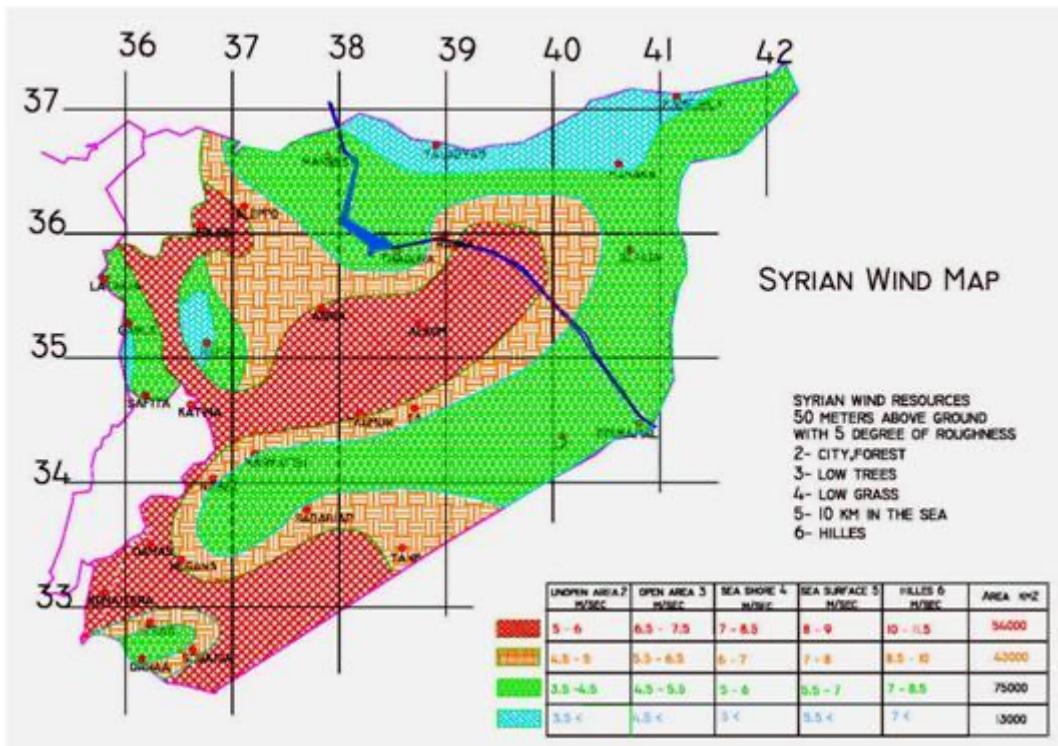


الفصل الثاني :أسس تصميم المزارع الريحية

خارطة الرياح في سوريا:

يظهر الشكل التالي (1-2) خارطة الرياح السورية



الشكل (1-2) خارطة الرياح في سوريا

من خلال قراءة متأنية لخارطة الرياح في سوريا يمكن تقسيم المناطق الملائمة لاستثمار الرياح والتي تمتلك سرعة وسطية للرياح أكبر من 5 m/s إلى خمس مناطق:

1) منطقة الجبال الساحلية وتمتد من ادلب وحتى غربى حماة وغربى مدينة حمص "شين" تمتلك هذه المناطق رياحاً جيدة ولكن امتداد السلسلة الجبلية ووجود الغابات والمناطق الزراعية (أشجار مثمرة) يعيق إنشاء المزارع الريحية بالإضافة إلى ارتفاع ثمن الأرض.

2) المنطقة الوسطى

وتمتد من مدينة قطينة وباتجاه الشرق حتى تدمر وإلى غربى دير الزور وشرقي الرقة ثم العودة مروراً بقرية الكروم وقرية اثريا حتى سلمية.

تمتاز هذه المنطقة باتساع المساحات الملائمة لإنشاء المزارع الريحية ورخص ثمن الأرض وملاءمتها (أرض رعوية وصحراوية) وتعتبر منطقة قطينة من أفضل مناطق القطر لإنشاء مزارع ريحية على الرغم من كون الأراضي المحيطة زراعية وارتفاع ثمن الأرض إلا أن قربها من شبكة التوتر العالى ورياحها الجيدة تعوض ذلك.

السيئة الأخرى لهذه المنطقة هي انخفاض معدل السرعة عن 4 m/s لمدة أربع أشهر خلال العام اعتباراً من شهر كانون الثاني وحتى بداية شهر آذار كما يظهر في المنحني المرفق إلا أن ارتفاع معدل سرعة الرياح ليصل 12 m/s خلال شهري تموز وآب يعوض هذا الانخفاض ، وهناك مشروع لإقامة أول مزرعة ريحية في القطر في هذه المنطقة يتوقع بدء العمل فيه في القريب العاجل.

وتأتي منطقة تدمر في المرتبة الثانية أهمية بعد منطقة قطينة وعلى الرغم من انخفاض معدل سرعة الرياح (أقل من منطقة قطينة) وضعف الشبكة الكهربائية إلا أنها تمتلك أراضي شاسعة رخيصة الثمن والمنحني في الشكل يوضح معدل سرعة الرياح خلال أشهر السنة وهو يشبه منحني التوزع لمدينة قطينة مع انخفاض في معدل السرعة من 12 m/s عند الذروة في شهري تموز وآب.

(3) المنطقة المحيطة بالطريق الدولي (حمص - دمشق)

على الرغم من انخفاض معدل سرعة الرياح في هذه المنطقة ($5-6 \text{ m/s}$ على ارتفاع 50 m) إلا أنها تمتاز بعدة ميزات هامة:

1. وقوعها بالقرب من الطريق الدولي حمص - دمشق
2. وقوعها بالقرب من خط التوتر العالي (سهولة الربط بشبكة جيدة)
3. رخص الأراضي واتساعها (أراضي رعوية)

وتعتبر منطقة جندر من المواقع الوعادة في هذه المنطقة.

(4) المنطقة الجنوبية الغربية

تمتد من جنوب مدينة دمشق وحتى مدينة القنيطرة ومرتفعات الجولان وتمتاز هذه المنطقة بمعدل سرعة رياح أعلى من 5 m/s على مدار العام كما يظهر في الشكل وبالقرب من مدينة القنيطرة (شمالي مدينةبعث) تم توقيع أول عنفة ريحية بالقطر باستطاعة 150 kW عام 1994“

(5) المنطقة الجنوبية الشرقية

وتمتد من مطار دمشق الدولي حتى سبع بيار والتتف ونزو لا إلى أقصى الجنوب (الزلف) على حدود الأردن. تمتلك هذه المنطقة رياح جيدة إلا أن بعدها عن شبكات الطرق العامة والشبكة الكهربائية يضعف من أهميتها في الوقت الحاضر.

يعود استثمار طاقة الرياح في سوريا إلى بداية عقد الخمسينات من القرن الماضي حيث نقل بعض المغتربين السوريين العائدين من أمريكا الجنوبية تقنية المراوح الريحية الميكانيكية متعددة الشفرات لضخ المياه، وتم تصنيع ما يقارب 4000 kW مروحة في ورش صغيرة، وجرى تركيبها في منطقتين حمص والقلمون، وعملت هذه المراوح بنجاح لسنوات عديدة قبل أن يتوقف معظمها عن العمل بسبب ندرة المياه الجوفية.

الاستطاعة المستجدة من الريح :

الاستطاعة الحقيقية المستجدة بواسطة الريش هي: الفرق بين استطاعة الريح قبل اقتحام الريش والاستطاعة خلف الريش ، يمكن القول إن :

$$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}(mass\ flow\ per\ second)V^2$$

$$P_0 = \frac{1}{2}(mass\ flow\ per\ second)(V^2 - V_0^2)$$

P_0 : الاستطاعة الميكانيكية المستجدة من قبل الدائير ، استطاعة خرج العنفة .

V : سرعة الريح في مدخل الريش (Upstream Wind Velocity) .

V_0 : سرعة الريح في مخرج الريش (down stream Wind Velocity) .

نجد أن سرعة الهواء غير مستمرة (متقطعة) (Discontinuous) تتحول من V إلى V_0 على مستوى ريش الدائير ، ومتوسطها $\frac{1}{2}(V + V_0)$ وبضرب كثافة الهواء بمتوسط السرعة نحصل على الكتلة المارة من الهواء عبر الريش الدوارة ، وعليه :

$$mass\ Flow = \rho \cdot A \cdot \frac{V + V_0}{2}$$

معدل جريان الكتلة :

الاستطاعة الميكانيكية المسحوبة من قبل الدائير ، والتي تدبر المولد الكهربائي هي :

$$P_0 = \frac{1}{2} \left[\rho A \frac{(V + V_0)}{2} \right] (V^2 - V_0^2)$$

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \frac{\left(1 + \frac{V_0}{V}\right) \left[1 - \left(\frac{V_0}{V}\right)^2\right]}{2}$$

الاستطاعة المستجدة بالريش بالواط تعرف عادةً كجزء من استطاعة التيار الريحي الداخل للريش (UP Sears) :

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A V^3 C \rho$$

حيث :

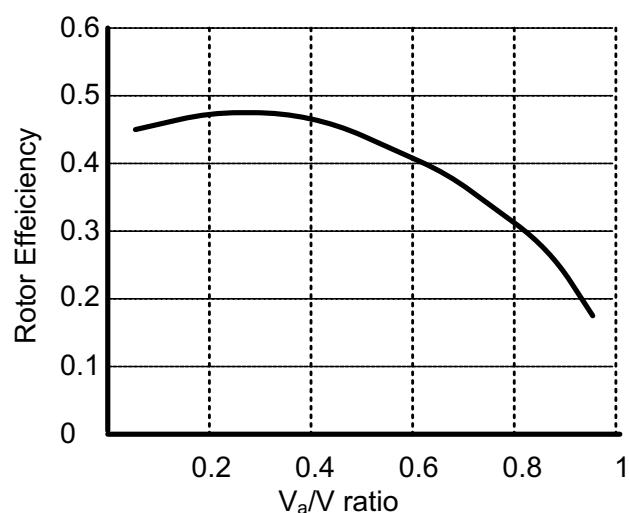
$$CP = \frac{\left(1 + \frac{V_0}{V}\right) \left[1 - \left(\frac{V_0}{V}\right)^2\right]}{2}$$

CP معامل الاستطاعة للدائر Rotor أو مردود الدائر Power Coefficient ، وهو جزء أقل من الواحد ، يحدد مقدار ما نستطيع استخلاصه من استطاعة الريح القادمة ، والتي يمكن تطبيقها على المولد الكهربائي . يبدد باقي الاستطاعة في تيار الهواء الخارج من الريش.

