بالطاقة الشمسية.

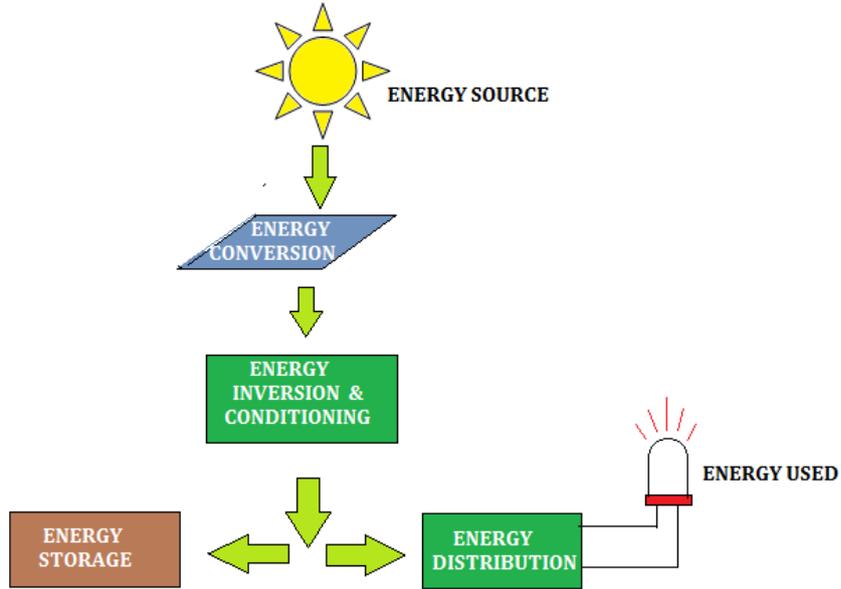
تتكون منظومة الانارة بالطاقة الشمسية من: المصابيح، والأعمدة، والألواح الشمسية والبطاريات ومتحكمات الشحن وأنظمة المراقبة والتحكم.

حسابات منظومة الانارة بالطاقة الشمسية:

سنأخذ مثلاً على الحسابات، وليكن شارع أحمد الشريف

$$\text{lumens} = \frac{W * L * D}{C_U * M_F} \quad (15)$$

حيث: **Lumens**: الفيض الضوئي للكشاف المستخدم، W عرض الطريق الذي يقع تحت مجال الكشاف بالمتري 9 م، D المسافة بين الأعمدة بالمتري 30 م، قيمة متوسط قيمة الإضاءة على المتري المربع باللوكس 30 لوكس، C_U معامل الاستخدام 0.45 ، M_F عامل الصيانة 0.7 .



لشكل: (11) يبين مبدأ عمل المنظومة الشمسية في استقبال الطاقة وتحويلها وتوزيعها

الفيض الضوئي لكشاف الليد المراد تركيبه في الشارع

$$= (0.458 * 0.7) / (30 * 30 * 9) = 25265 \text{ ليومن} .$$

كفاءة الكشاف 180 ليومن / وات وبالتالي قدرة الكشاف = 180 / 25265 =

140.36 عليه نختار كشاف بقدرة 140 وات وفيضه الضوئي 25000 ليومن .

الطاقة التي يستهلكها الكشاف خلال 12 ساعة عمل $E_L = 12 * 140 =$

وات ساعة.

الطاقة = $(1.8 * 0.8) / ((0.1 + 1) * 1680) = 1283.33$ وات ساعة.

$$\text{Energy} = \frac{E_L * (1 + L_L)}{\eta_B * \eta_{LED}} \quad (16)$$

حيث: E_L الطاقة التي يستهلكها الكشاف خلال 12 ساعة عمل وات ساعة, η_B كفاءة البطارية 0.8%, η_{LED} : كفاءة كشاف الليد 1.8% .

الطاقة الكلية التي يجب أن تغذي الليد نجدها بالتعويض في المعادلة (17) حيث ND = 3 أيام تشغيل للكشاف بدون شحن البطارية.

