استخدام طاقة الرياح في تغذية حمل صغير وبعيد عن الشبكة العامة للكهرباء

الحسن أبوبكر الزعلوك
كلية التقنية الصناعية- مصراته، قسم الهندسة الكهروميكانيكية، مصراته، ليبيا
Alhasan_alzaalok@cit.edu.ly

محمد أبوبكر أبوشيبة
كلية التقنية الصناعية- مصراته، قسم الهندسة الكهروميكانيكية، مصراته، ليبيا
mohmbkr5@gmail.com

محمد علي شتوان
كلية التقنية الصناعية- مصراته، قسم الهندسة الكهروميكانيكية، مصراته، ليبيا
shatwan@cit.edu.ly

عمر علي شنب
كلية التقنية الصناعية- مصراته، قسم الهندسة الصناعية، مصراته، ليبيا
omar_shaneb@yahoo.com

الملخص—**تعتبر طاقة الرياح من أسرع أنواع الطاقات المتجددة نموًا في وقتنا الحاضر، فبازدياد الطلب العالمي على الطاقة الكهربائية، وتجنب الاعتماد على المصادر التقليدية في توليد الكهرباء لوحدها، زاد الاهتمام باستغلال طاقة الرياح بشكل موسع لكي تساهم في الخليط الطاقي للعديد من دول العالم. وتأثرًا بهذا النمو وللدفع باتجاه استغلال مصادر الطاقات المتجددة في بلادنا، تم في هذا البحث دراسة جدوى استخدام طاقة الرياح لتغذية حمل كهربائي، مقارنة بالشبكة العامة للكهرباء. تتناول هذه الدراسة أداء أحد تطبيقات طاقة الرياح وجدوى استخدامها في تغذية برج اتصالات هاتف محمول قائم في منطقة نائية، ومقارنتها بالشبكة العامة للكهرباء وعرض تفاصيل كل مقترح في جانبين أحدهما فني والآخر اقتصادي. ومن خلال هذه الدراسة اتضح أن هناك أنواعًا من محطات طاقة الرياح ذات جدوى اقتصادية، خاصة عندما تكون الأحمال بعيدة عن (الشبكة العامة)، وأن معظم كلفة التغذية من الشبكة العامة هي بسبب الخطوط ومكوناتها، وعلى أثر هذه الاستنتاجات كانت بعض التوصيات التي يمكن أخذها بالاعتبار.**

الكلمات المفتاحية :**طاقة الرياح، الطاقة الكهربائية المنتجة، التوربينات، النموذج (Aeolos)، النموذج (ZEFIR).**

1. المقدمة

تعتبر طاقة الرياح من أشهر أنواع الطاقات المتجددة التي استغلها الإنسان منذ القدم؛ حيث بدأ مفهوم استغلالها وتحويلها إلى طاقات أخرى منذ آلاف السنين. ولكن مع التطور الذي حدث منذ بداية العصر الصناعي آلت طاقة الرياح إلى الاندثار؛ أي أنها تهمشت وذلك بسبب المحروقات الأحفورية رخيصة الثمن كالفحم والبترول، وكذلك بسبب اكتشاف الطاقة النووية في بعض البلدان. أما في وقتنا الحاضر والعقود القليلة الماضية ومع التوجه الحثيث الذي أقبل عليه العالم نحو الطاقات المتجددة، أثر التهديد الناتج عن انبعاث الغازات الدفيئة، وكذلك الخوف من نضوب الوقود الأحفوري، أصبح يشهد مجال استغلال طاقة الرياح تطورًا واهتمامًا كبيرين مقارنةً بالماضي، وخاصةً في مجال توليد الكهرباء.

لذلك بدأت العديد من دول العالم في تقييم مواردها من الطاقة النظيفة، ودراسة جدوى استغلالها اقتصاديًا مقارنةً مع مصادر الطاقة التقليدية الأخرى. ولقد زاد استغلال طاقة الرياح عالميًا، حيث بلغ النمو السنوي العالمي لهذه الطاقة 20% في عام 2013، وتمثل طاقة الرياح المنتجة في العالم ما نسبته 39% من إجمالي الطاقات المتجددة حسب إحصائيات عام 2012 [1]. وقد انحدرت تكلفتها بنسبة 66% بين عامي 2009 إلى 2016، ليصل متوسط سعر الكيلووات ساعة إلى ما يقارب 0.4 دولار عالميًا [2].