من أجل سرعة ريح معروفة في مدخل الريش ، المعادلة السابقة توضح أن CP يعتمد على نسبة

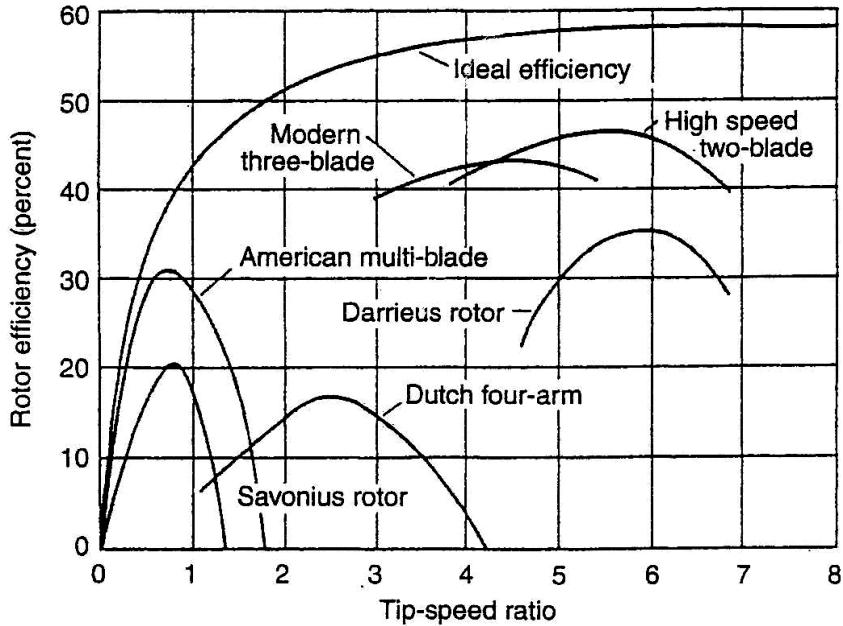
$$\frac{V_0}{V} . \text{ سرعة الخرج إلى سرعة الدخل} .$$

وبرسم CP كتابع لـ $\frac{V_0}{V}$ شكل (2-2) :



شكل (2-2) مردود الدائر كتابع لنسبة السرعتين $\frac{V_0}{V}$

ويظهر الشكل التالي (3-2) العلاقة بين مردود الدائر والنسبة v_0/v لأنواع مختلفة من الريش:



شكل (3-2). مردود الدائر كتابع للنسبة $\frac{V_0}{V}$ بالنسبة لدائر ذو مجموعات مختلطة من الريش

العنفة الريحية هي آلة لتحويل طاقة الرياح الحركية إلى طاقة كهربائية، التي بدورها تنقل إلى نقاط الاستهلاك بواسطة شبكة كهربائية.

- يتم تصنيف العنفات الريحية حسب الاستطاعة الكهربائية التي تنتجها إلى:

 - العنفات الصغيرة تصل الاستطاعة التي تولدها حتى 10 kw.
 - العنفات المتوسطة تتراوح الاستطاعة المولدة 10-50 kw.
 - العنفات الكبيرة وتتراوح استطاعتها بين 50-500 kw .
 - العنفات الكبيرة جداً تتراوح استطاعتها بين 500-6000 kw.

- المبدأ الذي تعمل العنفات الريحية الحديثة على أساسه هو عملية التحويل الأساسية التي تعتمد على توليد عزم موجب على محور الدوران المرتبط مع الشفرات المتأثرة بقوة الرفع الأيروديناميكية التي تولدها الرياح وتقوم هذه القوة بتدوير الشفرات وبعد ذلك يقوم المحور بتدوير المولد الكهربائي الموصول معه عن طريق علبة السرعة.

-أنواع العنفات الريحية:

- تقسم العنفات الريحية من الناحية التصميمية إلى قسمين:

1-3 شروط التصميم وفق نظام IEC: Designing conditions according to IEC

لتصميم العنفات الريحية يجب الأخذ بعين الاعتبار الشروط التالية وذلك استناداً لتعليمات نظام IEC:

- (1) أن تكون درجة حرارة الهواء المحيط لتشغيل النظام ضمن المجال ${}^{\circ}\text{C}$ 10 - ${}^{\circ}\text{C}$ 40
- (2) شدة الإشعاع الشمسي 1000 W/m^2
- (3) كثافة الهواء 1.225 Kg/m^3
- (4) الرطوبة النسبية أعلى من 95 %
- (5) لا يكون الهواء الجوي ملوث

3-2 اختيار موقع العنفة الريحية:

قبل إقامة المحطة الريحية وتفادي المخاطرة أو للتقليل من حدوثها تتطلب العودة للخبراء ومعاينة الموقع. إن الهبات الريحية على الموقع، وسرعات الرياح الأعظمية والاضطرابات جميعها تتطلب المعرفة من أجل تأمين استقرار المنشأة والتحكم بها. ولاختيار موقع المحطة هنالك عدة شروط يجب التأكد من توفرها وهي:

- يجب أن يكون الموقع ذو سرعات عالية، مستمرة ومناسبة لنوع المروحة المستخدمة.
- يجب أن يكون الموقع في الخلاء، ولا تحيط به عوائق عالية حتى لا تعوق حركة الرياح.
- يجب أن يكون الموقع قريباً من خطوط الشبكة الكهربائية في حال ما إذا كانت الكهرباء المولدة سيتم ربطها مع الشبكة الكهربائية وفي حالة الأماكن المعزولة يجب أن يكون موقع المحطة قريباً من موقع الأعمال.
- يجب أن يكون سعر أرض الموقع مناسباً حتى لا يؤثر ذلك سلباً على الجدوى الاقتصادية للمشروع.
- يجب أن يكون الموقع قريباً قدر الإمكان من المرافق حتى يستطيع القائمون على المشروع تنفيذه بدون عوائق، وحتى لا يتحمل المشروع تكلفة البنية الأساسية من أطلس الرياح في سوريا نجد أن هناك العديد من المناطق التي تتوافر فيها سرعة رياح مجدهية تتراوح من 5 m/s إلى 15 m/s ، وهذه السرعات ملائمة لاستخدام طاقة الرياح في مجال توليد الكهرباء.

بعد التقصي عن بعض الأماكن المقترحة تم اختيار منطقة الهيجانة والتي تقع في المنطقة الجنوبية من سوريا وقد تم اختيارها في مؤتمر الطاقة الذي عقد مؤخراً من أجل تصميم مزرعة ريحية فيها باستطاعة 100 MW

3-3 وصف الموقع:

تقع قرية غباغب على الطريق القديم الواصل بين "دمشق" و"درعا"، وعلى بعد 35 km من مدينة "دمشق"، وبين تلتين تقع بلدة "غباغب"، على ارتفاع 685 m عن سطح البحر

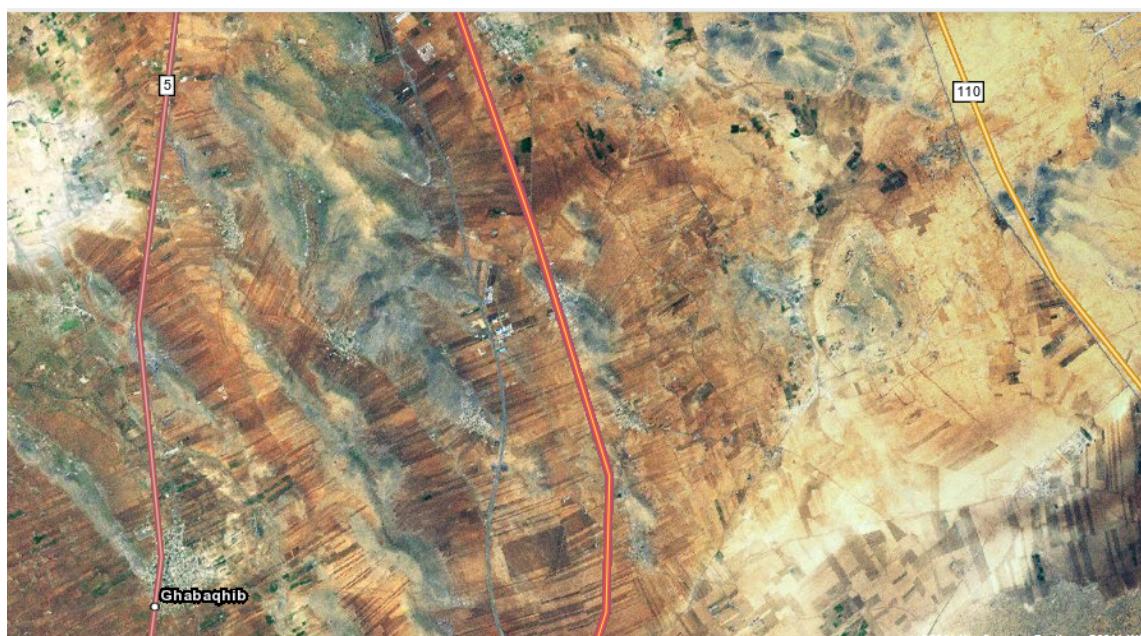
ويقع الموقع على سلسلة من التلال بارتفاع حوالي 100 متر فوق المستوي المحيط -- السلسلة تمدد تقريباً من الشمال باتجاه الجنوب من 4 حتى 5 كم شرق مدينة Ghabagheb . سارية القياس يوضع في قمة الجبل على ارتفاع حوالي 760 متر .

موقع سارية القياس :

(النظام الجغرافي) N $33^{\circ} 12.30$ E $36^{\circ} 15.801$

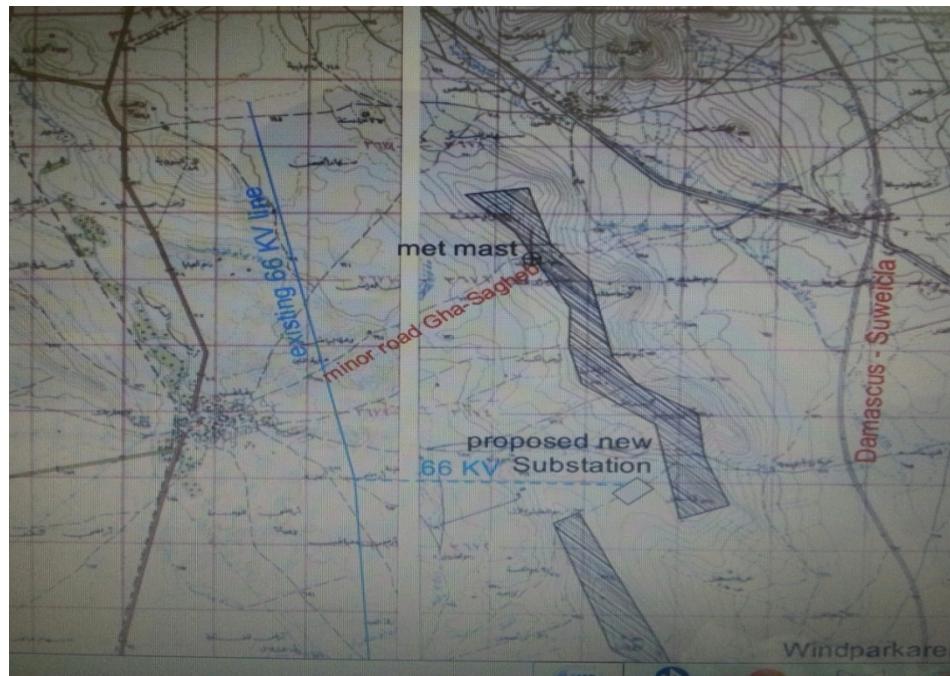
(الإحداثيات UTM) N 3677352 E 244907

(استناداً لنظام التنسيق المحلي) N 3676312 E 364390



الشكل (1-3) موقع مزرعة الرياح

والشكل التالي (2-3) يبين خريطة لموقع غباغب :



الشكل (2-3) خريطة تبين موقع منطقة غباغب

الارتفاع الأقصى على قمة يتراوح من 750 م إلى 800 م. المنحدرات من نحو الشرق حادة قليلاً أكثر من نحو الغرب (الاتجاه الرئيسي للريح).

