

تصميم ريش لتربينات ريحية أفقية المحور

لعدد من المناطق في الجماهيرية *

م. عبد الحميد حواص * د. وداد الأسطى * م. أمال يعقوب *

1- المقدمة :

لقد انتشرت منظومات تحويل طاقة الرياح في الكثير من دول العالم وتطورت تقنياتها بشكل متسارع، وأصبحت جزءاً مهماً من مصادر الطاقة المحلية التي يمكن الاعتماد عليها في هذه الدول، وجزءاً لا يتجزأ من خليطها الطاقى حتى ولو بنسب صغيرة في الوقت الحالي. ولقد أصبحت مصادر الطاقة البديلة بشكل عام، وخاصة طاقة الرياح تدخل ضمن استراتيجيات العديد من الدول الصناعية والدول النامية على حد سواء لسد جزء من الاحتياج الطاقى سواء في إنتاج الطاقة الكهربائية بإقامة ما يعرف بمزارع الرياح، أو بعض التطبيقات الأخرى. وعبر التاريخ نجد أن طاقة الرياح شهدت عصور من الرخاء والازدهار وعصوراً من الركود. وقد شهد العقدان الأخيران ازدهاراً كبيراً لتقنية طاقة الرياح لم تشهده من قبل، خاصة في الدول الصناعية.

لقد تم تصميم عدد خمسة نماذج لريش منظومة تحويل طاقة رياح، بقدرة 1000 ك.وات عند نسب سرعات طرفية تصميمية من 5 إلى 9 (تمثل كل الاختيارات عند التصميم)، وحددت أبعادها باستخدام المعادلات الرياضية، وأدخلت البيانات الخاصة بكل نموذج إلى برنامج الحاسوب "BLADES" (وهو برنامج متخصص في تحليل القوى الديناميكا الهوائية المؤثرة على الريشة وحساب منحني القدرة والطاقة المولدة سنوياً من منظومة طاقة الرياح بناء على

وانتقلت هذه التقنية من دول العالم الصناعي، التي طورت هذه التقنيات إلى دول العالم الثالث تدريجياً. لذا تناولت هذه الدراسة التركيز على أحد جوانب هذه التقنيات لمنظومات تحويل طاقة الرياح، والمتمثل في الطرق المتبعة في تصميم ريش منظومات تحويل طاقة الرياح وتقييم أدائها. كبداءة لبحوث أخرى أكثر تعمقاً في مجال تصميم منظومات تحويل طاقة الرياح، بهدف كسب الخبرة في مجال تصنيع أو تقييم منظومات تحويل طاقة الرياح.

أفضل قيم لكل من السرعة الاسمية (V_r) وسرعة بدء الحركة (V_c) بفرض الحصول على أفضل طاقة منتجة سنوياً. كما أفترض بأن خشونة السطح لخطات الإرساد أو الأماكن المرشحة لمواقع منظومة تحويل طاقة الرياح تتراوح بين 0.1 و 0.03 متر، وذلك حسب طبيعة المنطقة المختارة في هذه الدراسة. كما تم حساب معامل الشكل (K) ومعامل القياس (C) لدالة وييل بناء على هذه الافتراضات، ودونت النتائج في الجدول رقم (1)، والذي يحتوي على سرعات الرياح التي تمثل كل من متوسط سرعة الرياح وأفضل قيمة تصميمية لكل من السرعة الاسمية وسرعة بدء الحركة، وكذلك معامل الشكل ومعامل القياس لدالة وييل.

$$[(a-h^3)k h^k d^k - 3a] \exp[(1-h^k) d^k] + 3 = 0.0$$

(1)

$$a = \frac{b}{b+1} \quad \text{حيث إن:}$$

$$d = \frac{V_r}{V_{avr}}$$

$$h = \frac{V_c}{V_r}$$

b: معامل التجاوب التكعيبي

من الجدول رقم (1) نستنتج أن متوسط السرعة الاسمية 14 م/ث، وأقل سرعة لبدء الحركة هي 3.8 م/ث. بالتالي استخدمت هذه القيم في عمليات التصميم التالية.