الطاقة الكلية $E_T = 1.8 / (1.1 * 1283.33 * 3) = 2352.8$ وات ساعة.

(17)

$$E_T = \frac{ND * \text{Energy} * (1 + L_L)}{\eta_{LED}}$$

نحسب الطاقة القصوى التي سوف تخزن في البطارية من المعادلة (18).

$ES = (0.8 * 0.8) / 2352.8 = 3676.25$ وات ساعة.

حيث: E_T , بالطاقة الكلية التي يجب ان تغذي الليد , ND عدد الأيام التي تغذي فيها

البطارية دون شحن وات ساعة.

$$E_S = \frac{E_T}{\eta_B * DOD}$$

(18)

حيث: E_S الطاقة القصوى ألت يمكن ان تخزن في البطارية وات ساعة, DOD: عمق

تفريغ البطارية 80%.

نحسب سعة البطارية من المعادلة (19).

$$C = \frac{E_s}{V_s} \quad 306.4 = 12 / 3676.25 \text{ مبير ساعة.} \quad (19)$$

حيث: V_s : جهد المنظومة 12 فولت.

نحسب عدد البطاريات التسلسلية من المعادلة (20) $N_{b,s} = 12 / 12 = 1$ بطارية واحدة.

$$N_{b,s} = \frac{V_s}{V_b} \quad (20)$$

حيث: $N_{b,s}$: عدد البطاريات التسلسلية المستخدمة في المنظومة, V_b : جهد البطارية 12 فولت .

نحسب عدد البطاريات التفرعية من المعادلة (21).

$N_{b,p} = 200 / 306.4 = 1.532$ بطارية. عليه نختار بطاريتين ليثوم فوسفات الحديد

$$N_{b,p} = \frac{C}{C_b} \quad (21)$$

حيث: $N_{b,p}$: عدد البطاريات التفرعية, C_b : سعة البطارية أمبير ساعة.

حسابات الألواح الشمسية

بالتعويض في المعادلة (22) نجد :

$$193.48 = P_{pv} = \left(\frac{6.03}{12 * 140} \right) * \left(\frac{1.8 * 0.8}{1} \right) = P_{pv}$$

لدينا الخلية الواحدة تنتج 4.2 فولت وبأبعاد (15 سم * 15 سم) [6] .

$$P_{PV} = \frac{1}{\eta_B * \eta_{LED}} * \frac{P_{LED} * h_{LED}}{h_{PV}} \quad (22)$$

حيث: P_{pv} : قدرة اللوح الشمسي بالوات, h_{LED} : عدد ساعات عمل كشاف الليد ليلا ساعة, h_{LED} : عدد ساعات الأشعاع الشمسي يوميا ساعة, P_{LED} : قدرة الكشاف 140 وات.

$$\text{عدد الخلايا} = 4.2 / 193.48 = 46 \text{ خلية.}$$

نختار لوح شمسي واحد بأبعاد 100سم * 103.5سم.

حساب الطاقة المنتجة من اللوح الشمسي خلال العام

$$E = I_{Peak} \cdot d_m \cdot R_{average} \cdot \eta \cdot \alpha \cdot V \quad (23)$$

حيث: I_{peak} تيار اللوح الشمسي , d_m عدد الأيام في كل الشهر , $R_{average}$ هو متوسط عدد ساعات الإشراق الشمسي في كل شهر, η كفاءة الشحن , α معامل تجمع الاوسخة.

مواصفات منظومة الإنارة المختارة من السوق المحلي وتقارب نفس الحسابات المنجزة على شارع أحمد الشريف.