المساحة المزروعة تصل إلى حوالي نصف ارتفاع سلسلة الجبال ، على القمة ، التربة صلبة وصخرية وبدون غطاء نباتي . بشكل كامل مكان السارية خالي من العقبات الرئيسية ، التي يمكن أن يكون لها تأثير كبير على القياس ، مثل المبني أو الأشجار.

ويبدو أن المنطقة غير مستخدمة وتعد من الأراضي الحكومية وحدود ما هو متاح من الأراضي غير معروف ، كما أن سلسلة الجبال بأكملها (بالاتجاه شمال -- جنوب) يمكن استخدامها لبناء حديقة الرياح . لذلك يجب التأكد و دراسة جدوى مفصلة لضمان توافر الأرضي.

على طول القمة المنطقة مسطحة وذلك سيسمح ببناء الطرق أو تشييد التوربينات مع الأعمال المدنية المحدودة.

3-4-البنية التحتية للموقع:

يمكن الوصول إلى الموقع عبر الطريق الثانوية الموصلة من مدينة غباغب على الطريق السريع من دمشق إلى السويداء الذي يمر إلى الشرق من التلال.

عبر الطريق السريع يفترض أن يكون الأسهل لأن الطرق في مدينة غباغب ضيقة إلى حد ما.

قد يكون من الضروري تعزيز هذا الطريق وتوسيع بعض الانحناءات لنقل المعدات الثقيلة .

الطريق يجب أن يكون بعرض 4.5 متر ، مع التوسعات . و المنحدرات لا ينبغي أن يكون أكثر من 8% .

التحقيق في جميع الظروف موقع الأخرى التي قد يكون لها تأثير على (الأثر البيئي ، الاستخدام ، والموقع المحمية أو نفوذ الراديو) يخضع للتحقيق جدوى مفصلة.

التحليل الإحصائي لقياس البيانات :

1. استعادة البيانات

سارية القياس شيدت بـ 25 تشرين الأول 2004 ، وهي مجهزة بأجهزة الاستشعار التالية

- مقياس شدة الريح في الارتفاع 40 م
- مقياس شدة الريح في الارتفاع 10 م
- دوارة الريح في الارتفاع 40 م
- مقياس درجة الحرارة
- مقياس الضغط

تسجيل البيانات بفواصل 10 دقيقة كقيمة وسطى (لجميع المتغيرات) ، وكذلك القيم اللحظية القصوى والانحراف المعياري (سرعة الرياح) ضمن الفاصل الزمني للتسجيل.

سلسلة البيانات المتاحة تتراوح بين 25 تشرين الأول وحتى 24 شباط 2004 ثم في الفترة ما بين 8 أيار 2005 حتى 27 أيار 2006 .

خلال هذه الفترة الثانية المذكورة البيانات المستعادة 100 %. لتقدير البيانات التالية وعائد الطاقة المتباينة في الفترة من 8/5/2005 حتى 8/5/2006 يعتبر قياس سنة كامل.

5-3 سرعة الرياح :

3-5-1 توزيع سرعة الرياح السنوي :

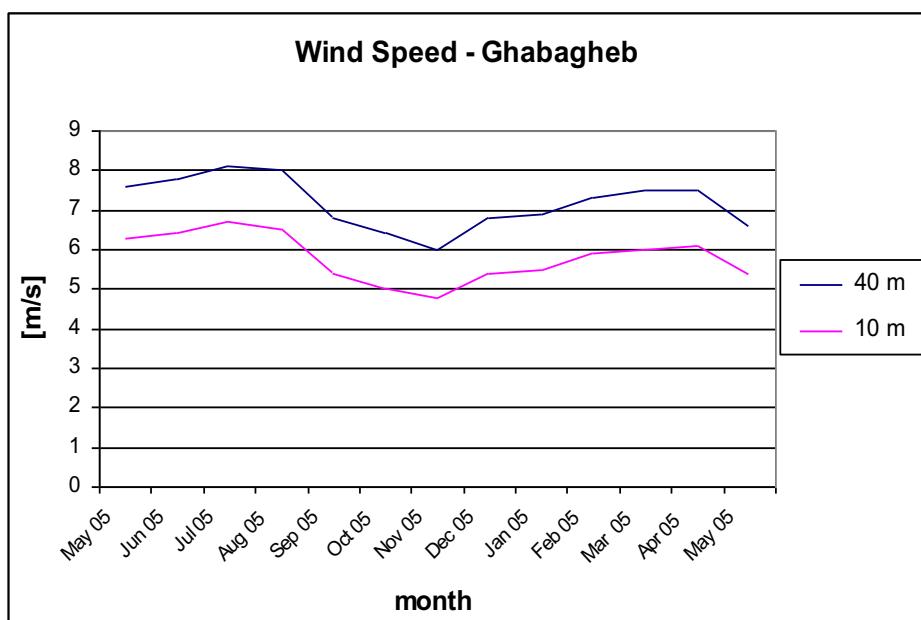
الجدول التالي (3-1) يوضح الرسم البياني للمتوسط الشهري للبيانات المقاسة .

الشهر	بيانات المستعادة	سرعة الرياح عند 40 مترا	سرعة الرياح عند 10 مترا
		شهريا يعني [م / ث]	شهرية يعني [م / ث]
4 تشرين الأول	% 21	6.0	4.8
4 تشرين الثاني	% 83	6.6	5.4
4 كانون الأول	% 0		
5 كانون الثاني	% 0		
5 شباط	% 0		
5 آذار	% 0		
5 نيسان	% 0		
5 أيار	% 74	7.6	6.3
5 حزيران	% 100	7.8	6.4
5 تموز	% 100	8.1	6.7
5 آب	% 100	8.0	6.5
5 أيلول	% 100	6.8	5.4
5 تشرين الأول	% 100	6.4	5.0
5 تشرين الثاني	% 100	6.0	4.8
5 كانون الأول	% 100	6.8	5.4
6 كانون الثاني	% 100	6.9	5.5

5.9	7.3	% 100	6 شباط
6.0	7.5	% 100	6 آذار
6.1	7.5	% 100	6 نيسان
5.4	6.6	% 85	6 أيار

الجدول(3-1) سرعة الرياح الشهرية

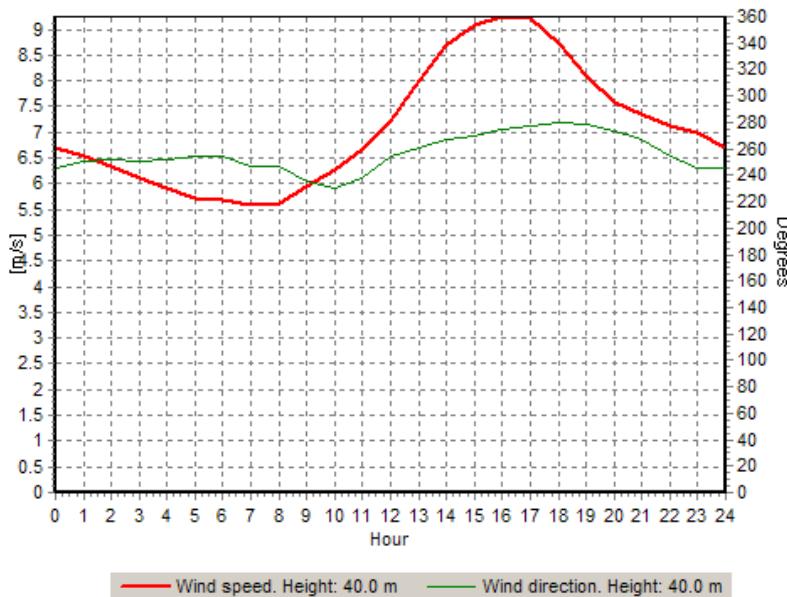
ويبين الشكل التالي (3-3) متوسط سرعة الرياح في أشهر السنة :



الشكل (3-3) متوسط سرعة الرياح الشهري

توزيع سرعة الرياح السنوي يوضح أقوى الرياح يمكن ملاحظتها خلال أشهر الصيف تموز وآب . ومع ذلك يبدو أن التوزيع أكثر توازناً مما عليه في مواقع أخرى في سوريا.

2-3-4 التوزيع اليومي للرياح: يبين الشكل التالي (4-3) سرعة الرياح على مدار اليوم:



الشكل (4-3) سرعة الرياح اليومية

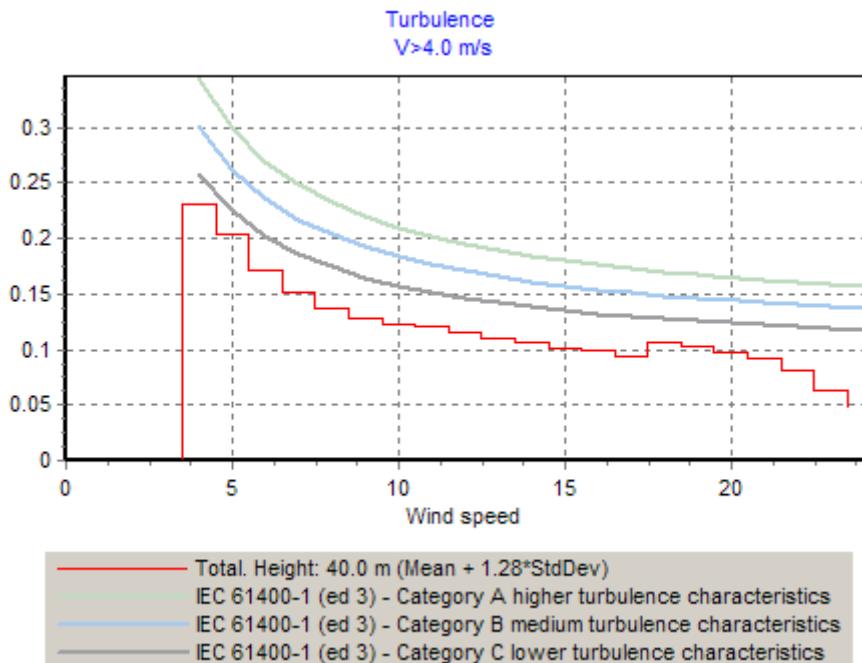
منحنى متوسط سرعة الرياح اليومية يبين أعلى قياس في فترة ما بعد الظهر ، تبعاً للتأثير الحراري خلال آخر وقت من اليوم . بالنظر في أشهر الرياح عالية السرعة تموز وآب القمم اليومية تبدو بشكل أكثر وضوحا.

3-5-2 اتجاه الرياح

اتجاه الرياح السائدة في غباغب من الغرب إلى الجنوب الغربي . فقط خلال أشهر الشتاء (تشرين الثاني ، كانون الأول) الرياح تأتي من الشرق ولكن بشكل أضعف

3-5-3 كثافة الاضطرابات

الرسم البياني التالي بالشكل (3-5) يبين شدة الاضطراب كتابع لسرعة الرياح . يمكن رؤية أن الاضطراب منخفض نوعاً ما ، والتوربين الذي تم تصميمه وفقاً لتصنيف IEC للاضطرابات ، الفئة (C) ستكون كافية للموقع. معيار التوصية القياسية يتعلق بالحد الأدنى للمسافات بين التوربينات (3 مرات قطر الدوار بين الأعمدة و8 أضعاف قطرها بين الصنوف) وهذا لا يسبب أي مشكلة. على الأرجح تحديد الموقع الأكثر كثافة للتوربينات سوف يكون ممكناً من وجهاً نظر الاضطرابات ، ولكن كفاءة مزرعة الرياح ينبغي اتخاذها في الاعتبار أيضاً.