على الرغم من توافر مصادر الطاقات المتجددة في ليبيا، وخاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لم يتم استغلالهما إلا في بعض التطبيقات البسيطة، والتي لا تمثل إلا جزءًا ضئيلًا من استهلاك الطاقة في ليبيا [3]. ومن هنا يكتسب هذا البحث أهميته كونه يندرج ضمن محاور بحثية ذات أهمية عالمية ومحلية. أما من ناحية تطبيقية فإن أهميته تكمن في تبيان مدى إمكانية الاستفادة من طاقة الرياح في موقع الدراسة. ويهدف البحث إلى اقتراح استخدام أحد تطبيقات طاقة الرياح في تغذية حمل صغير ومعزول بمنطقة نائية، ودراسة جدوى هذا المقترح مقارنة بالاعتماد على شبكة الكهرباء العامة.

استلمت الورقة بالكامل في 30 ابريل 2019 وروجعت في 20 مايو 2019 وقبلت للنشر في 28 مايو 2019

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 31 مايو 2019

ب. الطاقة التي تنتجها توربينات الرياح

على الرغم من وجود طرق عدَّة لتصنيف توربينات الرياح، إلا أن الطريقة الأكثر شيوعًا والمستخدمة على نطاق واسع هي التصنيف على أساس محور الدوران، وتكون إما أفقية المحور أو ذوات محور رأسي.

وتقتصر الدراسة على التوربينات أفقية المحور، وهي توربينات ذات محور أفقي يكون عمود الدوران الرئيسي بها والمولد الكهربائي مثبتًا في الجزء العلوي من البرج وبشكل أفقي على مستوى سطح الأرض. ولكي يعمل هذا النوع من االتوربينات يجب أن يكون عضوه الدوار مواجهًا لمهب الريح [4]. يجب أن يشير تصنيف لوحة توربينات الرياح إلى قدرة توليدها أو أقصى حد لقدرتها، أي إنتاج الطاقة من التوربينات بالكيلووات، حيث الطاقة التي تنتجها توربينات الرياح في أي لحظة ترتبط بسرعة الرياح في تلك اللحظة. ويشير منحنى القدرة لتوربينات الرياح إلى الطاقة المنتجة عبر نطاق مدى التشغيل بأكمله للتوربينات. فإذا كانت توربينات الرياح تواجهها سرعة رياح منخفضة، عادة 3 إلى 4 م/ث فإنها ستنتج كمية قليلة من الطاقة الكهربية. وإذا انخفضت السرعة إلى مستوى لا يكفي لإنتاج طاقة كهربائية، يعمل المتحكم على إخراج التوربين والمولد من العمل. كما أن للتوربينات سرعة قطع أخرى يعمل عندها المتحكم على إخراج التوربين والمولد من العمل، وهي عند بلوغ سرعة رياح عالية جدًا؛ وذلك لحماية توربين الرياح من الانهيار أو التحطم [5].

ويمكن استخدام توربينات الرياح الصغيرة في عدة تطبيقات مثل المساكن، وأبراج الاتصالات، والمنصات البحرية، والمدارس والعيادات الريفية، والرصد عن بعد وغيرها، وهي التطبيقات التي تتطلب طاقة ولا يوجد بقربها شبكة كهرباء، أو الشبكة بجوارها غير مستقرة [6]. وهذا النوع من التوربينات كفاءته عالية وتأثيره بسيط على البيئة [7].

2. التغذية بطاقة الرياح مقارنة بالشبكة العامة

أ. الحمل المستهدف

في هذه الورقة تم اختيار برج اتصالات هاتف محمول (Telecom Tower) يقع في مدينة مصراتة كحمل مستهدف لتجرى عليه الدراسة. أقرب نقطة ربط بالشبكة العامة محول (11\33kV) يبعد حوالي 10km عن موقع الحمل. أما العمر الزمني للمشروع فيقدر بعشرين سنة. الجدول رقم (1) يوضح المواصفات الكهربائية لمعدات برج الاتصالات قيد الدراسة، ولقد تم الحصول على معظمها من مقر شركة ليبيانا للهاتف المحمول بمدينة مصراته.

