دراسة ومحاكاة توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الرياح بمنطقة مطار طرابلس الدولي - ليبيا

أ. نافع أحمد البهلي^{1*} ، أ. محمد محمود الحنيش² ، د. طارق أحمد الصالح³

^{3,2,1} كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، ليبيا

* Nafaa.albohli@gmail.com

المخلص

تمت دراسة ومحاكاة متاحة استخدام الرياح لتوليد الكهرباء في منطقة مطار طرابلس الدولي بليبيا. متاحة توربينات الرياح تتغير من موقع إلى آخر، معتمد في ذلك على مصدر الرياح وسرعتها، وكذلك نوع هذه التوربينات (توربينة أفقية المحور وتوربينة عمودية المحور)، وسرعة بداية التشغيل وسرعة إيقاف التشغيل.

متاحة توربينات الرياح يمكن أن يتم التنبؤ بها باستخدام المنهجية المتبعة في النموذج الرياضي الذي تم استخدامه بهذا البحث. في هذا البحث تمت دراسة المتغيرات المشار إليها أعلاه خلال نموذج إحصائي، باستخدام المتوسط الشهري لبيانات سرعة الرياح المتاحة لدي فريق الإرساد الجوي بالمطار للعامين 2008 و2009.

أوضحت النتائج أن زيادة ارتفاع محور دوران التوربينة سوف يحسن من المتاحة. وتبين من خلال الدراسة أن المتاحة تكون أفضل عند استخدام توربينة المحور الأفقي مقابل توربينة المحور العمودي، وتحسن قيمة المتاحة كلما كانت سرعة بداية التشغيل أصغر، بينما تبقى قيمة المتاحة ثابتة حتى لو كانت سرعة إيقاف التشغيل كبيرة.

الكلمات الرئيسية: توربينات الرياح؛ المتاحة؛ بيانات سرعة الرياح.

Abstract

The use of wind to generate electricity in the Tripoli International Airport region of Libya has been studied and simulated. The availability of wind turbines varies from location to location, depending on the wind source and speed, as well as the type of turbines (horizontal axis turbine and vertical axis turbine), the starting speed and the shutdown speed.

The availability of wind turbines can be predicted using the methodology used in the mathematical model used in this research. In this research, the above-mentioned variables were examined during a statistical model, using the average monthly wind speed data available to the airport meteorology team for 2008 and 2009.

Results showed that increasing the height of the turbine axle will improve the availability. The study found that the availability is better when using the horizontal axis turbine versus the vertical axis turbine, and the availability value improves the lower the cut in speed, while the availability value remains constant even if the cut-out speed is high.

المقدمة

تُعتبر طاقة الرياح من الطاقات الآمنة في مجال الطاقات المتجددة، وهي طاقة بيئية لا يصدر منها ملوثات مضرّة بالبيئة، ويتجه العالم الآن بعد ظاهرة الاحتباس الحراري فضلاً عن التلوث البيئي لاعتماد مصادر الطاقة المتجددة كمصادر طاقة بديلة وللتخفيف من استخدام الوقود الأحفوري؛ ولهذه الأسباب يسعى التقدم التقني إلى خفض تكلفة توليد الكهرباء باستخدام الطاقة المتجددة لتوسيع انتشارها (المعرفة، 2019).

أظهرت الإحصائيات في مجالات الطاقة المتجددة أن تقنية استخدام الرياح لتوليد الطاقة الكهربائية هي أسرع مصادر توليد الكهرباء الجديدة نمواً على الصعيد العالمي (على بن محمد المقر، 2010).