2.2. نصف القطر لتربينة

لتحديد نصف قطر الدوار، يتعين تحديد القدرة المطلوب إنتاجها للتوربينة الريحية، وقد تم افتراض التالي:

بيانات الموقع، حيث تم عن طريقه حساب الأداء على امتداد الريشة، والتي قسمت إلى عشرة أجزاء لإجراء هذه التحليلات. وقد رسم منحني معامل القدرة ومعامل الدفع لكل نموذج وذلك لتوضيح الاختلاف في الكفاءة وقوى الدفع المؤثرة على الريشة.

ولقد أفترض بأن الريش سوف تتركب لمنظومات تحويل طاقة الرياح لعدد من المناطق في الجماهيرية تتميز بسرعة رياح جيدة، فقد حسبت الطاقة المولدة سنوياً لكل نموذج. وذلك عن طريق إدخال معامل الشكل ومعامل القياس لدالة وييل لهذه المناطق بناءً على بيانات الرياح المتاحة من محطات الإرساد الموجود بها الموقع ذو العلاقة. وهذه البيانات تتمثل في سرعة واتجاه الرياح وذلك لفترات زمنية تمتد لمدة عشر سنوات. وقد أبرزت النتائج بصورة تسمح بالمقارنة بين النماذج المختلفة، ومن ثم المساهمة في اتخاذ القرار لاختيار التصميم المناسب لكل منطقة من مناطق الجماهيرية التي شملتها الدراسة.

2. تصميم الريش

لتصميم أي ريشة يجب تحديد بعض المتغيرات وذلك كما يلي:

1.2. السرعة التصميمية (السرعة الاسمية)

لقد تم إيجاد قيمة النسبة بين السرعة الاسمية لمنظومة تحويل طاقة الرياح ومتوسط سرعة الرياح في الموقع (V_r/V_{avr}) عن طريق المعادلة (1)، وذلك باستخدام برنامج Mathcad. وبافتراض نموذج التجاوب التكعيبي (Cubic Response Model) لمنحنى القدرة لمنظومة الرياح، الواقع بين سرعة بدء الحركة والسرعة الاسمية [1]، وذلك لتحديد

جدول (1) خصائص الرياح بالمناطق المختارة

قيم المتغيرات عند خشونة السطح 0.1 م وارتفاع 50 م					قيم المتغيرات عند خشونة السطح 0.03 م وارتفاع 50 م					متوسط قيم المتغيرات عند ارتفاع 10 م			
K	C (م/ث)	V _c (م/ث)	V _r (م/ث)	V _{avr} (م/ث)	K	C (م/ث)	V _c (م/ث)	V _r (م/ث)	V _{avr} (م/ث)	V _c (م/ث)	V _r (م/ث)	V _{avr} (م/ث)	
2.6	7.9	4.5	14.7	7.0	2.4	7.5	4.2	13.9	6.6	3.3	10.89	5.2	زواره
2.3	7.2	4.5	14.7	6.3	2.2	6.8	4.2	13.9	6.0	3.2	10.91	4.7	سرت
2.3	6.9	4.2	14.2	6.2	2.2	6.5	4.0	13.4	5.9	3.2	10.51	4.6	اجدايبا
2.8	7.9	4.0	13.5	6.5	2.7	7.5	3.8	12.8	6.1	3	10.02	4.7	بنغازى
2.3	7.2	4.5	14.7	6.5	2.2	6.8	4.2	13.6	6.1	3.2	10.92	4.7	شحات
2.4	7.4	4.3	14.4		2.34	7.02	4.0	13.6					المتوسط

حيث أن:

p : الطاقة الناتجة

C_p : معامل القدرة

ρ_0 : كثافة الهواء

η_d : كفاءة نقل الحركة من الدوار الى المولد

η_g : كفاءة المولد

ونظراً للتطورات الحديثة في مجال تصميم ريش منظومات الرياح، يمكن ملاحظة أن القيمة القصوى لمعامل القدرة ($C_{p_{Max}}$) في منظومات طاقة الرياح المتاحة حالياً في السوق لمنظومة بمثل حجم المنظومة موضوع الدراسة يصل إلى 0.48 تقريباً. ومنها يمكن تحديد معامل القدرة التصميمي عن طريق استخدام المعادلة التالية:

$$(3) \quad C_p = 0.8 C_{p_{Max}} = 0.384$$

• تم اختيار عدد ريش الدوار ثلاثة (حيث أن أكثر الأنواع شيوعاً واستخداماً هي التوربينات ذات الثلاث ريش وذلك لما تتميز به من أتران وقلة اهتزازات. وقد دلت التجارب على أفضليتها في التطبيقات على اليابسة).