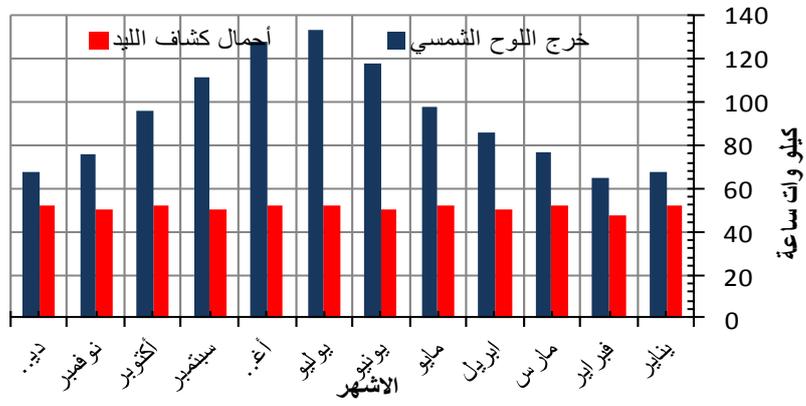
- عدد ساعات التشغيل 12 ساعة.
 - عمل المنظومة في الأيام المظيرة حيث لا توجد شمس لمدة 3 - 5 أيام.
 - جهد الكشاف الليد ونوعه فليبس 140 وات.
 - كفاءة الكشاف 180 ليومن / وات.
 - ساعات تشغيل الكشاف 50,000 ساعة عمل مايقارب 11 عام.
 - الفيض الضوئي للكشاف 25,000 وات .
 - نوع الخلية وكفاءتها وعمرها الافتراضي وقدرتها القصوى كرسطين أحادية 18 % 25 عام 180 وات ذ.
 - نوع البطارية وعمرها الافتراضي فوسفات الحديد والليثيوم 8 أعوام.
 - جهاز التحكم لكفاءة التحكم في تتبع الشمس 99.9% وكفاءة التحكم في شحن البطارية 98.5% مع وجود وظيفة الربط على النت للتحكم في مرات التنظيف الذاتي.
- الشكلين (12, 13) يبينان أعمدة الطاقة الشمسية المفرد والمزدوجة كما بين الشكل(14) الطاقة المستهلكة من كشاف الليد بشكل شهري والطاقة المنتجة باللوح الشمسي.



الشكل: (12) وحدات إنارة مدعمة بخلايا شمسية على ارتفاع العمود وبالإضافة الى الخلايا التي في أعلى الكشاف



الشكل: (13) وحدات إنارة بالطاقة الشمسية مزدوجة



الشكل: (14) خرج اللوح الشمسي شهريا مع استهلاك كشاف الليد

دراسة الجدوى الاقتصادية.

للتأكد من الجدوى الاقتصادية لمشروع الطاقة الشمسية يلزم حساب تكاليف التوفير، والإيرادات، وذلك لحساب فترة استرداد رأس المال والعمر الاستثماري للمشروع مجموع الإيرادات المحققة من المشروع.

جدول (7) : حساب المسافة بين الاعمدة لبعض شوارع وطرق مدينة بنغازي بطريقة الليومن للإضاءة الشمسية.

عدد الكشافات	عدد الاعمدة	S	M	E _{ave}	F	U	W ₂	W ₁	الطريق
626	313	32	0.7	30	25000	0.44	3	16	الطريق الدائري الأول
894	447	28	0.7	30	25000	0.475	3	20	الطريق الدائري الثالث
1034	517	30	0.7	30	25000	0.41	2	16	الطريق الدائري الرابع
1036	518	28	0.7	30	25000	0.43	3	18	الطريق الدائري الخامس
3154	1577	26	0.7	30	25000	0.44	4	20	الطريق الدائري العاشر
1322	661	28	0.7	30	25000	0.475	3	20	طريق الجماهيرية
5354	2677	31	0.7	30	25000	0.53	4	20	طريق العروبة
174	87	25	0.7	30	25000	0.545	4	26	شارع موسى بن النصير
28	28	27	0.7	30	25000	0.46	2.5	10	ش. الجزائر بين جمال والجماهيرية
105	105	34	0.7	30	25000	0.44	3	15	ش. الفاتح من العروبة الى الضريح