تتميز طاقة الرياح بأنها طاقة محلية متجددة لا ينتج عنها غازات تسبب ظاهرة الاحتباس الحراري أو ملوثات، مثل ثاني أكسيد الكربون أو أكسيد النتريك أو الميثان التي تنتج من عمليات توليد الكهرباء بالوقود الأحفوري. وأظهرت دراسات سابقة أن ما يقارب من 95% من الأراضي المستخدمة كحقول للرياح يمكن استخدامها في أغراض أخرى مثل الزراعة أو الرعي، كما يمكن وضع التوربينات فوق المباني العالية. وعلى الرغم من ميزات الطاقات البديلة إلا أن ما يبرز من عيوبها هو أن التأثير البصري لدوران

التوربينات والضوضاء النسبية الصادرة عنها قد تزعج الأشخاص القاطنين بجوار حقول الرياح، ولتقليل هذه التأثيرات يُفضل إنشاء حقول الرياح في مناطق بعيدة عن المناطق السكنية، كما تتسبب التوربينات العملاقة أحياناً فيقتل بعض الطيور خاصة أثناء فترات هجرتها، ويتم حالياً دراسة تأثيرها على انقراض بعض أنواع الطيور، ولكن النتائج المبدئية تشير إلى أن التوربينات ليس لها هذا التأثير الشديد

إن تشغيل توربينات الرياح لغرض توليد الكهرباء يعتمد على المتاحية، وتُعرف متاحية توربينة الرياح بالجزء من الزمن الذي تكون فيه التوربينة متاحة لإنتاج قدرة. وبالنسبة لتوربينات الرياح الحديثة، فإن قيمة المتاحية النموذجية تتراوح ما بين (95 - 99%)، وهذه القيمة هي أفضل من مثيلاتها للعديد من محطات توليد القدرة التقليدية. وأن النسبة المفقودة هي (1 - 5%) من الزمن الذي تكون فيه التوربينة غير متاحة لإنتاج القدرة تكون بسبب إجراءات أعمال الصيانة والتوقف. وتُنتج القدرة المستفادة من التوربينة فقط ما بين سرعة بدء تشغيل التوربينة ($V_{cut.in}$)، وسرعة إيقاف تشغيل التوربينة ($V_{cut.out}$) (جون ووكر ونيكولاس جنكن، 2003).

استخدام توربينات الرياح لتوليد الكهرباء يُعتبر أحد اكتشافات القرن العشرين، حيث بدأ هذا الاستخدام بتوليد قدرات منخفضة لتطبيقات مثل شحن النضائد. وفي بداية عقد السبعينيات 1970، أثارت الصدمة الأولى لأسعار النفط الانتباه لأهمية مصادر الطاقة البديلة، ووجهت العديد من الدول اهتماماً كبيراً لبحث وتطوير تقنيات توربينات الرياح الحديثة. كما أن الاهتمام المتزايد بالبيئة منح دفعة إضافية للبحث عن مصادر طاقة نظيفة وأهمها طاقة الرياح، وشجع هذان العاملان الاهتمام بتوليد القدرة الكهربائية عن طريق محطات قدرة كبيرة من الرياح (جون ووكر ونيكولاس جنكن، 2003).

إن قبول محطة توليد الكهرباء باستخدام الرياح يعتمد بشكل كبير جداً على قبول، وإقناع الرأي العام بالمحافظة على مخزون الوقود التقليدي محدود المصادر، وإلى خفض مستوى الانبعاثات الضارة الناتجة عنه. كما أن إعداد برنامج تعليمي قد يكون ضرورياً لتحفيز وتشجيع استغلال طاقة الرياح كجزء من التشجيع للاستغلال الموسع لمصادر الطاقة البديلة (جون ووكر ونيكولاس جنكن، 2003).

عالمياً أصبح مصدر طاقة الرياح هو السائد واللاعب المهم في أسواق العالم للطاقة اليوم، فقد أصبح أكثر من سبعين بلداً حول العالم تضع أولويات استخدام طاقة الرياح كما هو موضح في الجدول (1)، (Unwin, 2019).