• القدرة المنتجة 1000 ك.وات

• استخدم في الحسابات جنيح ذو رقم ناسا NACA [2] 4415, NACA 4418. وذلك نتيجة لشقوق منحني معامل الرفع على كثير من الجنيحات الأخرى، ويستخدم هذا الجنيح في عمليات التصنيع في كثير من منظومات الرياح.

• وقد حسبت قيمة نصف القطر للتوربينة من معادلة الطاقة الناتجة وذلك كالآتي :

$$(2) \quad R = \sqrt{\frac{2P}{\pi \rho V_r c_p \eta_d \eta_g}}$$

حيث أن: طول الريشة تم تقسيمه لحساب الوتر عند مواضع مختلفة من مركز الريشة إلى طرفها على امتداد الريشة (من 0 إلى 28.6 متر).

حيث أن:

r : المسافة النصف قطرية (من 0 إلى 28.6 متر).

B : عدد الريش.

C : أقصى قيمة لمعامل الرفع (List force)

Φ : زاوية انسياب محصلة الرياح على مستوى الدوران تحسب من خلال المعادلة التالية:

$$\Phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \left(\frac{1}{\lambda r} \right) \quad (6)$$

حيث أن:

λr : هي نسبة السرعة الطرفية عند نصف القطر r.

ولحساب هذه الزاوية عند المسافات المختلفة على طول نصف القطر تم افتراض التالي:

1) قيمة معامل التداخل المحوري (a) عند أكبر قيمة لمعامل القدرة ($C_{p_{max}}$) وتساوي $\frac{1}{3}$.

2) إهمال قيمة معامل التداخل المماسية (a') حيث أن قيمته صغيرة جداً أقل من 0.1.

4.2. تعيين قيمة رقم رينولد (Re)

لتحديد المنحى المناسب لمعاملات الرفع والكبح، تم حساب رقم رينولد من المعادلة التالية [3]:

وبما أن كثافة الهواء تتغير مع الارتفاع ودرجة الحرارة فقد تم تصحيح قيمة الكثافة بالتعويض في المعادلة (4) [3]، حيث حسبت كثافة الهواء عند ارتفاع 50 متر.

$$\rho = \rho_0 \exp \left(- \frac{0.297 H}{3048} \right) \quad (4)$$

حيث أن:

ρ_0 : كثافة الهواء عند سطح الأرض = 1.22496 كجم/م³

H: الارتفاع عن سطح الأرض 50 متر.

ومن المعادلة (4) تكون كثافة الهواء عند ارتفاع 50 متر 1.215 كجم/م³.

كما وضعت الافتراضات التالية بالنسبة لكفاءة مكونات التوربينة:

$$\eta_d = 0.8$$

$$\eta_g = 0.76$$

وللحصول على نصف قطر الدوار يمكن التعويض في المعادلة (2). من هذه الحسابات وجد أن نصف قطر الدوار 28.6 متر.

3.2. تحديد الوتر (Chord)

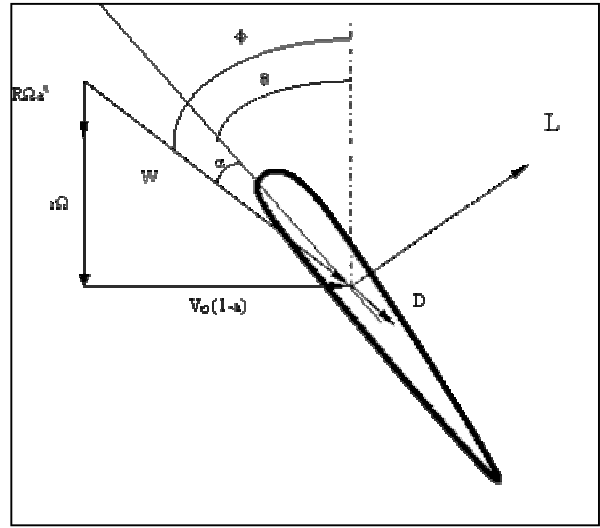
وقد تم حساب طول الوتر للريش عند مواضع مختلفة من الريشة عن طريق المعادلة التالية:

$$C = \frac{8 \pi r}{B C_l} (1 - \cos \Phi) \quad (5)$$

وبالتعويض في المعادلات السابقة عند نسب سرعات طرفية و5,6,7,8,9، تم الحصول على خمسة نماذج لريش مختلفة وذلك كما هو موضح في الشكل (2).