41	41	29	0.7	30	25000	0.49	2	10	ش. عمرو بن العاص
27	27	26	0.7	30	25000	0.49	2	11	ش. الاسكندرية
20	20	30	0.7	30	25000	0.458	2.5	9	ش. احمد الشريف
39	39	23	0.7	30	25000	0.472	2.5	12	ش.جمال بين الكورنيش والجزائر

جدول (8): تكلفة معدات الإنارة العاملة بالطاقة الشمسية

ت	البيان	الوحدة	الكمية	سع الوحدة (\$)	إجمالي السعر (\$)
1	عمود إنارة ارتفاع 9 متر	عدد	5143	337.2	1734220
2	قاعدة خرسانية (60سم * 60سم * 100سم)	عدد	5143	232.4	1,115,520
3	زراع مفرد 2 متر	عدد	4,000	95.04	380,160
4	زراع مزدوج 2 متر	عدد	800	103.5	82,800
5	وحدة شمسية كاملة 140 وات (كشاف - الخلية - البطارية - تحكم - تنظيف ذاتي)	عدد	3286	1240	4074640
6	وحدة شمسية كاملة 120 وات (كشاف - الخلية - البطارية - تحكم - تنظيف ذاتي)	عدد	3,500	1136.4	3,409,200
7	لوحة تحكم إنارة عن بعد	عدد	144	3000	432,000
8	وحدة تحكم رئيسية	عدد	1	250,000	250,000
	التكلفة الرئيسية				
	11478540				
	تكلفة التركيبات والانشاءات 12 % من رأس المال				
	1377425				
	تكلفة الصيانة وتساوي 1%				
	114785				
	الاجمالي				
	10970750				

عدد سنوات استرداد رأس المال = كلفة المشروع الكهروضوئي / قيمة الكهرباء المستهلكة
نوياً.

عدد سنوات استرداد رأس المال = $10,970,750 / 1,992,824.5 = 5.5$ سنة.

العمر الاستثماري للمشروع = العمر الافتراضي - عدد سنوات استرداد رأس المال.

العمر الاستثماري للمشروع = $25 - 5.5 = 19.5$ سنة.

مجموع الإيرادات المحققة من المشروع = العمر الاستثماري * قيمة الكهرباء سنوياً

مجموع الإيرادات المحققة من المشروع = $19.5 * 1,992,824.5 = 38,860,077.75$

دولار.

الخلاصة:

من خلال هذه الدراسة يتبين مدى فاعلية وجدوى استخدام الإنارة بالطاقة الشمسية في مدينة بنغازي، وأن توظيف مثل هذه الطاقة له جدوى اقتصادية وبيئية وأمنية وندرج ذلك في هذه النقاط:

1- توطین استخدام الطاقة الشمسية في المدينة ونشر ثقافة التنوع في توفير الطاقة.

2- تخفيف العبء عن الشبكة العامة والمساهمة في خفض أحمال الذروة مما يسهم في إستقرار الشبكة.

3- توفير كمية من الطاقة الكهربائية والتي كانت تصرف على إنارة الشوارع وقدرها 653,350 ك.و.س.

4- تجنب انبعاث 2321 طن من غاز ثاني أكسيد الكربون و 2697 كجم من غاز أول أكسيد الكربون و 49,691 كجم من غاز ثاني أكسيد الكبريت و 11063 كجم من غازات وأكاسيد النيتروجين.

5- باستخدام الإنارة بالطاقة الشمسية تخفض نسبة الخطورة على السلامة العامة من الصعق، والتماس الكهربائي وخاصة في الحدائق العامة وقرب المدارس .