الشكل (5-3) شدة الاضطراب

4-5-4 منطقة الرياح - القيم القصوى

و بالنسبة لتصميم WEC الأنواع التالية تتعلق بالاستقرار وبقوه البناء للتصميم الشامل و افتراضات الأحمال المختلفة وفقاً IEC .

4	3	2	1	فئة IEC
30	37.5	42	50	V_E [m/s] في ارتفاع المحور
6	7.5	8.5	10	V_M [m/s] في ارتفاع المحور

الجدول (2-3) سرعة الرياح في ارتفاع المحور لكل فئة وفق IEC

V_E [m/s] : سرعة الرياح الشديدة. أي الحد الأقصى لمتوسط عشرة دقائق. الذي سوف يتم التوصل إليه مرة واحدة في 50 سنة

V_M [m/s] : متوسط سرعة الرياح السنوي (المتوسط لمدة عشر دقائق)

أعلى سرعة رياح (متوسط 10 دقائق) والمسجل في برج القياس خلال فترة القياس كانت أعلى على ارتفاع 40 مترا ، أعلى سرعة رياح سجلت في 10 م كانت 21.3 م / ث.

أقصى سرعة رياح باحتمال لمرة واحدة في 50 سنة يمكن أن تقدر الرياح الشديدة من قبل الاستقراء ، ولكن عادة يوصى باستخدام البيانات المقابلة ما لا يقل عن 3-4 سنوات لإجراء

لضمان موثوقية النتائج. تطبيق هذا الإجراء من شأنه أن يؤدي ذلك إلى سرعة الرياح الشديدة عند حوالي 32 م / ث في الارتفاع 40m وعلى موقع برج القياس.

ومع ذلك ، في هذه القضية إن موقع القياس لا يمثل أعلى سرعة الرياح في الموقع ككل . وحسابات الطاقة المفصلة تبين أن متوسط سرعة الرياح في 55 م (ارتفاع محور العنفة) يصل إلى أكثر من 9 م / ث. لذلك ، لموقع غاب غبار التوربينات الوحيدة التي تصمم وتصدق هي وفقاً لـ IEC الفئة الأولى والموصى بها.

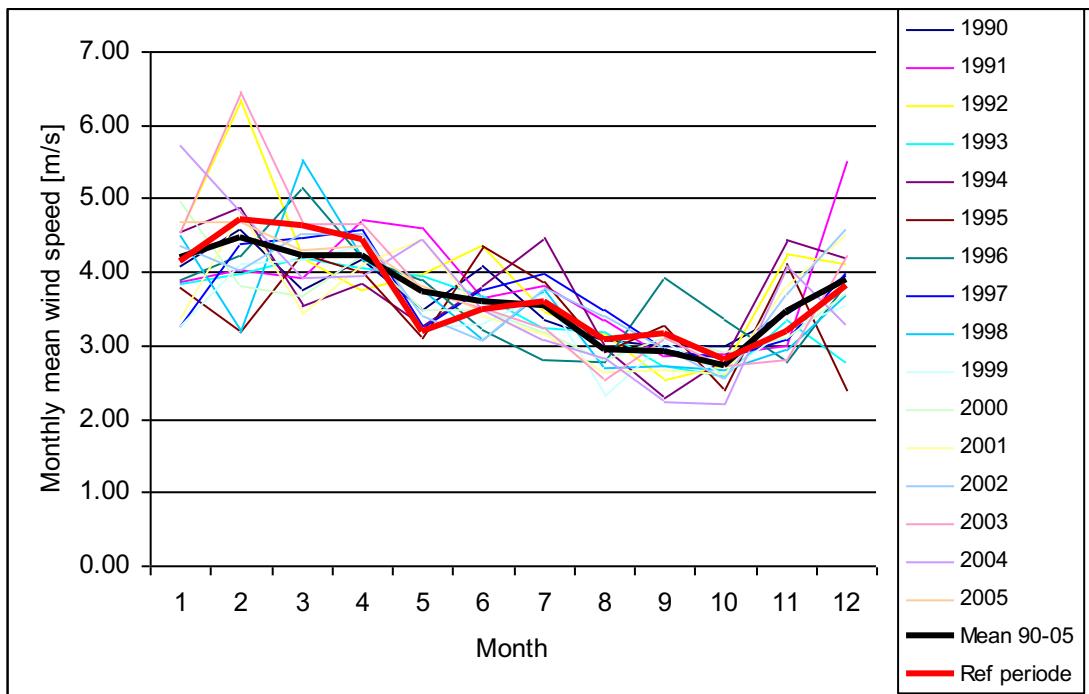
3-5-5 المقارنة مع بيانات المدى الطويل :

لتقييم ما إذا كانت فترة 12 شهر قياس تمثل عن متوسط طويل الأجل ، ويمكن استخدامها للحصول على التنبؤ بالطاقة الإنتاجية فإن ارتباط التحليل مع بيانات المدى الطويل سيكون مطلوباً. تأرجح الطاقة من سنة إلى سنة أخرى يختلف في مناطق مختلفة (أي في ألمانيا يمكن يصل إلى حوالي 30٪ خلال مدة الطاقة)

لمثل هذه العلاقة القياسات طويلة الأجل الموثوقة سوف تكون مطلوبة .

ل مجرد نظرة نوعية ، البيانات تم إعادة تحليلها وتم تقييمها ، و تتكون من سلاسل زمنية (6 ساعات) لسرعة الرياح واتجاهها. لا تقاس هذه البيانات فقط ولكن تحسب على أساس الأقمار الصناعية للأرصاد الجوية كشبكة - 2.5 درجة * 2.5 درجة في جميع أنحاء العالم. ويمكن لهذه البيانات وصف التطور العام والتباين في حالة المناخ في الغلاف الجوي لكنها لا تأخذ في الاعتبار الظروف المفصلة الموقع والتي لا يمكن استخدامها للتنبؤ الحقيقي بسرعة الرياح.

ينظر الرسم البياني التالي بالشكل (6-3) التطور شهرياً لوسطي سرعة الرياح و المحسوب لنقطة الشبكة E35° N 32.5°



الشكل (3-9) تطور البيانات المحللة

إن مقارنة لمتوسط سرعة الرياح 3.66 م / ثانية خلال الفترة 1990 حتى 2005 مع متوسط سرعة الرياح 3.69 م / ثانية خلال فترة القياس بالموقع تبين أنه خلال فترة القياس لم تتحرف البيانات من فترة طويلة. ومن الواضح أن الآثار المناخية تساهم بقوة في غباغب الرياح لا يمكن تحديدها من هذا القبيل. لذلك الاختلافات على المدى الطويل لا تزال موجودة .

في الوقت الحاضر لا يوجد أساس لتسوية أو تصحيح طويل الأجل للتنبؤ بالطاقة الإنتاجية.

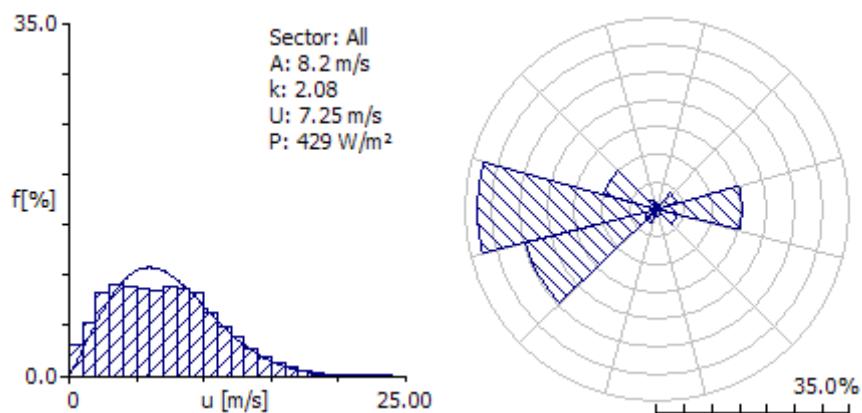
الجدول التالي و الرسم البياني يوضحان نتيجة ويبوول (من خلال WASP) لقياسات WASP Wind Atlas Analysis and 10m 40m من 9 أيار 2005 لـ 8 أيار 2006 . (Application Program

للحظ أن الرسم البياني مع البيانات المقاسة لديه حد الأقصى أكبر من منحني ويبوول وكذلك وسطي سرعة الرياح من البيانات المقاسة تتحرف قليلاً عن وسطي السرعة المستمد من توزيع ويبوول . ومع ذلك ، فإن التباين في كثافة الطاقة منخفض جدا ، لذلك مجموعة البيانات مناسبة لاستخدامها في نمذجة WASP .

الارتفاع المناسب ويبوول	ك	أ	كثافة الطاقة	السرعة الوسطية	طاقة الطاقة	قياس البيانات	النماذج
م	--	م / ث	واط / متر مربع	واط / ث	م / ث	%	السرعة الوسطية
م		م / ث	واط / متر مربع	واط / ث	م / ث	%	النماذج

1.6	0.4	5.7	239	5.80	240	1.90	6.5	10
2.61	0.15	7.06	428	7.25	429	2.08	8.2	40

الجدول (3-3) مقارنة بين تناسب ويبوول والبيانات المقاسة

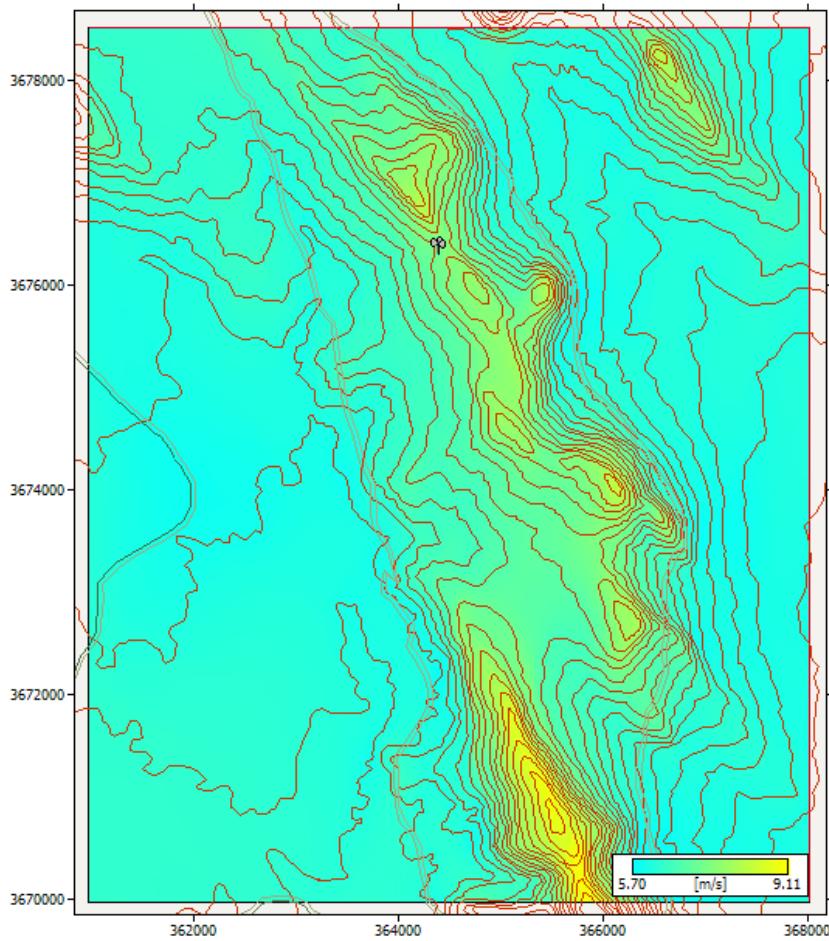


الشكل (3-10) الرسم البياني وتوزيع واسب ويبوول لقياسات سرعة الرياح 40 مترا

الرسم البياني يبين أن قياس توزيع سرعة الرياح ينحرف عن توزيع ويبوول (توزيع ويبوول هو شرط مسبق لتطبيق نموذج أطلس الرياح). والانحراف لا يزال مقبولاً.