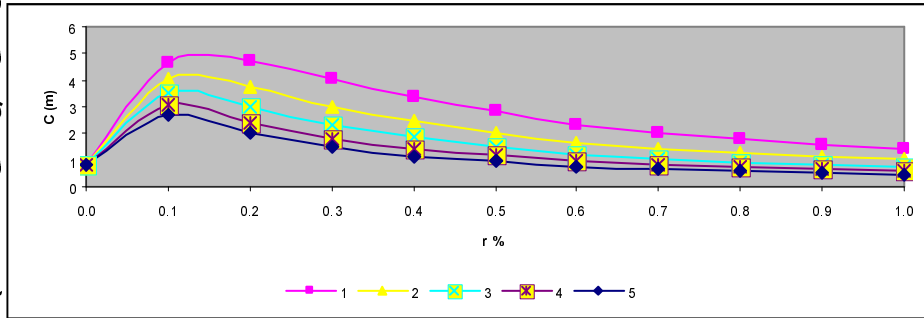
3. الأداء النظري:

للتنبؤ بالقدرة التي يمكن الحصول عليها من التربينه، تم إدخال بيانات المناطق المبينة في جدول (1) في برنامج الحاسوب "BLADES"، والتي اشتملت على متوسط سرعة الرياح ومعامل القياس ومعامل الشكل لدالة ويبل عند ارتفاع 50 متر فوق سطح الأرض، وذلك في المناطق ذات درجة خشونة 0.1 و0.03 والتي تمثل طبيعة المواقع لخطات الأرصاد أو الأماكن المزعم تركيب منظومات تحويل طاقة



شكل(1) القوى المؤثرة على الجنيح

الرياح فيها. يوضح الشكل (3) الطاقة المتوقع توليدها سنوياً في المناطق المختلفة لكل نموذج.



ولتحديد القوة المؤثرة

على الجنيح قسمت الريشة

إلى عشرة أجزاء بنسب

متوية متساوية، كما هو

موضح في الجدول (2). كما تم إدخال البيانات الخاصة بكل نموذج إلى برنامج الحاسوب "BLADES" والذي طور من قبل مؤسسة جراد حسان، واستخرجت النتائج وتم تمثيلها على هيئة رسوم بيانية المبينة في الأشكال من (4) إلى (6).

4. التعليق على النتائج

بالنظر إلى شكل (3) الذي يمثل الطاقة السنوية المتوقع الحصول عليها من النماذج الخمسة التي تم تناولها في

شكل (2) طول الوتر على امتداد الريشة للنماذج المختلفة

$$R_e = \frac{W C}{\gamma} = \frac{8\pi r V_0}{B C_l \gamma} \sqrt{\left(\frac{4}{9} + \lambda_r^2\right)} (1 - \cos\Phi) \quad (7)$$