- 6- بالتصميم الجيد لتوزيع الانارة على طول وعرض الشارع، أو الطريق العام يقلل من الحوادث، وكذلك المساهمة في خفض نسب الجرائم.
- 7- الجدوى الاقتصادية لهذا المشروع تجلت أولاً في فترة استرداد رأس المال والتي بلغت 5.5 سنوات، ثم الإيرادات التي تحققت خلال العمر الاستثماري للمشروع حيث بلغت 38,860,077.75 دولار أي ما يقارب 188,082,776.3 دينار لبيي.

التوصيات:

1. ضرورة اهتمام الدولة بسرعة تبني الطاقة النظيفة في العديد من المجالات كالتبريد والتكييف والتسخين، وكذلك دعم الشبكة العامة للكهرباء بالمحطات الكهروضوئية لتقليل استنزاف النفط والغاز في توليد الكهرباء، حيث أنهما يعتبران المصدر الرئيسي للدخل في ليبيا.
2. دعماً لترشيد استهلاك الطاقة نوصي بضرورة اعتماد العزل الحراري للمباني المتضررة عند البدء في إعادة الإعمار .
3. كما نوصي باعتماد مواصفات المدن الخضراء عند الشروع في إعادة الإعمار .
4. كما نوصي بالبدء في إدخال تقنيات المدن الذكية لما لها من تأثير إيجابي على الحياة الاقتصادية والبيئية والاجتماعية والامنية حيث من خلال منظومة الانارة يمكن مراقبة الطرق والشوارع والتصوير عبر هذه التقنية.

المراجع:

- [1] **F. K. Bannani, T. A. Sharif, and A. O. R. Ben-Khalifa** " Estimation of monthly average solar radiation in Libya" Theor. Appl. Climatol. 83, 211–215 (2006).
- [2] **Awad S. Bodalal and Abdalhafid M. Ettajuri** " Improving the load curve of the Libyan Eastern electric network and CO2 reducing emissions by using solar cooling"289 May 2017 first conference .
- [3] **Ines Lima Azevedo, M. Granger Morgan, Fritz Morgan.** The transition to solid state lighting. Proceedings of the IEEE. 2009, Vol. 97, 3, pp. 481-510.
- [4] GECOL. GECOL Annual Report. Libya : s.n., 2010.
- [5] **Alberto Gutierrez-Escolar, Ana Castillo-Martinez, Jose M. Gomez-Pulido, Jose-Maria Gutierrez-Martinez, Zlatko Stacic, Jose-Amelio Medina-Merodio.**" A Study to Improve the Quality of Street Lighting in Spain". Energies. 2015, Vol. 2015, 8, pp. 976-994.
- [6] **nowak, Stefan.** 2015, TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS. IEA International Energy Agency. 2015. Report IEA-PVPS T1-27:2015.

- [7]. **Lina Al-Kurdia, Reem Al-Masria, A. Al-Salaymeh.**" Economical Investigation of the Feasibility of Utilizing the PV Solar Lighting for Jordanian Streets". Int. J. of Thermal & Environmental Engineering. 2015, Vol. 10, 1, pp. 79-85.
- [8] **Mokhtar Ali, Mohamed Orabi, Emad Abdelkarim, Jaber A. Abu Qahouq, Abdelali El Aroudi.**" Design and development of energy-free solar street LED light system". Jeddah : s.n., 2011. Innovative Smart Grid Technologies - Middle East (ISGT Middle East), 2011 IEEE PES Conference on. pp. 1-7.
- [9] **I. M. Saleh Ibrahim Al-Jadi, M. A. EKhlat, N. M. Krema.** Photovoltaic in libya applications and evaluation. Proceedings of the International Conference on Renewable Energy for Developing Countries. pp. 1-11.
- [10] **Charap, Joshua.** Libya: Selected Issues. International Monetary Fund. Washington, D.C : s.n., 2013. 13/151.
- [11] **Frances C. Moore, Delavane B. Diaz.** Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. Nature Climate Change. January 2015, Vol. 5, 2015, pp. 127-131.