جدول 1. المواصفات الكهربائية لمعدات برج الاتصالات [9]

المعدة	القدرة w	العدد	ساعات العمل h	الطاقة المستهلكة kw.h/day
وحدة الارسال والاستقبال (BTS)	920	1	24	22.080
خلية الميكرويف (Mic-cell)	45	1	24	1.080
وحدة المراوح (Fan unit)	180	1	24	4.320
مكيف هواء (conditioner)	1690	2	6.5	10.985
مصباح وامض (Flash light)	5	1	4	0.020
المجموع	2840			38.485
الاستهلاك السنوي				14047

3. التغذية باستخدام شبكة الكهرباء

جمعت تفاصيل هذا المقترح من مكتب التخطيط والتوزيع التابع لإدارة المنطقة الوسطى بالشركة العامة للكهرباء.

أ. الجانب الفني

مصدر الحقن لخط التوزيع الموصل إلى الحمل المستهدف محول توزيع (33\11)kV، يخرج منه خط هوائي 11 kV لمسافة 10km باتجاه الحمل، ثم يركب محول خفض (11\0.4) kV، يوصل خرجه بالحمل عن طريق خط هوائي 400V طوله 40m.

يعتمد عمر الأجزاء المكونة لخط التوزيع والمواد المكملة على البيئة المحيطة، ولكن يبقى العمر الافتراضي لأغلبها أطول من العمر المحدد ما لم تتعرض لأية مشاكل خارجية [10].

لاعتبارات ميكانيكية حددت المسافة بين الأعمدة بمقدار 50m بالنسبة لخط 11kV، و 40m بالنسبة لخط 400V.

يحدد نوع الأعمدة في خط 11kV بترتيب معين حسب المواصفات؛ بحيث يكون بعد كل 9 أعمدة خشبية برج حديدي فردي، ثم 9 أعمدة خشبية أخرى يليها برج حديدي زوجي، وهكذا إلى نهاية الخط [10].

ب. الجانب الاقتصادي

تم هنا تحديد تكلفة المواد المطلوب توريدها لإنشاء خطوط توزيع الطاقة الكهربائية وحساب إجمالي تكاليفها، بالإضافة إلى تكلفة الطاقة المستهلكة على النحو التالي:

- تكلفة إمداد خط هوائي 11kV لكل 1km، تتمثل في تكلفة التوريد والتركيب للمواد اللازمة لتمديد خط 11kV ، وتساوي 32,809.7 دينار [12].
- تكلفة محول هوائي (11\0.4kV) وملحقاته، وتساوي 7,006 دينار [12].
- تكلفة إمداد خط هوائي 400V لكل 40m، وتساوي 1,262.5 دينار [12].
- تضاف أيضًا تكلفة الطاقة التي سيستهلكها الحمل طيلة 20 عامًا، حيث يكلف الكيلو وات ساعة المنتج من قبل محطات التوليد العاملة في ليبيا (0.054 دينار) حسب التقرير السنوي الصادر عن الشركة العامة للكهرباء لعام (2010) [10].
- التكلفة الإجمالية

تكلفة تمديد خط 11kV = تكلفة كل 1km×10
32,809.7 × 10 = 328,097 دينار.

تكلفة إمداد خط 400V = تكلفة كل 40m × 1 1,262.5 × 1
= 1,262.5 دينار.

تكلفة الملحقات = 7,006 دينار.

تكلفة الطاقة = 0.054 دينار×20 سنة × كمية القدرة المستهلكة سنويًا
0.054 × 20 × 14047 = 15,170.76 دينار.

التكلفة الإجمالية = تكلفة تمديد خط 11kv+ تكلفة إمداد خط 400v + تكلفة الملحقات + تكلفة الطاقة .
328097 + 1262.5 + 7006 + 15170.76= 351,536 دينار.

4. التغذية باستخدام طاقة الرياح

أ. الجانب الفني

تتوقف إمكانية توفير الكهرباء لحمل معزول بواسطة توربين رياح، أساسًا على كثافة طاقة الرياح في الموقع، وعلى الاختيار المناسب لحجم التوربين ومواصفاته. ولهذه الدراسة تم ترشيح مقترحين من النوع المفصول عن الشبكة (Grid-off) لغرض اختيار أنسبهما لتغذية الحمل المستهدف.