6-5-3 خريطة الموارد

باستخدام الأطلس الرياح 40m لمنطقة غباغب وعلم الجبال ووصف الخشونة وخرائط الموقع الطبوغرافية فإن كثافة الطاقة المتوقعة تبلغ مساحتها حوالي $7 \text{ كم} * 10 \text{ كم}$ و محسوب في الشبكة $50 \text{ م} * 50 \text{ م}$



الشكل (3-11) خريطة الموارد

ومن الواضح أعلى سرعة للرياح على طول القمة ، وهو المكان المقترن لتحديد موقع التوربينات. وفي البداية المنطقة الجنوبية، وهناك تلة أخرى ذات رياح بسرعات أعلى ، ولكن هناك منحدرات وأنه سيكون من الضروري التحقيق في ما إذا كان البناء في هذا التل سيكون ممكنا. أن نموذج التنبؤ يصبح ضعيفا عند المنحدرات المحيطة في الموقع ثم إن حساب النموذج يميل إلى المبالغة في تقدير العائد الطاقة الكامنة.

اختيار العنفة:

العنفة المختارة هي من النوع: **vestas V90 -3.0MW**

معلومات العنفة : **(Vestas V90–3.0 MW)**

الاستطاعة الاسمية : **3 MW**

تردد الكهرباء : **50/60 HZ**

نوع المولد : مولد تحربي مضاعف التغذية 4 أقطاب

السرعة الابتدائية للرياح : 3.5 m/s

السرعة الاسمية للرياح : 15 m/s

السرعة النهاية للرياح : 25 m/s

فئة IEC : 1A

درجة حرارة التشغيل : -20 C – 40 C

قطر الدوار : 90 m

المساحة الممسوحة : 6.362 m2

سرعة دوران الدوار : 16.1 rpm

نظام الكبح : نظام تجنب الرياح بزوايا ميل للريش

ارتفاع البرج : 65 m – 90 m

طول الشفرات : 44 m

عدد العنفات الازمة:

$$N. \text{ of Turbines} = \frac{\text{P of wind farm}}{\text{P of turbine}}$$

$$N. \text{ of Turbines} = \frac{100 [\text{MW}]}{3 [\text{MW}]} = 34 \text{ Turbines}$$

تحديد معامل الخشونة :

وفقا للبيانات المقاسة في الموقع حيث وجدنا أن سرعة الرياح الوسطية عند ارتفاع 10 m تساوي 5.8 m/s وعند ارتفاع 40 m تساوي 7.17 m/s واعتمادا على العلاقة التالية يمكننا حساب معامل الخشونة للموقع كما يلي:

$$V_B = V_A \left(\frac{h_B}{h_A} \right)^\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\ln \frac{V_B}{V_A}}{\ln \frac{h_B}{h_A}}$$

$$V_B = V_{40} = 7.17 \text{ m/s}$$

$$V = V_{10} = 5.8 \text{ m/s}$$

بالتعميض نجد:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{7.17}{5.8}\right)}{\ln\left(\frac{40}{10}\right)} = 0.153$$

و هذه القيمة لمعامل الخشونة منطقية نظراً لطبيعة موقع غاغب.

نحسب متوسط سرعة الرياح عند ارتفاع 75 m كما يلي:

$$V_{75} = V_{40} \left(\frac{h_{75}}{h_{40}} \right)^\alpha = 7.17 \left(\frac{75}{40} \right)^{0.153} = 7.9 m/s$$

نحسب السرعة على ارتفاع آخر وهو 90m كما يلي

$$V_{90} = V_{75} \left(\frac{h_{90}}{h_{75}} \right)^\alpha = 7.9 \left(\frac{90}{75} \right)^{0.153} = 8.12 m/s$$

نلاحظ أن سرعات الرياح عند الارتفاعات الثلاثة متقاربة وذلك نتيجة للقيمة المنخفضة لمعامل الخشونة.

لهذا فإن اختيارنا للعنفة ذات الارتفاع الأقل (80m) سيكون مقبول عملياً واقتصادياً لذلك سنعتمد الارتفاع 75 m لإجراء الحسابات المختلفة للمزرعة.

حساب القدرة الممكن توليدها من المزرعة الريحية حسب رايلى:

طريقة توزيع ويبول لاحتمالية تغيرات الرياح في الموقع: (Weibull probability Distribution) و تتعلق هذه الطريقة بالتابع الذي يرمز له h والذي يعتمد على محددتين

محدد الشكل ويرمز له k ومحدد القياس ويرمز له c .

تعطى احتمالية تغيرات سرعة الرياح V خلال أي فترة من الزمن حسب العلاقة التالية:

$$h(v) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k}$$

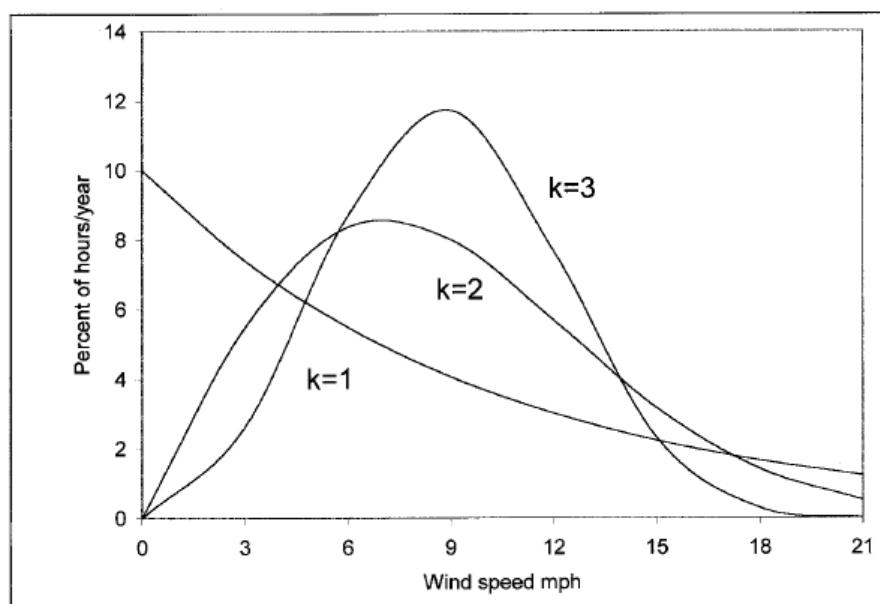
$C = 1.128 * V_{mean}$ حيث:

: V_{mean} متوسط سرعة الرياح في الموقع

وذلك من أجل تغير السرعة لانهائية $\infty < v < 0$ وفق العلاقة

$$\int_0^{\infty} h \cdot dv = 1$$

ويبيين الشكل التالي (3-12) منحنيات توزيع ويبيول لاحتمالية تغير الرياح:

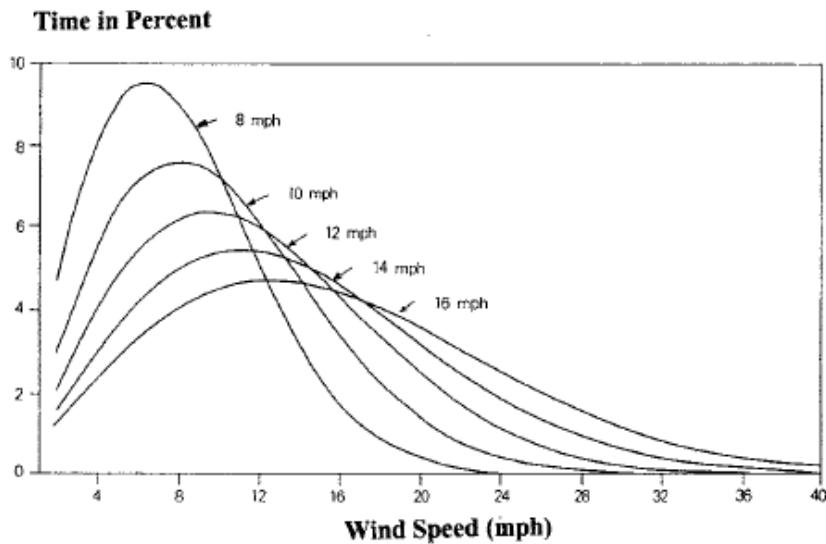


الشكل (3-12) طريقة توزيع ويبيول لاحتمالية تغير الرياح

يعبر ($K=1$) عن توزيع متعدد

يعبر ($K=3$) عن منحني التوزيع المقارب لشكل الجرس

يعبر ($K=2$) عن توزيع رايلي الذي سنعتمد عليه لحساب القدرة المنتجة سنوياً من المزرعة الريحية



الشكل (3-13): توزع احتمال ويبول لمحدد شكل $c=2$ وقيم مختلفة لمحدد القياس K على النحو التالي.