حيث أن

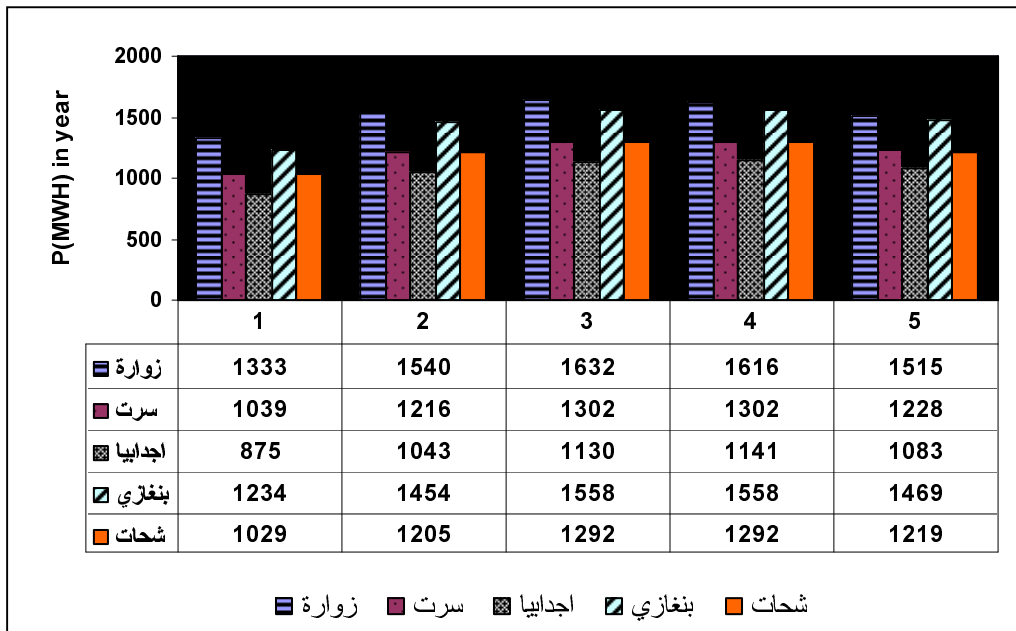
$R_e = 69000 \text{ W } C_l$ (للواء عند مستوى سطح البحر).