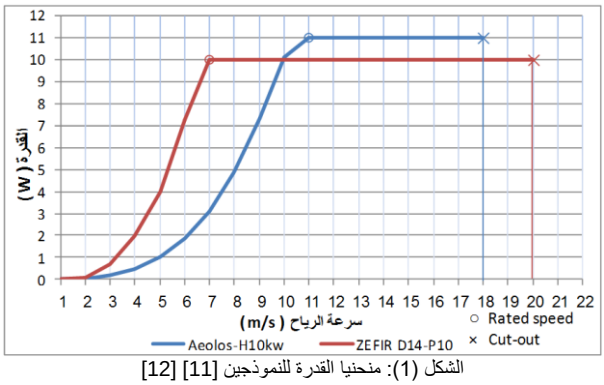
النموذج الأول (Aeolos-H10kw)، وهو عبارة عن توربين رياح أفقي المحور من تصميم وتصنيع شركة (Aeolos Wind Turbine)، القدرة المقننة للتوربين هي11kW، ويعتبر من صنف التوربينات الصغيرة من ناحية التصميم ومبدأ العمل. يبلغ العمر الافتراضي المحدد من قبل الشركة المنتجة 20 عامًا. أما النموذج الثاني فهو ZEFIR D14-P10-T10، يتم إنتاجه من قبل شركة (DR ZĄBER LLC)، وهو أيضًا من عائلة التوربينات الأفقية. قدرته المقننة هي 10kW، ومن ناحية التصميم يعتبر هذا التوربين هجينًا بين التوربينات الصغيرة والكبيرة، إذ تم تزويده بنظام توجيه كهربائي (Yaw System)، ونظام تحكم في الريش (Pitch Control) لتغيير زاوية الخطوة بشكل أفضل على غرار أغلب التوربينات الصغيرة. الجدول رقم (2) يوضح أهم مقننات ومواصفات النموذجين الأول والثاني، والتي تم الحصول عليها بمراسلات إلكترونية مع المدير التنفيذي لشركة (DR ZĄBER LLC) المصنعة لمحطة طاقة الرياح ZIFER D14-T18-P10، ومكتب المبيعات بشركة (Aeolos Wind Turbine) المصنعة لمحطة طاقة الرياح (Aolos-H10kw).

جدول (2): مقارنة مواصفات النموذجين

	المواصفات	ZEFIR D14-P10-T10	Aeolos-H10kw
مواصفات أساسية	القدرة المقننة	10 kw	11 kw
	عدد الريش	3	3
	السرعة المقننة	7.2 m/s	10 m/s
المولد	نوع المولد	PMG	PMG
	السرعة المقننة	60 rpm	200 rpm
	نظام التعشيق	تعشيق مباشر	تعشيق مباشر
الوزن والأبعاد	ارتفاع البرج	18 m	18 m
	قطر الجزء الدوار	14 m	7.5 m
	الوزن فوق البرج	2927 kg	720 kg

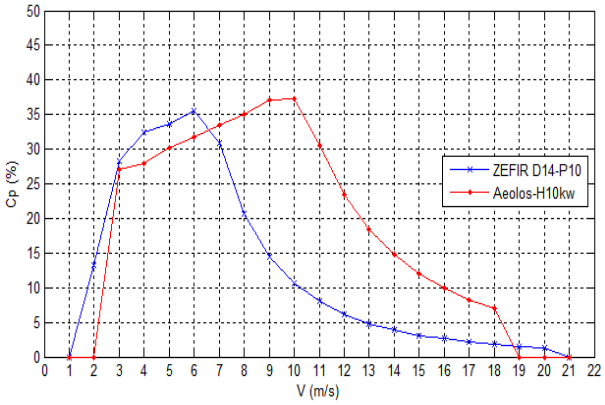
- منحنيات الأداء

يوضح الشكل رقم (1) القدرة مع سرعة الرياح.



الشكل (1): منحنيا القدرة للنموذجين [11] [12]

يوضح الشكل رقم (2)؛ منحنى معامل القدرة لطاقة الرياح (الكفاءة) مع تغير السرعة.