جدول (1): يبين استخدام بعض الدول الصناعية لطاقة الرياح في توليد الطاقة الكهربائية

الدولة	الطاقة المنتجة بالقياسات (GW)
الصين	221
الولايات المتحدة الأمريكية	96
ألماني	60
الهند	25
أسبانيا	23
المملكة المتحدة	21
فرنسا	15
البرازيل	14.5
كندا	13
إيطاليا	10

تقنية التحكم في القدرة لتوربينات الرياح

توربينات الرياح لها نظام تحكم في القدرة ابتداءً من السرعة المقننة (rated speed) إلى توقف التوربينة، والسرعة المقننة هي أصغر سرعة يصل إليها التوربين إلى أكبر قدرة. يوجد نوعان لأنظمة التحكم في التوربينات، حسب شرح (جون ووكر ونيكولاس جنكن، 2003) وهما:

نظام الانهيار (stall regulated): وفيه يكون توزيع زاوية الانحدار على طول الريشة ثابتاً لجميع سرعات الرياح، ويتميز بأنه بسيط ولا يتطلب أي نظام تحكم.

نظام الخطوة (pitch regulated): حيث يمكن أن تدور الريش حول محور قطري خلال عمل التوربينة كلما تغيرت سرعة الرياح، وبالتالي فإنه بالإمكان الوصول إلى زاوية الانحدار المثلى تقريبا عند جميع سرعات الرياح والحصول على سرعة بداية تشغيل منخفضة نوعاً ما وعلى سرعة إيقاف تشغيل مرتفعة. وفي بعض التصاميم يكون الجزء الخارجي فقط للريش متحركاً. نظام الخطوة تكلفته عالية ويتطلب نظام تحكم معقد نوعاً ما ولكنه أكثر كفاءة من نظام الانهيار. (أحمد خليفة ووداد الأسطى 2008) قاما بنمذجة الطاقة الخارجة من مجموعة توربينات الرياح ومن ضمن حساباتهما متاحة عدد من توربينات الرياح لمتوسط سرعات رياح وهي $(4,5,6,7 \text{ m/s})$ ، حيث وجد أن المتاحة تزداد بزيادة سرعة الرياح وهذا يتطابق مع نتائج الورقة البحثية.

الهدف الرئيسي من هذه الورقة هو دراسة تأثير توربينات الرياح من حيث ارتفاع المحور والنوع وسرعة بداية التشغيل (V_{ci}) وسرعة إيقاف التشغيل (V_{co}) على المتاحة لمعرفة إمكانية استخدام توربينات الرياح لتوليد الكهرباء، وكذلك اختيار التوربينة الأفضل للموقع المحدد.

النموذج الرياضي

الغرض الرئيسي من هذا النموذج هو حساب متاحة توربينات الرياح لتوليد الكهرباء بمنطقة مطار طرابلس بليبيا، التي تقع جنوب مدينة طرابلس بحوالي 20Km ، موضح في الشكل (1) المأخوذ من مرجع خريطة ليبيا. في هذه الورقة استخدم المتوسط الشهري لبيانات سرعة الرياح للعام 2008 و 2009 عند ارتفاع (10m) فوق مستوى الأرض المتحصل عليها من المركز الوطني للأرصاد الجوية بليبيا (2014)، موضح في الشكل (2) والشكل (3). موقع الدراسة أختير له طول خشونة السطح $(Z_0 = 0.12\text{m})$ التي تمثل أرض زراعية مع مباني وحواجز موضحة في الجدول (4). مواصفات توربينات الرياح افقية المحور التي تم تطبيقها موضحة في الجدول (2)، (Wind power, 2007) و كذلك مواصفات توربينات الرياح عمودية المحور التي تم تطبيقها في الجدول (3) (Ecopowerusa, 2006).

شكل (1): مطار طرابلس - ليبيا.

شكل (3): المتوسط الشهري لسرعة الرياح

لسنة 2009.

شكل (2): المتوسط الشهري لسرعة الرياح

لسنة 2008.

جدول (2): مواصفات توربينات الرياح أفقية المحور

المُصنع	توربينة الرياح	P_{rated} KW	D M	H_{hub} M	V_{ci} m/s	V_{co} m/s	V_r m/s	تقنية التحكم في القدرة
Bonus	1MW, 54.2m	1000	54.2	60	4	25	20	خطوة
Bonus	300KW MK II	300	33	40	4	25	13.43	انهيار
Nordex	N50/800	800	50	60	4	25	13.9	انهيار
Nordex	N70/1500	1500	70	75	4	25	13	خطوة

Nordex	N77/1500	1500	77	75	4	20	12	خطوة
Suzlon	S.64/1000	1000	64	72	3	25	11	خطوة

(P_{rated}) : القدرة المقننة، (D) : قطر الدوار، (H_{hub}) : ارتفاع المحور، (V_{ci}) : سرعة بداية التشغيل،

(V_{co}) : سرعة إيقاف التشغيل، (V_r) : السرعة المقننة للرياح.