γ : معامل الزوجة

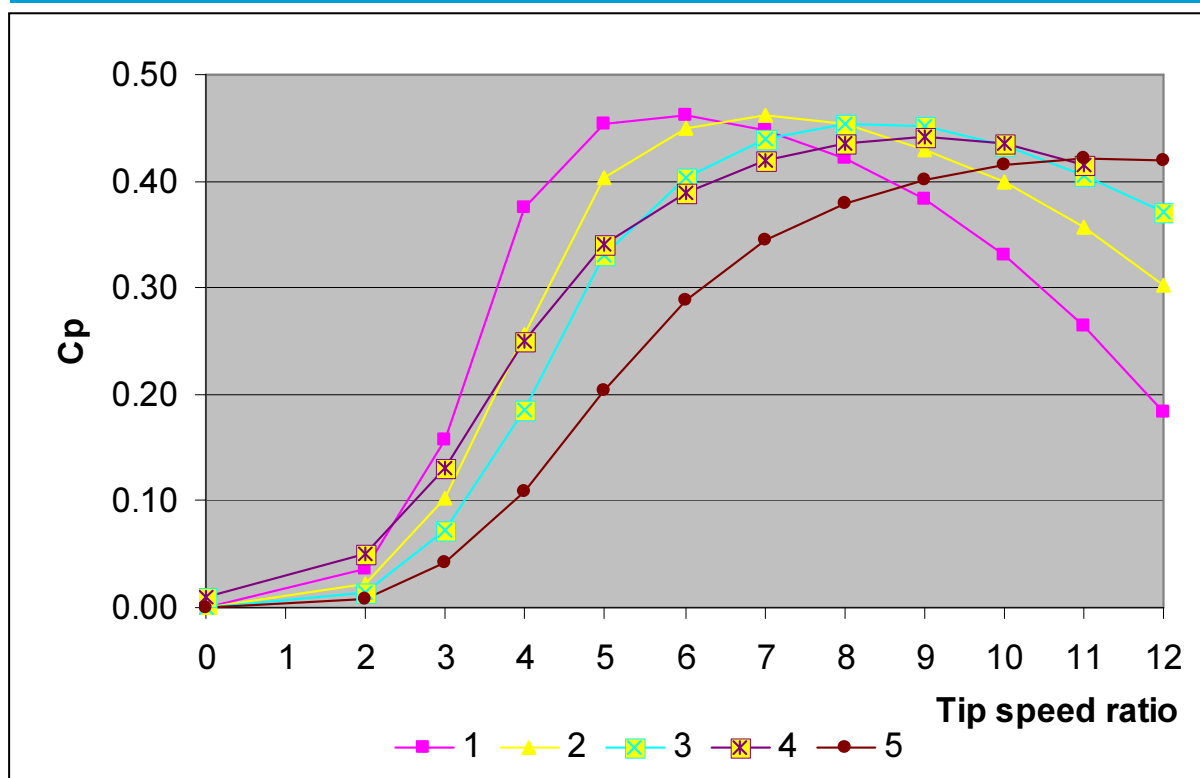
تقنيات الطاقة

جدول (2) أبعاد النماذج

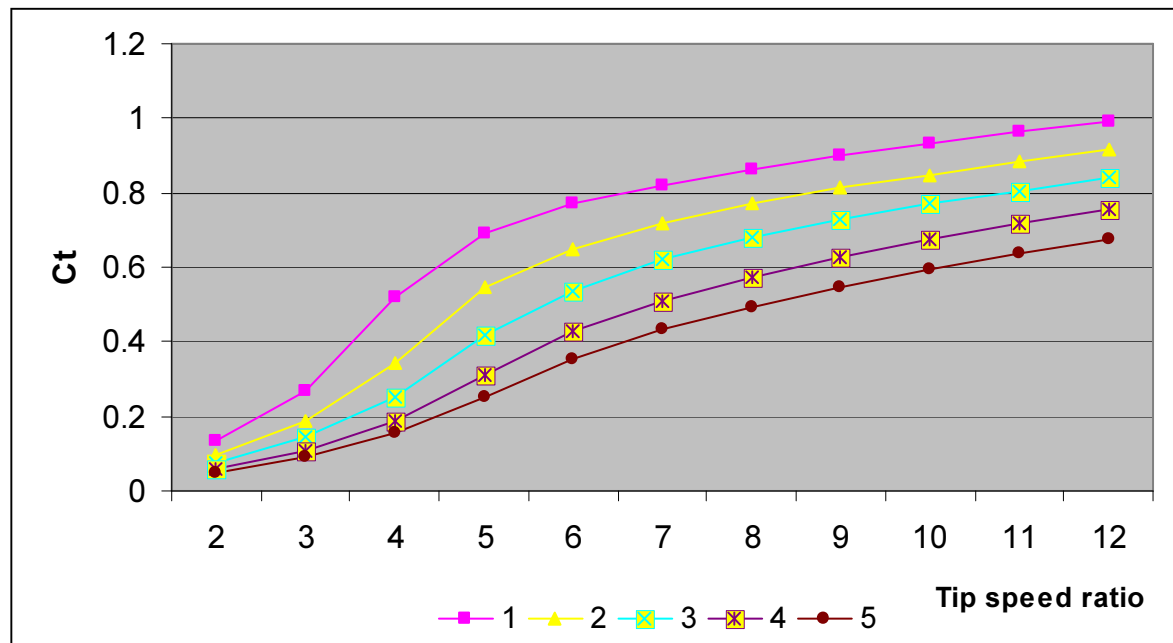
5			4			3			2			1			النماذج	
C (°)	θ (°)	λ	C (°)	θ (°)	λ	C (°)	θ (°)	λ	C (°)	θ (°)	λ	C (°)	θ (°)	λ	رقم NAC A	r (%)
.8	7.8		.8	7.2		.8	6.6		.8	5.7		.8	4.5		-	0
2.7	21	.9	3.1	23.2	.8	3.51	25.7	.7	4	28.4	.6	4.6	31.3	.5	4418	.1
2.1	8.4	1.8	2.4	1.3	1.6	2.99	12.7	1.4	3.7	15.6	1.2	4.8	19	1	4418	.2
1.48	2.6	2.7	1.8	4.9	2.4	2.32	5.98	2.1	3	8.38	1.8	4	11.5	1.5	4418	.3
1.15	.6	3.6	1.4	.58	3.2	1.85	2.11	2.8	2.4	4.9	2.4	3.4	6.72	2	4418	.4
.94	-2.6	4.5	1.2	-1.6	4	1.52	.4	3.5	2	1.3	3	2.8	3.54	2.5	4418	.5
.75	-5	5.4	.9	-4.2	4.8	1.23	-3.1	4.2	1.6	-1.6	3.6	2.3	.3	3	4415	.6
.65	-6	6.3	.8	-5.2	5.6	1.6	-4.3	4.9	1.4	-3.1	4.2	2	-1.4	3.5	4415	.7
.57	-6.7	7.2	.7	-6.1	6.4	.94	-5.2	5.6	1.3	-4.2	4.8	1.8	-2.6	4	4415	.8
.51	-7.3	8.1	.6	-6.7	7.2	.84	-6	6.3	1.1	-5	5.4	1.6	-3.6	4.5	4415	.9
.46	-7.8	9	.6	-7.2	8	.75	-6.6	7	1	-5.7	6	1.5	-4.5	5	4415	1