الشكل (2): منحنيا كفاءة النموذجين [11] [12]

- حساب متوسط سرعة الرياح

باعتبار أن ارتفاع برجي النموذجين متساويان بمقدار 18m، ومتوسط سرعة الرياح في الموقع هو 6.8m/s و6.6m/s، على ارتفاع 50m و40m على التوالي [8]، ولتقدير متوسط سرعة الرياح عند مستوى قبة التوربين، باستخدام معادلتين مشهورتين لحساب متوسط سرعة الرياح عند ارتفاع برجي التوربينين، وهما المعادلة الأسية واللوغاريتمية:

$$V_Z = V_r [Z/Z_r]^{a} \quad (1)$$

$$V_Z / V_r = [\ln(Z/ Zo) / \ln(Zr / Z_o)] \quad (2)$$

حيث أن (V_Z) هي سرعة الرياح عند الارتفاع (Z). (V_r) سرعة الرياح المرجعية عند الارتفاع (Zr). (a) معامل خشونة سطح الأرض، (Z_o) طول خشونة السطح. وحسب خشونة التضاريس في موقع الدراسة فرض أن (a= 0.12)، ($Z_0 = 0.05$). وللحصول على قيمة مرضية أخذ متوسط النتائج لكل من المعادلتين بدلالة كلا الارتفاعين [4].

1- بدلالة متوسط السرعة عند (50m):

$V_{Z.1} = V_r (Z/Z_r)\, a = 6.8(18/ 50)0.12 = 6.01m/s$

$V_{Z.2} = [\ln(18/0.05) / \ln(50/0.05)]*6.8 = 5.79m/s$

2- بدلالة متوسط السرعة عند (40m):

$V_{Z.3} = 6.6\ (18/40\ )0.12 = 5.99m/s$

$V_{Z.4}= [\ln(18/0.05) / \ln(40/0.05)]*6.6=5.81m/s$

3- متوسط سرعة الرياح عند ارتفاع (18m):

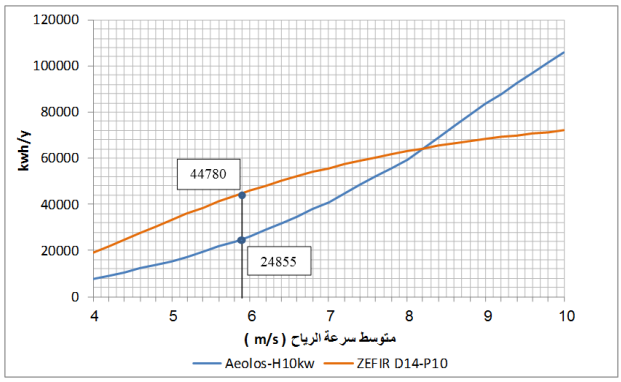
$V_{mean} = (6.01+5.79+5.99+5.81)/4 = 5.9m/s$

4- الطاقة السنوية المولدة عند (V_{mean} =5.9m/s):

من منحنيي الطاقة السنوية المنتجة لكلا النموذجين، وعند متوسط سرعة رياح 5.9m/s، كما هو مبين بالشكل (3)، وجد أن الإنتاج السنوي للنموذج (ZEFIR) يساوي 44780kwh/y [15]، والنموذج (Aeolos) يصل إنتاجه إلى ما يقارب 24850 kwh/y [14].

ب. الجانب الاقتصادي

تم الحصول على مجمل التكاليف من مصدر كل نموذج بنفس المراسلات الالكترونية المذكورة أعلاه كما هي موضحة بالجدول (3).



شكل (3): منحنى الطاقة السنوية المنتجة [11] [12]

جدول(3): تكاليف التغذية باستخدام طاقة الرياح

Aeolos (د.ل)	ZEFIR (د.ل)	البيان
35,540	125,900	تكلفة محطة القوى
7,100	25,100	تكلفة الإنشاء والتركيب
22,000	50,000	اجمالي التكاليف السنوية
64,640	201,000	التكلفة الإجمالية
0.13	0.22	تكلفة الطاقة المولدة (kwh)
0.23	0.71	تكلفة الطاقة المستهلكة (kwh)

حيث أن:

التكلفة الإجمالية = تكلفة المواد + تكلفة التركيب + (التكلفة السنوية للصيانة والإهلاكات × 20 سنة).