استناداً إلى ما ذكر أعلاه يمكننا تلخيص توزيع ويبول استناداً إلى معامل الشكل K على النحو التالي.

$$n_i = 8760 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{v_i}{\bar{v}^2} \times e^{-K}$$

حسب رايلى لدينا:

n_i : عدد الساعات التي تهب فيها الرياح عند السرعة v_i
 \bar{v} : متوسط سرعة الرياح عند الارتفاع المطلوب

$K = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{v_i}{\bar{v}} \right)^2$
 باستخدام هذه العلاقة يتم حساب عدد ساعات هبوب كل سرعة من سرعات الرياح في الموقع.
 فعند سرعة رياح 4 m/s يكون:

$$K = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{4}{7.9} \right)^2 = 0.2013$$

$$n_4 = 8760 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{4}{(7.9)^2} \times e^{-0.2013} = 722 \text{ hour}$$

بتكرار هذه العملية بالنسبة لسرعات الرياح المختلفة نجد الجدول التالي
 (4-3)

سرعات الرياح m/s	عدد ساعات الهبوب [hours]
1	218

419	2
592	3
723	4
807	5
844	6
837	7
793	8
721	9
637	10
536	11
438	12
349	13
268	14
199	15
144	16
101	17
69	18
46	19
28	20
19	21
1	22
7	23
4	24
3	25

جدول (4-3) عدد ساعات الهبوب لكل سرعة من سرعات الرياح

بعد الحصول على توزيع رايلي نقوم بحساب الاستطاعة عند كل سرعة من السرعات بتطبيق العلاقة التالية:

$$P_i = 0.95 P_n n_i \left(\frac{v_i}{v_n} \right)^3$$

P_i : الاستطاعة المتولدة عند السرعة v_i

P_n : الاستطاعة الاسمية عند السرعة v_n

$v_n = 15 \text{ m/s}$
ف عند سرعة رياح 4 m/s مثلاً، يكون:

$$P_4 = 0.95 \times 3000 \times 723 \times \left(\frac{4}{15} \right)^3 = 39074 KWh / year$$

وبتكرار هذه العملية نحصل على باقي القيم. الجدول (5-3)

القدرة المنتجة [KWh/year]	عدد ساعات الهبوط [hours]	سرعة الرياح [m/s]
85184	807	5
153945	844	6
242431	837	7
342856	793	8
443845	721	9
537908	637	10
602437	536	11
639126	438	12
647477	349	13
620995	268	14
567147	199	15
498071	144	16
419022	101	17
339810	69	18
266432	46	19
189154.5	28	20
148587	19	21
8991.6	1	22
71920	7	23
46694	4	24
39583	3	25

جدول (5-3) الاستطاعة والقدرة المنتجة من العنفة الواحدة

من الجدول نجد أن القدرة المنتجة خلال السنة من العنفة الواحدة:

Total Energyr From Turbine=6846888kwh/year=6.846Gwh/year

توزيع العنفات:

سيتم توزيع العنفات بحيث تكون المسافة هي 3 أضعاف قطر الدوار بين الصنوف العمودية بالنسبة لسرعة الرياح السائدة و 8 أضعاف قطرها بين الصنوف ، وذلك انطلاقاً من الدراسة الجغرافية للموقع ، وبناء على توصيات اللجنة الكهروتقنية الدولية (أو ما يعادلها من شهادات وفقاً لمعايير وطنية مثل **نمط الاختبار الألماني** ، أو المعايير الدانماركية دي إس أو الهولندية).

كما سيتم توجيه العنفات باتجاه الغرب و الجنوب الغربي وفقاً لوردة الرياح.

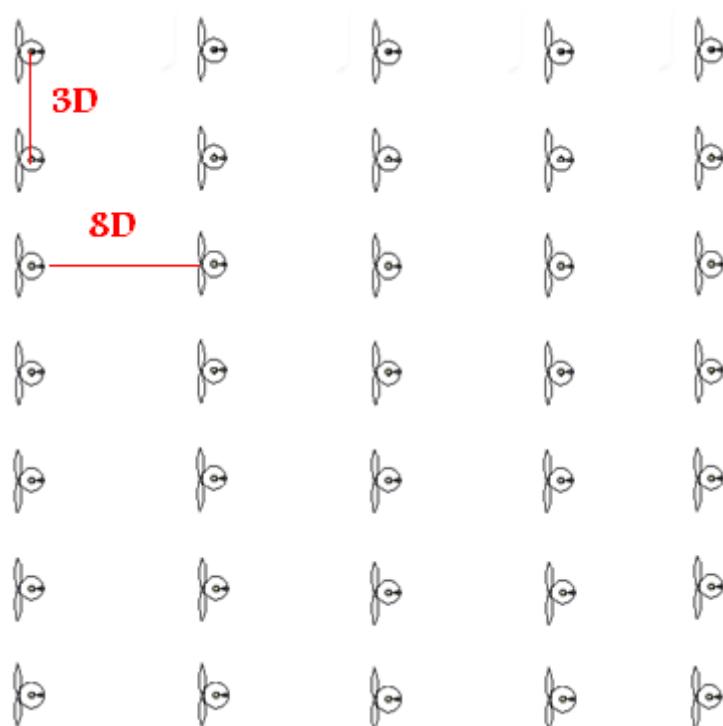
أي المسافة بين عنفتين ضمن نفس الصف:

$$3xD = 3 \times 90 = 270 [m]$$

أما المسافة بين عنفتين متتاليتين ضمن صفين متتاليين:

$$8XD = 8 \times 90 = 720 [m]$$

و بالتالي يصبح مخطط المزرعة كما يلي: الشكل (3-14)



الشكل (3-14) مخطط توزيع عنفات المزرعة الريحية

أي أن مساحة المزرعة:

$$32D \times 18D = 576D^2 = 576 \times (90)^2 = 4665.6 [Km^2]$$

الدراسة الكهربائية

1- حساب التيار الأسمى وكابلات العنفة الواحدة:

بحساب التيار الأسمى للعنفة الواحدة وباعتبار:

$$\text{استطاعة خرج العنفة } P = 3 \text{ MW}$$

$$\text{وتتر الخرج للعنفة } U = 690 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0.95$$

$$I_T = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \phi} = \frac{3 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 690 \times 0.95} = 2642.33 A$$

ويتم توزيع التيار العنفة على ثمانية كابلات نحاسية هوائية بعدأخذ عامل أمان لدرجة الحرارة المحيطة وتجاور الكابلات

$$I_{cable} = \frac{I_T}{\text{cables number}} \times \text{correction factor}$$

$$= \frac{2642.33 A}{8} \times 1.1 = 363.321 A$$

ومن خلال جدول سعة مقاطع الكابلات للتيار يمكن تحديد مقطع الكابل عند درجة حرارة محيطة بالكابل الهوائي نساوي 300 حسب النظام الألماني VDEOZ 710

الكابلات في الهواء الطلق		الكابلات المطمورة في الأرض		المقطع mm ²
نواقل آلة	نواقل شاحن	نواقل آلة	نواقل شاحن	
[A]	[A]	[A]	[A]	
-	17.5	-	27	1.5
-	24	-	36	2.5
25	32	36	45	4
32	41	45	58	6
44	57	60	77	10
59	76	78	100	16
69	101	100	130	25
97	125	120	155	35
118	151	145	185	50
150	192	175	230	70
181	232	215	275	95
215	269	245	315	120
240	309	275	355	150
275	353	310	400	185
323	415	360	465	240
371	475	410	520	300
444	565	470	600	400

جدول سعة مقاطع الكابلات للعيار

ومن الجدول الكيل المقترن هو ذو مقطع 240mm² الذي سيممر تيار 363A

وللحصول على إختيار المقطع المناسب نقوم بحساب نسبة هبوط الجهد الأسمى ويجب أن لا تتعدي . 5%

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100\%$$

$$\Delta U = I_n(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

ومن خلال الجدول المدرج في الملحق تم معرفة R وX للكيل 240mm² المختار .

$$R = 0.081 \Omega/Km \times 0.105 Km = 8.505 \times 10^{-3} \Omega$$

$$X = 0.079 \Omega/Km \times 0.105 Km = 8.259 \times 10^{-3} \Omega$$

$$\Delta U = 363.32 * (8.505 \times 10^{-3} \times 0.85 + 8.259 \times 10^{-3} \times 0.526) = 4.2 V$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100 \% = \frac{4.2}{690} \times 100 \% = 0.609 \% < 5\%$$

فالقطع $240mm^2$ أصبح يحقق شرط هبوط التوتر فهو مقبول، وبالتالي ففي هذه المجموعة داخل العنفة سنحتاج إلى ثمانية كابلات ذو مقطع $8 \times 240mm^2$ ويصل بين مولدة العنفة أعلى القمرة إلى محولة 20KV.

2- محولة أسفل العنفة :

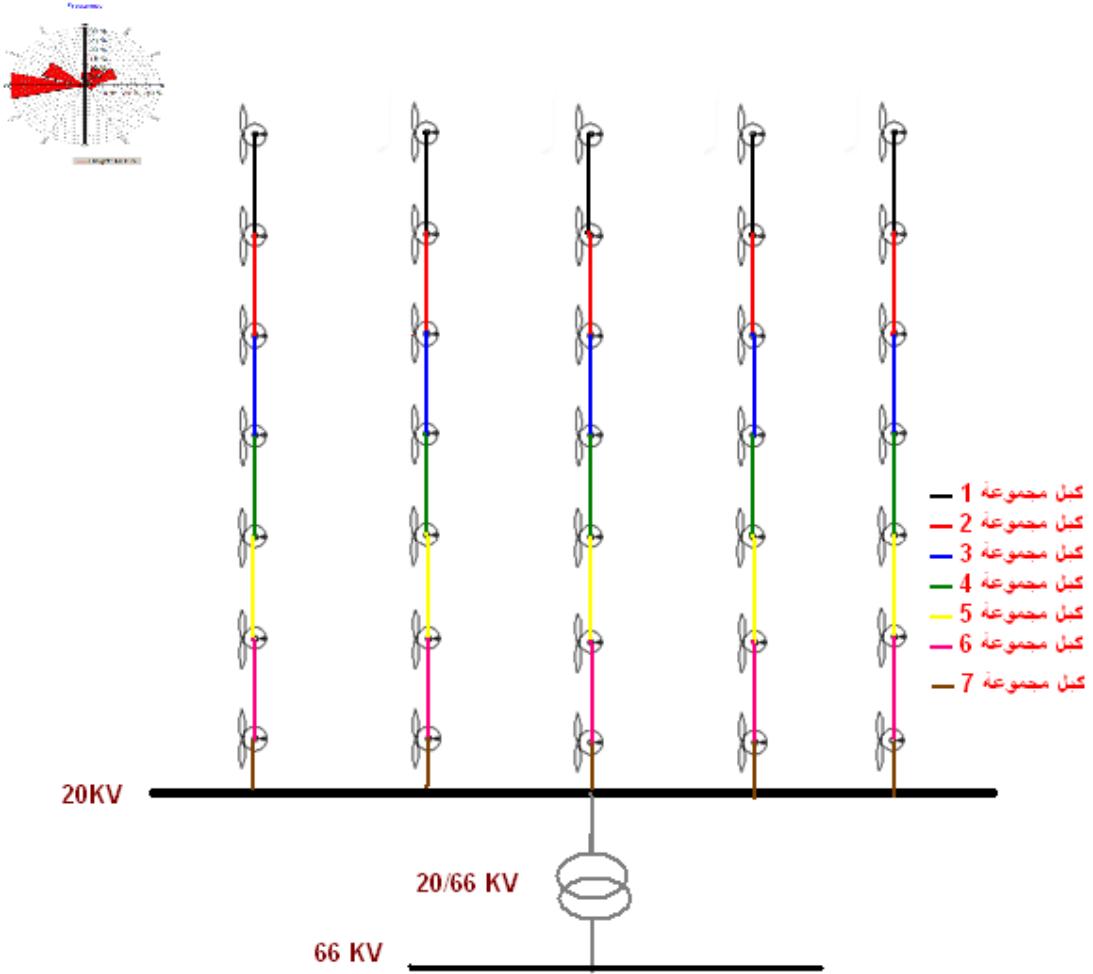
يتم وضع محولة $0.69/20 KV$ أسفل كل عنفة بإمكانية أكبر من إمكانية مولد العنفة $(1.05 - 1.25 S_n)$.

$$S_{T \text{ Transformer}} = \frac{3 \times 10^6 W}{0.95} \times 1.1 = 3473.684 \text{ KVA}$$

بالتالي بتقرير **3473.684 KVA** إلى القيم الأساسية للمحولات توضع محولة **3500 KVA** أسفل كل عنفة .