شكل (3) الطاقة المتوقعة استخلاصها من الرياح من النماذج المختلفة في مناطق موضوع الدراسة

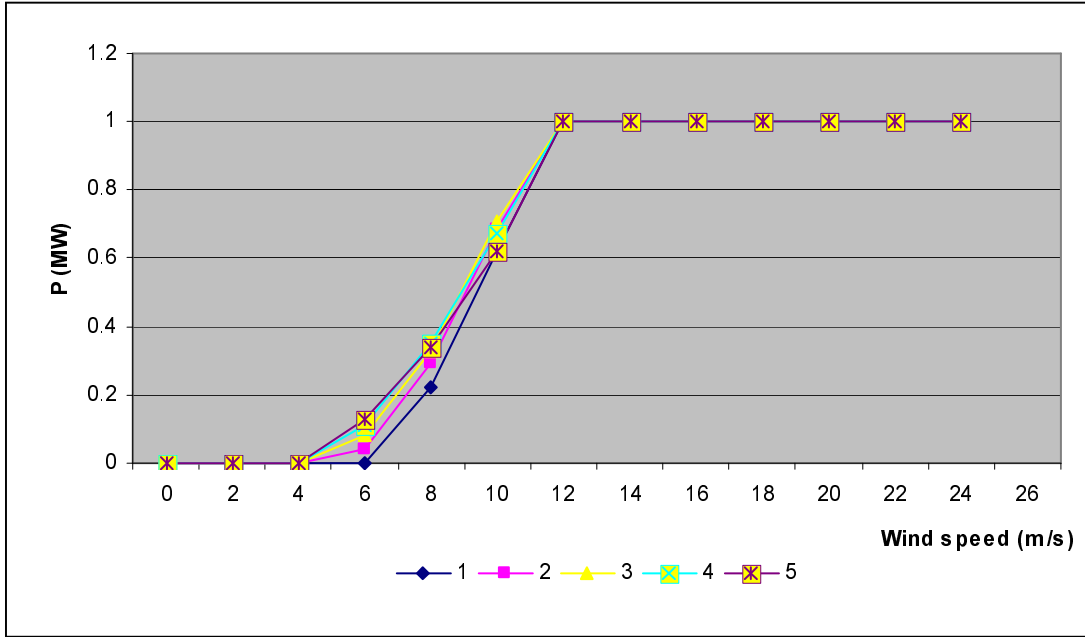


شكل (4) منحنى معامل القدرة للنماذج المختلفة

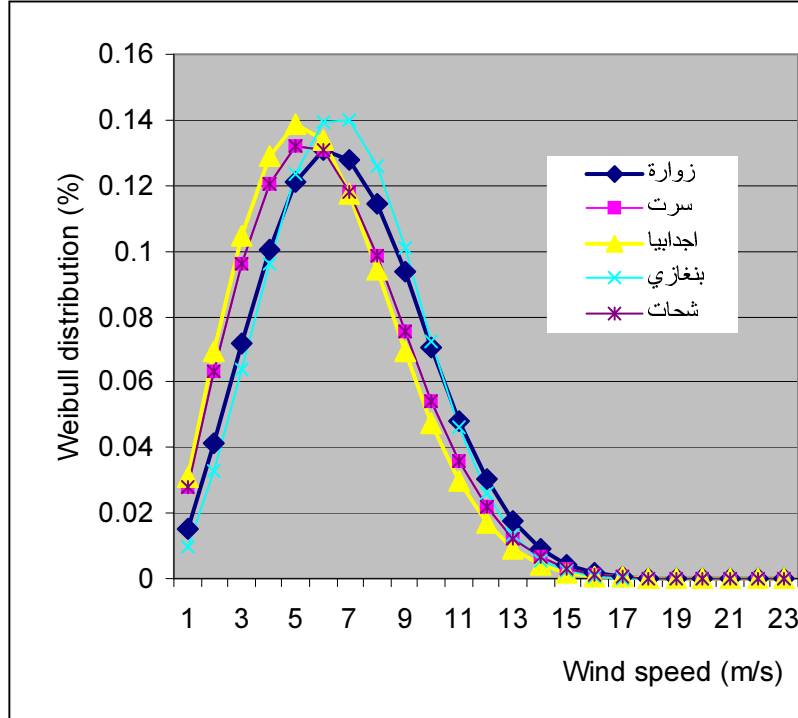


شكل (5) منحنى معامل الدفع للنماذج المختلفة

تقنيات الطاقة



شكل (6) منحنى القدرة للنماذج الخمسة



شكل (7) التوزيع التكراري لدالة ويبيل للمناطق المختلفة

هذه الدراسة، يتضح أن الطاقة المتوقعة توليدها سنوياً من النموذجين رقم ثلاثة وأربعة تكون أكبر من النماذج الأخرى، كما أن الطاقة المولدة من النموذجين متساوية في كل من منطقة سرت وبنغازي و شحات ، بينما يوجد تفاوت بسيط لا يتجاوز نسبة 1% في منطقة زوارة و اجدابيا. ويرجع سبب الاختلاف في الإنتاجية إلى كل من التباين في منحنى القدرة الموضح في الشكل (6)، ومنحنى التوزيع التكراري لدالة ويبيل الموضح في الشكل (7)، ومثال على ذلك عند مقارنة منحنى التوزيع دالة ويبيل لكل من منطقة زوارة واجدابيا

6-المراجع

1. A. Yagob, "Determination of WECS'S Design wind Speeds", Al-Fatah University, 1997.
2. C. N. Jones, "Notes on the effects of site W.S frequency distribution and machine performance characteristics on the annual energy output of a WECS" Wind engineering, Vol. 10, No.1, 1986, Pp 31-46.
3. M. Eggleston, S. Stoddard, "Wind Turbine Engineering Design", van Nostrand Reinhold company inc, new York, 1986.

مع منحنى القدرة يلاحظ :