تكلفة الطاقة المولدة = التكلفة الإجمالية\ (مقدار التوليد السنوي×20سنة).

تكلفة الطاقة المستهلكة = التكلفة الإجمالية\ (مقدار التوليد السنوي×20سنة).

5. النتائج والمناقشة

يبلغ الاستهلاك السنوي لبرج الاتصالات الذي تم اعتباره كحمل مستهدف من هذه الدراسة 14047kwh سنويًا، بمتوسط استهلاك يومي قدره 38.485kwh، بينما وصل أقصى حمل للبرج إلى 2840W من دون الأحمال العابرة التي تنشأ بسبب تيارات بدء التشغيل.

في المقترح الأول كان لتكلفة إمداد خط 11kv النصيب الأكبر من التكلفة الإجمالية مقارنة بتكلفة خط 400v، وذلك بسبب تعدد المواد والمعدات المكونة للخط وارتفاع أسعار بعضها مثل الأبراج الحديدية وعوازل الشد التابعة لها.

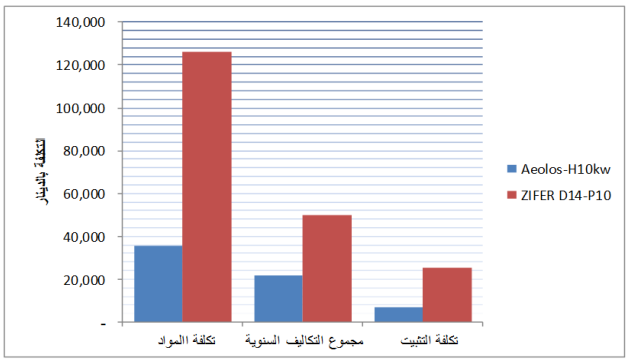
في المقترح الثاني، وعند مقارنة منحنى القدرة لكلا النموذجين، نجد أن النموذج (ZEFIR) يتميز بوصول مبكر إلى السرعة المتقنة(Rated speed) وعند سرعة رياح أبطأ مقارنةً بنظيره الآخر، والسبب في ذلك يكمن بالدرجة الأولى في طول الشفرات الذي يكاد يبلغ ضعف طول شفرات النموذج الآخر.

السبب وراء انخفاض مستوى الإنتاج السنوي للنموذج (Aeolos) عند متوسط سرعة ما بين 4m/s إلى 8m/s كما هو واضح بالشكل (3)، هو انخفاض القدرة المولدة عند تلك السرعات، بينما تفوق على النموذج الآخر عند الاقتراب من متوسط سرعة رياح 10m/s، وذلك بسبب أن هذا النموذج يبدأ بإنتاج قدرته المقننة 11kw عند سرعة 10m/s

وصول منحنى كفاءة النموذج (ZEFIR) إلى قمته عند سرعة رياح أبطأ بالمقارنة مع النموذج الثاني، سبب ذلك هو الوصول المبكر إلى السرعة المقننة.

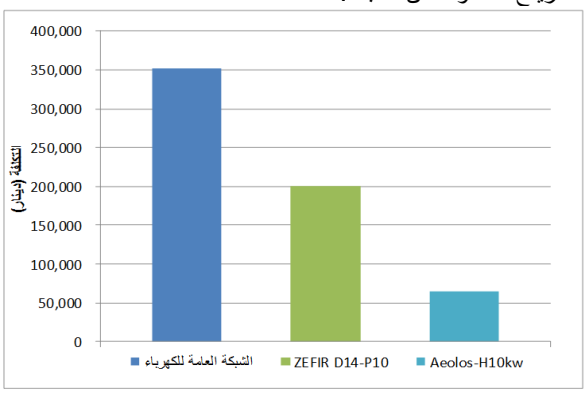
من ناحية فنية، عند مقارنة الاستهلاك السنوي للحمل مع كمية الطاقة المولدة سنويًا من كلا النموذجين، فإنه يفضل استخدام النموذج (Aeolos) ليكون مصدر التغذية بدلاً من النموذج (ZEFIR)؛ وذلك بسبب أن هذا الاختيار كافٍ لضمان توفير الطاقة الكهربائية المستحقة من قبل الحمل طيلة أيام السنة وبأقل فقد ممكن في الطاقة المولدة مقارنة بالنموذج (ZEFIR)، وذلك شرط تزويد الموقع ببنك بطاريات ذي حجم ونوعية جيدة لتخزين الطاقة الفائضة، بحيث تكفي لتغذية الحمل عدة أيام في حال حدوث سكون في حالة الطقس وسرعة الرياح.