1- كابلات مزرعة العنفات الريحية :

الشكل (3-15) يظهر مخطط المزرعة مع أطوال الكابلات وطريقة وصلها:



حساب كبل مجموعه 1

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \phi} = \frac{3 \times 10^3 \text{ Kw}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ KV} \times 0.95} = 91.16 \text{ A}$$

$$I_1 = 91.16 \times 1.1 = 100.27 \text{ A}$$

$$R = 0.927 \Omega/\text{Km} \times 0.27 \text{ Km} = 0.24 \Omega$$

$$X = 0.086 \Omega/\text{Km} \times 0.27 \text{ Km} = 0.0232 \Omega$$

$$\Delta U = 127.375 (0.24 \times 0.85 + 0.0232 \times 0.526) = 27.539 \text{ V}$$

$$\Delta U \% = \frac{27.539}{20000} \times 100 \% = 0.137 \% < 5 \%$$

$$A_{\text{cable}} = 25 \text{ mm}^2$$

الجدول التالي (6-3) يبين مقاطع كابلات مزرعة العنفات الريحية و هبوط التوتر في كل كبل :

اسم الكبل	توتر الكبل KV	تيار الكبل A	R Ω	X Ω	قطع الكبل mm ²	هبوط التوتر %
	0.69	363	8.505×10 ⁻³	8.259×10 ⁻³	8×240	0.005
1	20	100.27	0.24	0.0232	25	0.034
2	20	200.55	0.06696	0.02214	95	0.02
3	20	300.82	0.0347	0.0216	150	0.017
4	20	401.1	0.0219	0.0213	240	0.0157
5	20	501.38	0.0925	0.0221	3×70	0.068
6	20	601.65	0.0347	0.0216	2×150	0.0343
7	20	701.93	0.0925	0.0221	4×70	0.287

الجدول (6-3) مقاطع كابلات مزرعة العنفات الريحية

4- محولة مزرعة العنفات الريحية :

يتم وضع محولة Kv 20/66 للمزرعة ذي إستطاعة MW 105 بكمالها بين باسبار 20 و 66kv بإستطاعة أكبر من إستطاعة المزرعة (1.05 – 1.25 S_n).

$$S_{\text{wind turbines farm Transformer}} = \frac{105 \times 10^6 \text{ W}}{0.95} \times 1.1 = 121578.94 \text{ KVA}$$

يتم وضع خمس محولات ذي نوع TMPY 25000 KVA صناعة الجمهورية العربية السورية .

نمذجة العنفة الريحية:

الهدف الأساسي هو الوصول إلى نمذجة صحيحة ودقيقة قدر الإمكان للعلاقات الرياضية المعبورة عن العنفة الريحية والتي تتمثل بشكل أساسي في معادلة الاستطاعة الميكانيكية التي يمكن الحصول عليها من الرياح ومعادلة العزم الذي سيطبق على المولد وهذا ما سنركز عليه فيما يخص العنفة الريحية.

تعطى معادلة الاستطاعة الميكانيكية للعنفة الريحية بالعلاقة التالية

$$P_m = \frac{1}{2} * \rho * A * V_{wind}^3 * C_p (\lambda, \beta) \quad (\text{eqn. 1})$$

حيث ان:

$[w]$ (الاستطاعة الميكانيكية في خرج العنفة.....)

ρ (كثافة الهواء $[kg/m^3]$) و تؤخذ عادة $1.225 [kg/m^3]$

$[m^2]$ (مساحة سطح الدوار (A))

$[m/s]$ (سرعة الرياح (V_{wind}))

Cp (معامل أداء العنفة ويعطى بالعلاقة التالية)

$$Cp = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right] \dots \dots (eqn.2) \quad (2-5)$$

V_1 : سرعة الرياح قبل الدوار

V_2 : سرعة الرياح بعد الدوار

لكن Cp يتبع لقيم β و λ حيث

السرعة النسبية لطرف الجناح الحامل (λ)

$$\lambda = \frac{\omega \times r}{V_{wind}} \dots \dots (eqn.3)$$

β : زاوية ميل الريش $[deg]$

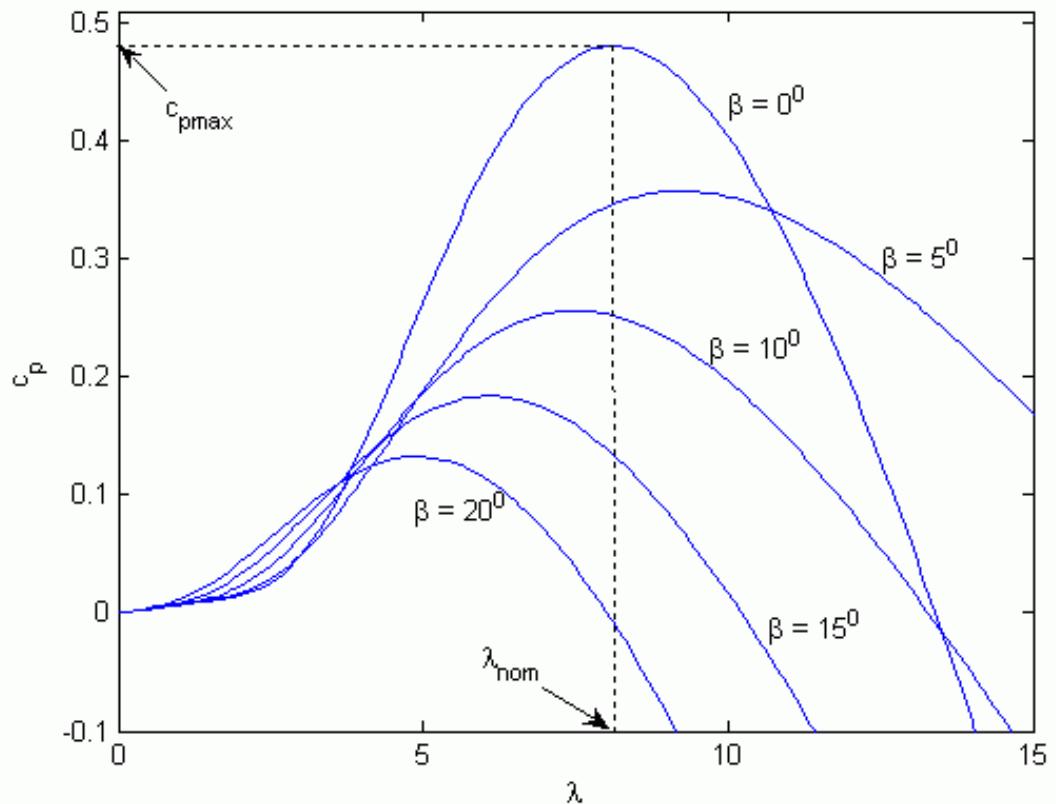
والشكل العام للعلاقة المستخدمة في النمذجة ل Cp وذلك تبعاً لمواصفات العنفة هي

$$c_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(c_2 / \lambda_i - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-c_5 / \lambda_i} + c_6 \lambda, \quad (eqn.4)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1}. \quad (eqn.5)$$

حيث: $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ ثوابت تتبع مواصفات العنفة

نلاحظ أن معامل أداء العنفة Cp تابع للسرعة النسبية لنهاية الريش λ ولزاوية ميل الريش β وهذه العلاقة موضحة من خلال الشكل (3-14)



الشكل (3-14) علاقة معامل أداء العنفة C_p بالسرعة النسبية لنهاية الريش λ
وبزاوية ميل الريش β

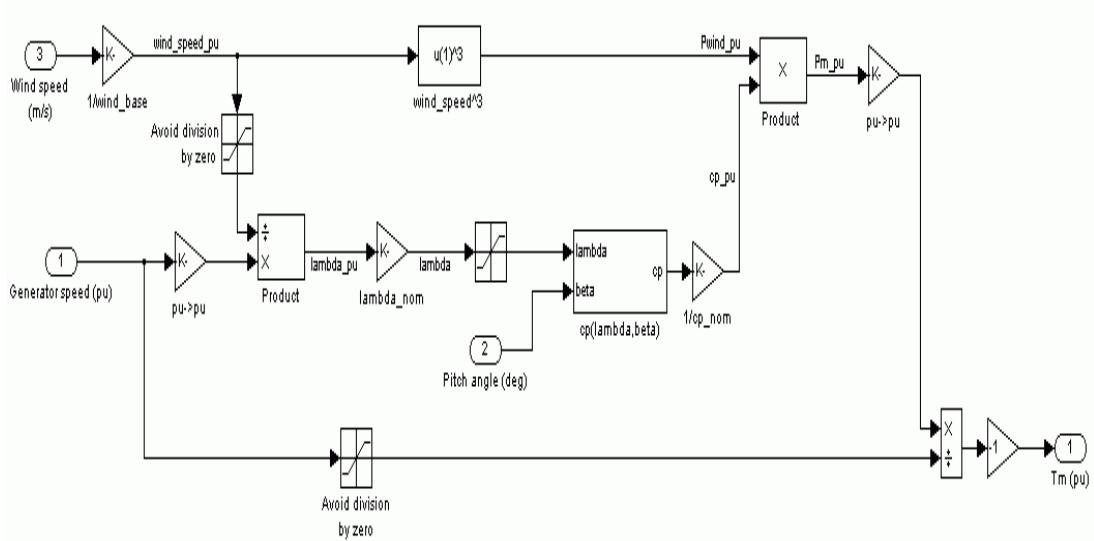
نلاحظ أن القيمة العظمى لمعامل أداء العنفة هي $C_{pmax}=0.48$ وذلك من أجل $\lambda = 8.1$ و هذه القيمة تعرف على أنها القيمة الاسمية أي $\lambda_n = 8.1$

معادلة العزم:

$$T_m = \frac{P_m}{w} \quad (eqn. 6)$$

النموذج:

من خلال برنامج الماتلاب (Matlab) يمكن الوصول إلى نموذج العلاقات الرياضية السابقة فنحصل على الموديل التالي :



الشكل(3-15) نموذج العنفة الريحية

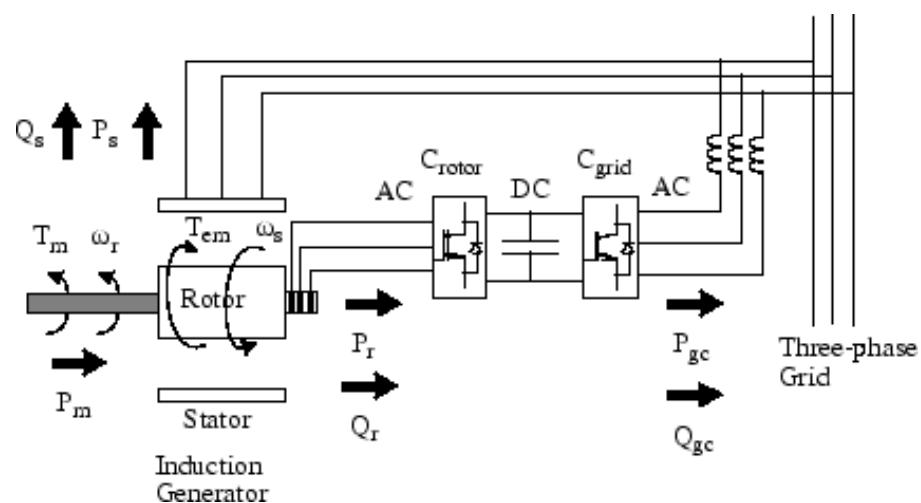
إشارة الخرج هي العزم الميكانيكي المطبق على محور المولد

في النموذج السابق لا بد من توفر إشارات الدخل الثلاث التالية

- سرعة المولد بالقيمة الواحدية $wr(pu) = wr(actual)/wr(nominal)$
- زاوية ميل الريش $\beta [deg]$
- سرعة الرياح $[m/s]$

. نمذجة المولد التحريري مضاعف التغذية:

يوضح الشكل(3-16) البارامترات الأساسية للمولد التحريري مضاعف التغذية:



الشكل (3-16) باراميترات المولد التحريري مضاعف التغذية

حيث تعرف هذه المحددات كما يلي:

Pm : الاستطاعة الميكانيكية في خرج العنفة والمقدمة الى دائرة المولد

Ps : استطاعة الخرج الفعلية للثابت

Qs : استطاعة الخرج الرديبة للثابت.