جدول (3): مواصفات توربينة الرياح عمودية المحور من نوع الدايوس

المُصنع	توربينة الرياح	P_{rated} KW	D M	H m	B M	H_{hub} M	V_{ci} m/s	V_{co} m/s	V_r m/s
FloWind	FloWind 19m	300	19.2	30.8	4.6	17.7	6.5	24	22

(D) : قطر التوربين، (h) : ارتفاع التوربين، (B) : ارتفاع القاعدة.

هناك عدة طرق لحساب متاحية توربينات الرياح، ومن أهمها طريقة مانويل المستخدمة بهذا البحث (Manwell et al., 2010):

- تحويل سرعة الرياح من الارتفاع المرجعي (ارتفاع جهاز الانيمومتر) إلى ارتفاع محور توربينة الرياح باستخدام الدالة اللوغاريتمية (القانون اللوغارتمي) من المعادلة (1).

$$\frac{V_{(Z)}}{V_{(Z_r)}} = \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) / \ln\left(\frac{Z_r}{Z_0}\right) \quad (1)$$

حيث $V_{(Z)}$ سرعة الرياح عند الارتفاع Z ، $V_{(Z_r)}$ سرعة الرياح عند الارتفاع المرجعي Z_r حيث $(Z_r = 10m)$ و Z_0 طول خشونة السطح الذي يعتمد على موقع الدراسة، موضحة بشكل عام في الجدول (4) (جون ووكر ونيكولاس جنكن، 2003). علماً بأن القيمة التي تم استخدامها هي $(Z_0 = 0.12m)$.

جدول (4): الطول النموذجي لخشونة السطح لحساب التوزيع الرأسي لسرعة الرياح

نوع السطح	طول خشونة السطح $Z_0(m)$
المساحات المائية	0.001
أرض مفتوحة، وبعض المعالم السطحية	0.05
أرض زراعية مع مباني وحواجز	0.12
أرض زراعية مع الكثير من الأشجار والغابات الأخرى	0.3

- متوسط سرعة الرياح عند ارتفاع محور توربينة الرياح $(\bar{V}_{(Z)})$ يُحسب من المعادلة (2).

$$\bar{V}_{(Z)} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{(Z)_i}}{N} \quad (2)$$

حيث N عدد بيانات سرعة الرياح، $V_{(Z)_i}$ سرعة الرياح عند ارتفاع محور توربينة الرياح للقراءة i .

- الانحراف المعياري لسرعة الرياح عند ارتفاع محور التوربينة $\sigma_{V_{(Z)}}$ يُحسب من المعادلة (3).

$$\sigma_{V_{(Z)}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N V_{(Z)_i}^2 - N\bar{V}_{(Z)}^2 \right]} \quad (3)$$

- معامل الشكل اللابعدى (K) لمتوسط سرعة الرياح يُحسب من المعادلة (4).

$$K = \left[\frac{\sigma_{V_{(Z)}}}{\bar{V}_{(Z)}} \right]^{-1.086} \quad (4)$$

- معامل القياس (C) يُحسب من المعادلة التجريبية (5).

معامل القياس أو الخاصية المميزة لسرعة الرياح، هو متغير السرعة الذي يعتمد على متوسط سرعة الرياح عند موقع الدراسة.

$$C = \bar{V}_{(Z)} \left[0.568 + \frac{0.433}{K} \right]^{\frac{1}{K}} \quad (5)$$

- متاحية توربينات الرياح تُحسب من المعادلة (6) (Ahmed Khaliefa and Wedad Elost,) (2008).

$$F(V_{ci} \leq V \leq V_{co}) = EXP \left[- \left(\frac{V_{ci}}{C} \right)^K \right] - EXP \left[- \left(\frac{V_{co}}{C} \right)^K \right] \quad (6)$$

حيث F هي المتاحية، V_{ci} سرعة بداية تشغيل التوربين، V_{co} سرعة إيقاف تشغيل التوربينة.