المدرج التكراري في شكل (4) يبين جميع التكاليف المتعلقة بمقترح استخدام طاقة الرياح.



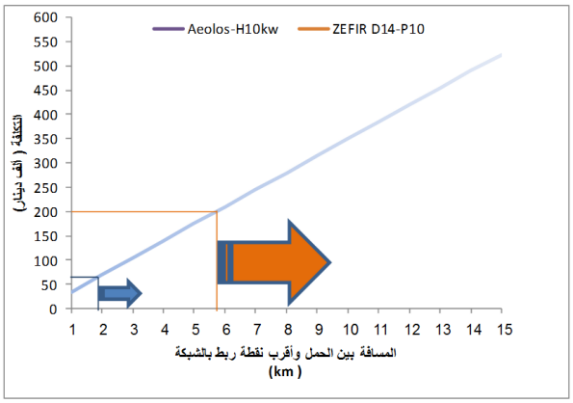
شكل 4. تكاليف النموذج (Aeolos) والنموذج (ZEFIR)

يوضح (شكل 5) إجمالي تكاليف مشروع تغذية برج اتصالات في منطقة نائية عن طريق الشبكة العامة للكهرباء، أو باستخدام محطة قوى طاقة رياح مفصولة عن الشبكة.



شكل 5. تكاليف مختلفة لمشروع تغذية برج اتصالات

يوضح (شكل 6) تأثير طول المسافة بين الحمل ونقطة التغذية على التكاليف، أي العلاقة بين مسافة بعد الحمل عن شبكة الكهرباء، وبين تكلفة تمديد خط الجهد المنخفض إلى الحمل، ومن الشكل أيضا يتضح مدى إمكانية استخدام نموذجي طاقة الرياح في تغذية حمل ما على نحو اقتصادي.



شكل 6. العلاقة بين تكلفة توصل الحمل بشبكة الكهرباء والمسافة بينهما

6. الاستنتاجات

أ. تتركز تكلفة إمداد الخطوط الهوائية ذات الجهود المنخفضة أساسًا على تكلفة مكونات خط 11KV، حيث بلغت تكلفة إمداد الكيلومتر الواحد منه إلى ما يقارب 33,000 دينار.

ب. إن تطبيقات طاقة الرياح المفصولة عن الشبكة (Grid-off)، يمكنها أن تكون حلاً بديلاً عن شبكة الكهرباء العامة من ناحية اقتصادية في مسألة تغذية الأحمال المعزولة في الأرياف و المناطق النائية.

ج. بناءً على متوسط سرعة الرياح الذي تم حسابه في موقع الحمل، يمكننا القول بأن النموذج (Aeolos)، هو الخيار الأجدى فنيا واقتصاديا لمقترح التغذية باستخدام طاقة الرياح مقارنة بالنموذج (ZEFIR).

د. كلما زاد طول شفرات برج توربين الرياح، زادت معه قدرته على الوصول إلى السرعة المقننة في سرعات رياح أبطأ، وبالتالي إنتاج وتوليد طاقة كهربائية أكبر خلال عمره الافتراضي.

ه. إن التغير الحاصل في زاوية الخطوة بريش توربينات الرياح والخسائر المتعلقة بالتصميم، تعتبر هي السبب الرئيسي في تغير كفاءة توربينات الرياح بشكل مستمر مع اختلاف سرعة الرياح.

و. يعد سبب اتساع قطر المولدات التزامنية المباشرة في توربينات الرياح الصغيرة، هو الزيادة في عدد أقطاب العضو المنتج، وذلك لكي تستطيع توليد قدرتها المقننة عند سرعات أبطأ، ودون الحاجة إلى صندوق تروس.

ز. يمكن لطاقة الرياح أن تكون أحد الحلول التي يمكن استخدامها في معالجة انخفاض الجهد الحاصل في الشبكة العامة للكهرباء في ليبيا.