التوزيع التكراري لدالة وييل شكل (7)، بمنطقة زواره يكون المنوال عند سرعة الرياح 6 م/ث. بينما في منطقة اجدايبا يكون المنوال عند 5 م/ث. كما أن الشكل العام لمنحنى التوزيع التكراري لها يكون أكثر تحدياً وأقل اتساعاً .

الفروق المذكورة في النقطة السابقة انعكست على كمية الطاقة المنتجة، ويتضح هذا بالنظر إلى منحنى القدرة، حيث يلاحظ أن نموذج رقم واحد واثنين كذلك رقم خمسة تكون القدرة المولدة أقل عند سرعات الرياح الأقل من 12 م/ث. ويتناسب هذا الانخفاض في أداء هذه المنحنيات عند مقارنتها مع الطاقة الناتجة سنوياً المتوقع الحصول عليها.

الخلاصة

مما سبق يتضح أن نموذجين رقم ثلاثة وأربعة هما الأفضل. ولكن في حالة اعتماد نموذج واحد فقط للتصنيع يفضل نموذج رقم أربعة الذي صمم عند نسبة سرعة طرفية 9، لأنه يعطي طاقة سنوية أعلى، وتنخفض هذه الطاقة في النموذج رقم (3) بمنطقة زوارة بنسبة 1 %، إلا أن قوة الدفع المتعرض لها هذا النموذج تكون أكبر، مثال على ذلك تكون نسبة الزيادة في قيمة معامل الدفع للنموذج رقم 3 عنها في النموذج رقم 4 عند سرعة 6 م/ث 26 % مما يؤثر على منظومة الرياح سلباً. كما أثبتت النتائج أنه عندما يكون سمك الريشة أقل تعطي أداء أفضل بسبب النقص في قوة الكبح المعرضة لها الريشة، مثال على ذلك عندما تكون الريشة صممت بناء على رقم NACA 4415 تعطي أداء أفضل من التي صممت بناء على رقم NACA 4418.

كما يمكن الاستفادة من هذه الدراسة أيضاً في مناطق أخرى ذات مواصفات مشابهة للمواصفات الموضحة في جدول (1). حيث أثبتت هذه الدراسة أن الاختلافات البسيطة في مواصفات المناطق لا يؤثر بنسبة كبيرة في عملية اختيار التربين، وخصوصاً عند أخذ الجوانب الاقتصادية والفنية بعين الاعتبار.