النتائج والمناقشة

تم إعداد برنامج كمبيوتر بالأكسل للتحقق من متاحية توربينات الرياح. حيث تم التحقق من تأثير ارتفاع محور التوربينة، ونوع توربينات الرياح وموصفات توربينات الرياح بالنسبة لسرعة بداية التشغيل (V_{ci}) وسرعة إيقاف التشغيل (V_{co}) على المتاحية ومن أهم ما تم التوصل إليه:

- تأثير ارتفاع محور توربينات الرياح على المتاحية

توربينة الرياح التي تم اختيارها هي نوع (N50/800) موضحة في الجدول (2) وتم حساب المتاحية عند ارتفاعين لمحور توربينة الرياح وهما 60m و 75m كما في الجدول (5).

يمكن ملاحظة أن المتاحية عند ارتفاع (75m) أفضل من المتاحية عند ارتفاع (60m)؛ لأنه كلما زاد الارتفاع ازدادت سرعة الرياح، وبذلك تكون فرصة عمل التوربينة أكبر. أيضا نلاحظ أن المتاحية للعام 2009 أفضل من العام 2008، وذلك حسب بيانات سرعة الرياح المتاحة من الأرصاد الجوي.

جدول (5): تأثير ارتفاع محور توربينات الرياح على المتاحة

المتاحة (%)		H_{hub} (m)
سنة 2009	سنة 2008	
94.67	74.46	60
96.09	78.09	75

• تأثير نوع توربينات الرياح على المتاحة

تم استخدام توربينة أفقية المحور من النوع (II 300 KWMK) وتوربينة عمودية المحور FloWind (19m) من النوع الداريوس الموضحتان في الجدولين (2) و (3) على التوالي لحساب المتاحة، وتم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (6). يمكن ملاحظة أن المتاحة للتوربين الأفقي المحور تكون أكبر بكثير من التوربين العمودي المحور؛ لأن ارتفاع محور التوربين الأفقي وسرعة بداية التشغيل وسرعة إيقاف التشغيل هي 40 m، 4m/sec، 25m/sec على التوالي، بينما التوربين العمودي المحور تكون 17.7 m، 6.5 m/sec، 24m/sec على التوالي. توضح النتائج أن المتاحة للعام 2009 أفضل من العام 2008 للتوربين الأفقي المحور، بينما التوربين العمودي المحور تقريباً تساوي صفر للعامين.

جدول (6): تأثير نوع توربينات الرياح على المتاحة

المتاحة (%)		نوع التربين
سنة 2009	سنة 2008	
90.44	66.15	300 KWMK II
3.64×10^{-14}	4.66×10^{-5}	Flo Wind 19m

تأثير سرعة بداية التشغيل V_{ci} لتوربينات الرياح على المتاحية

تم استخدام توربينتان من النوع الأفقي المحور وهما 1 MW, 54.2 m و S.64/1000 الموضحتان في الجدول (2)، وتم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (7).

يمكن ملاحظة أن المتاحية للتوربين ذي النوع S.64/1000 أفضل من التوربين ذي النوع 1 MW, 54.2 m؛ لأن سرعة بداية التشغيل للتوربين الأول أكبر من التوربين الثاني. توضح النتائج أن المتاحية للعام 2009 أفضل من العام 2008.

جدول (7): تأثير سرعة بداية التشغيل V_{ci} لتوربينات الرياح على المتاحية

المتاحية (%)		نوع التربين
سنة 2009	سنة 2008	
94.67	74.46	1 MW, 54.2 m
99.68	94.12	S.64/1000

• تأثير سرعة إيقاف التشغيل V_{co} لتوربينات الرياح على المتاحية

تم استخدام توربينتان من النوع الأفقي المحور وهما N70/1500 و N77/1500 الموضحتان في الجدول (2)، وتم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (8).