ح. من الصعب أن تكون تطبيقات طاقة الرياح المعزولة حلاً ذا جدوى اقتصادية في توفير الكهرباء في المناطق الحضرية والقريبة من الشبكة العامة للكهرباء.

7. التوصيات

أ. إذا كان هناك مستويات متدنية من سرعة الرياح ولفترات طويلة في بعض الشهور من السنة، يعجز فيها النموذج الأول عن توفير الطاقة الكهربائية اللازمة لتغذية الحمل فإننا نوصي باستخدام النموذج (ZEFIR) بدلاً منه، أو توفير مصدر احتياطي آخر للدعم.

ب. لزيادة فاعلية وأداء النموذج (Aeolos) يمكن أيضا زيادة طول برج التوربين للابتعاد أكثر عن خشونة سطح الأرض واستقطاب مقدار أكبر من طاقة الرياح.

ج. نوصي باستخدام أجهزة تكييف تعمل على جهد كهربائي مستمر (DC) في محطة برج الاتصالات الأرضية، بدلا من مكيفات الهواء التي تعمل بجهد متردد(AC)، وذلك بغية الاستغناء عن العاكس والوظيفة التي يقوم بها. فهذا الأمر من شأنه ان يخفض تكاليف محطة طاقة الرياح بنسبة جيدة.

د. في التطبيقات السكنية المعزولة والمغذاة بطاقة الرياح، نوصي باستخدام سخانات مياه كهربائية مثلاً كبديل عن حمل التصريف للاستفادة من أكبر قدر ممكن من الطاقة الفائضة من توربين الرياح.

ه. استخدام برامج المحاكاة لتسهيل فهم أداء تطبيقات طاقة الرياح والدوائر الكهربائية المكونة لها.

و. إجراء دراسة فنية واقتصادية على التطبيقات الهجينة ومقارنتها بالتطبيقات المعتمدة على طاقة الرياح لوحدها.

ز. تركيز البحوث والدراسات مستقبلاً على كيفية التقليل من تكلفة سبل استغلال طاقة الرياح في ليبيا ومصادر الطاقة المتجددة الأخرى، لتكوين خليط طاقي جديد يساهم في دفع عجلة التنمية.

ح. في ظل التطور في معدات جمع بيانات طاقة الرياح وتيسير اقتنائها والتعامل معها، نوصي بإجراء حملة قياس لسرعة الرياح في جميع المدن الليبية، وتكوين قاعدة بيانات يمكن الاعتماد عليها في تقديم نتائج دقيقة وموثوقة من قبل الباحثين في هذا المجال.

المراجع

1. S. Brusca, A new statistical based energetic-economic methodology for wind turbine systems evaluation, Energy Procedia, 45 (2014), pp. 180–187.
2. LAZARD, levelized cost of energy analysis version-10.0, (2016).
3. عمر شنب، منصور زغينين، ستار العيساوي، ومحمد شتوان، معوقات استخدام الطاقات المتجددة في ليبيا، المؤتمر الدولي الأول في مجال الهندسة الكيميائية والنفطية وهندسة الغاز، الخمس-ليبيا، 20-22 ديسمبر 2016.
4. جون ووكر، نيكولاس جنكن، تقنية طاقة الرياح، ترجمة وداد الأسطى، الهيئة القومية للبحث العلمي، 2003.
5. Doug Reinemann, Jenny Heinzen, How Do Wind Turbines Generate Electricity, Midwest Rural Energy Council (MREC), February (2014).
6. ماجد كرم الدين حمود، رياح التغيير في أنظمة الطاقة العالمية والعربية، الكهرباء من الرياح، المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، 2008.
7. Suzan Abdelhady, Domenico Borelloc, Simone Santoric, Economic feasibility of small wind turbines for domestic consumers in Egypt based on the new Feed-in Tariff Energy Procedia, 75, (2015), pp. 664 – 670.
8. Mustafa Sofia, Promoting wind energy in Renewable Energy Authority of Libya (REAOL).
9. Firas Shaher. Hassan Snoubar, Techno Economic Feasibility of Energy Supply of Tower Communication Systems in Palestine by PV-Hybrid system, An-Najah National University Faculty of Graduate Studies, (2013).
10. حسن القمودي، دراسة جدوى لتغذية مرسى البريقة بالكهرباء، كلية التقنية الصناعية مصراته، 2012.