يمكن ملاحظة أن المتاحية للتوربين ذي النوع N70/1500 مساوية للتوربين ذي النوع N77/1500، على الرغم من أن سرعة إيقاف التشغيل للتوربين الأول أكبر من التوربين الثاني؛ لأن متوسط سرعات الرياح لم يصل إلى سرعة إيقاف التشغيل للتوربين الثاني. توضح النتائج أن المتاحية للعام 2009 أفضل من العام 2008.

جدول (8): تأثير سرعة إيقاف التشغيل V_{co} لتوربينات الرياح على المتاحة

المتاحة (%)		نوع التربين
سنة 2009	سنة 2008	
96.1	78.1	N70/1500
96.1	78.1	N77/1500

الاستنتاجات

هذه الورقة البحثية تحققت من بعض المتغيرات كارتفاع محور توربينة الرياح ونوع توربينة الرياح وسرعة بداية التشغيل وسرعة إيقاف التشغيل على متاحة توربينات الرياح. النتائج المهمة لهذه الدراسة يمكن تلخيصها في الآتي:

- المتاحة تتحسن بزيادة ارتفاع محور التوربينة.
- متاحة توربينات الرياح أفقية المحور أفضل بكثير من توربينات الرياح عمودية المحور.
- متاحة توربينات الرياح ذات سرعة بداية التشغيل الأقل أفضل من سرعة بداية التشغيل الأكبر.
- متاحة توربينات الرياح ذات سرعة إيقاف التشغيل الأكبر تكون مساوية لمتاحة توربينات الرياح ذات سرعة إيقاف التشغيل الأصغر.
- من خلال النتائج تبين أنه يمكن استخدام توربينات الرياح لتوليد الكهرباء لمنطقة مطار طرابلس.
- من خلال النتائج تبين أنه أفضل توربينة رياح حسب الموضح في الجدول (2) يمكن استخدامها هي من النوع الأفقي المحور تحت الصنف S.64/1000.

التوصيات

في هذه الورقة تم التحقق من بعض المتغيرات باستخدام بيانات لسرعة الرياح للعامين 2008 و 2009، ونظرا لعدم التمكن من الحصول على بيانات لسرعة الرياح لسنوات أحدث، لذلك نوصى بالتحقق من النتائج باستخدام بيانات لسرعة الرياح الأحدث من 2008 و 2009.

المراجع

1- المراجع العربية:

- المعرفة، (2019). مقالة طاقة الرياح. موجودة على الرابط: <https://www.marefa.org>، (23 نوفمبر 2019 - 08:20).
- علي بن محمد المقر، (2010). صحيفة الاقتصادية طاقة الرياح. موجودة على الرابط: http://www.aleqt.com/2010/10/14/article_455338.html، (الخميس، 14 أكتوبر 2010 - 02:10).
- جون ووكر ونيكولاس جنكن، ترجمة: د. وداد الأسطى (2003)، تقنية طاقة الرياح، الهيئة القومية للبحث العلمي في طرابلس - ليبيا.
- جمعية المهندسين العراقيين في المانيا، التوربينات. موجودة على الرابط: <http://viid.de/de.html>.
- خريطة ليبيا، موجودة على الرابط : <https://www.bing.com/images/search>.
- المركز الوطني للأرصاد الجوية بليبيا، (2014).

2- المراجع الاجنبية:

- Jack Unwin, (2019). The top 10 countries in the world by wind energy capacity. Available at <https://www.power-technology.com/features/wind-energy-by-country/>, 14 March 2019.
- Ahmed Khaliefa and Wedad Elost, (2008). Modeling of Energy Output of Wind Power Plants. Academy of Graduate Studies. March 2008.
- Wind power, (2007). Power curve files. Available at <http://www.inl.gov/wind/software>, Wednesday, January 31, 2007.
- Ecopowerusa, (2006). Vertical Axis Wind Turbine (VAWT). Available at <http://www.ecopowerusa.com/vawt.html>, 2006.

- J.F. Manwell, J.G. McGowan and A.L. Rogers, (2010). Wind Energy Explained Theory, Design and Application. John Wiley & Sons.