Pr : استطاعة الخرج الفعلية للدائرة

Qr : استطاعة الخرج الرديبة للدائرة

Pgc : استطاعة الخرج الفعلية لمبدل جانب الشبكة .

Qgc : استطاعة الخرج الرديبة لمبدل جانب الشبكة.

Tm : العزم الميكانيكي المطبق على الدائرة

Tem : العزم الكهرومغناطيسي المطبق على الدائرة من قبل المولد

Wr : السرعة الزاوية للدائرة .

ws : السرعة الزاوية للحقل المغناطيسي في الثغره الهوائية للمولد وتعبر بالسرعة التزامنية وهي متناسبة مع تردد توتر الشبكة وعدد الأقطاب.

J : عزم العطالة .

1-2-5 المعادلات الأساسية للنموذج:

الاستطاعة الميكانيكية

$$Pm = Tm * wr \quad (eqn.7)$$

استطاعة الخرج الفعلية للثابت

$$Ps = Tem * ws \quad (eqn.8)$$

معادلة الحركة الميكانيكية للدائرة:

$$J \frac{d\omega r}{dt} = Tm - Tem \quad (eqn.9)$$

في الحالة المستقرة يكون

$$Tm = Tem \quad (eqn.10)$$

$$Pm = Ps + Pr$$

وبالتالي بالتعويض نجد:

$$Pr = Pm - Ps = Tm * \omega r - Tem * \omega s = -s * Ps \quad (eqn. 11)$$

حيث s : الانزلاق ويعطى بالعلاقة:

$$s = (\omega s - \omega r) / \omega s \quad (eqn. 12)$$

إن إشارة Pr تابعة لإشارة ω وتكون موجبة لانزلاق سالب (سرعة المولد أكبر من السرعة التزامنية) وسالبة لانزلاق موجب (سرعة المولد أصغر من السرعة التزامنية).

تردد الدائر:

$$\text{حيث } F : \text{تردد الشبكة} \quad fr = S * f \quad (eqn. 13)$$

معادلات حالة التشغيل فوق التزامن:

سرعة الدائر

$$n = 60/p * (f + fr) \quad (eqn. 14)$$

حيث p : عدد أزواج الأقطاب

$$n = ns * (1 + s) \quad (eqn. 15)$$

الانزلاق:

$$s = fr/f \quad (eqn. 16)$$

الاستطاعة الميكانيكية:

$$pm = (1 + s) * pr \quad (eqn. 17)$$

العزم الميكانيكي:

$$Tm = 0.955 * pr/ns \quad (eqn. 18)$$

معادلات حالة التشغيل تحت التزامن:

$$n = 60 * (f - fr) / p \quad (eqn. 19) \quad \text{سرعة الدائر}$$

$$n = ns * (1 - s) \quad (eqn. 20)$$

الانزلاق:

$$s = fr/f \quad (eqn. 21)$$

الاستطاعة الميكانيكية:

$$pm = (1 - s) * pr \quad (eqn.22)$$

العزم الميكانيكي:

$$Tm = 0.955 * pr/ns \quad (eqn.23)$$

نمذجة الجزء الثابت من المولد التحريري مضاعف التغذية:

العلاقات الأساسية:

معادلات تيارات الثابت على المحاور d , q :

$$(\varphi qs - \varphi mq/Lis) = iqs \quad (eqn. 24)$$

$$\frac{\varphi ds - \varphi md}{Lis} = ids \quad (eqn. 25)$$

معادلات توترات الثابت على المحاور d , q :

$$vqs - Rs * iqs - \omega * \varphi ds = web * \frac{d}{dt}(\varphi qs) \quad (eqn. 26)$$

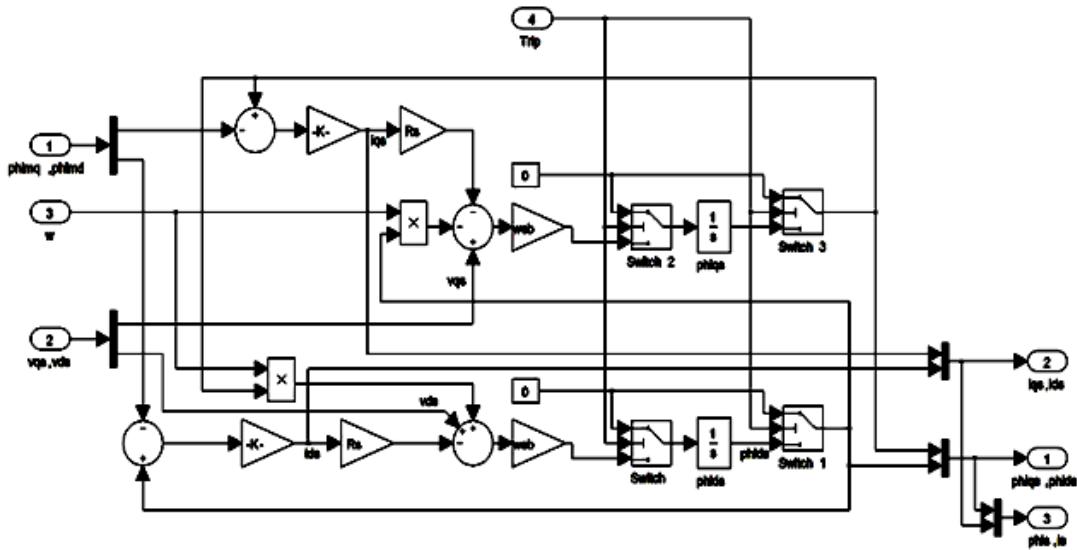
$$vds - Rs * ids + \omega * \varphi qs = web * \frac{d}{dt}(\varphi ds) \quad (eqn. 27)$$

معادلات السيالة المغناطيسية للجزء الثابت على المحاور d , q :

$$(eqn.28) \varphi iqs = - (vds - Rs * ids)/\omega$$

$$\varphi ids = - (vqs - Rs * iqs)/\omega \quad (eqn.29)$$

من خلال العلاقات السابقة وباستخدام برنامج ماتلاب يمكن الوصول إلى نمذجة الجزء الثابت حيث يبين الموديل التالي محاكاة الجزء الثابت من المولد التحريري مضاعف التغذية



الشكل (17-3) نمذجة الجزء الثابت للمولد التحريري مضاعف التغذية

-نمذجة الجزء الدائر من المولد التحريري مضاعف التغذية:

العلاقات الأساسية :

معادلات تيارات الدائر على المحاور q, d :

$$\frac{\varphi_{iqr} - \varphi_{imq}}{Lir} = iqs \quad (eqn.30)$$

$$(eqn.31) (\varphi_{idr} - \varphi_{imd}) = lir = ids$$

معادلات توترات الدائر على المحاور q, d :

$$(eqn.32) vqr - Rriqr - \omega * \varphi_{dr} = web * \frac{d}{dt(\varphi_{iqr})}$$

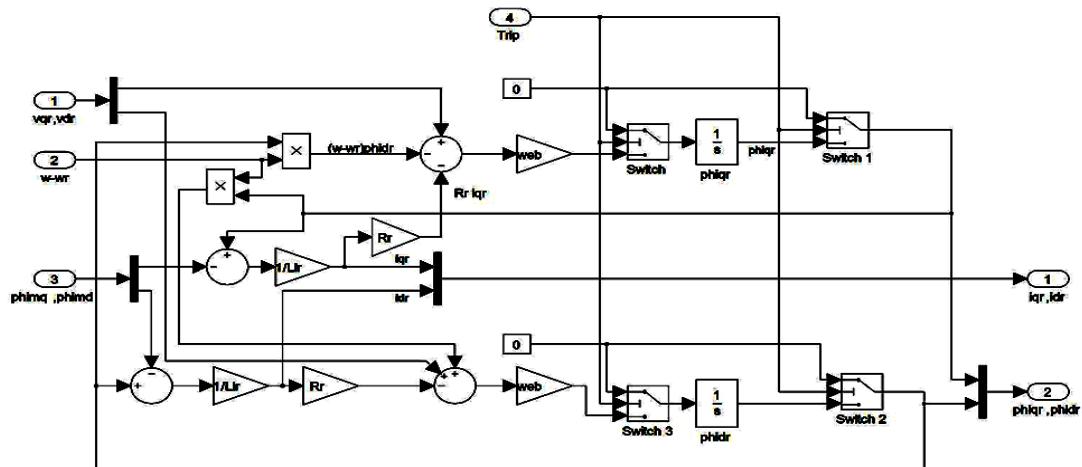
$$(eqn.33) vdr - Rridr + \omega * \varphi_{iqr} = web * \frac{d}{dt(\varphi_{idr})}$$

معادلات السيالة المغناطيسية لجزء الدائر على المحاور q, d :

$$(eqn.34) \varphi_{qr} = - \frac{vdr - Rr * idr}{\omega}$$

$$(eqn.35) \varphi_{dr} = - \frac{vqr - Rr * iqr}{\omega}$$

من خلال العلاقات السابقة وباستخدام برنامج ماتلاب يمكن الوصول إلى نمذجة الجزء الدائر حيث يبين الموديل التالي محاكاة الجزء الدائر من المولد التحريري مضاعف التغذية



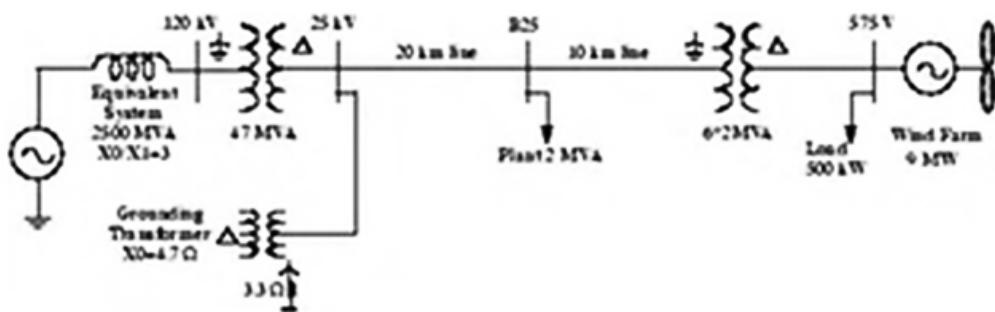
الشكل (18-3) نمذجة الجزء الدائري للمولد التحريري مضاعف التغذية

محاكاة المولد التحريري مضاعف التغذية:

العرض التالي يقدم محاكاة للمولد التحريري مضاعف التغذية باستخدام النموذج العام (phasor model) وذلك من خلال محاكاة عمل مزرعة ريحية باستطاعة 9 ميغا وات تستخدم مولدات مضاعفة التغذية تقاد بواسطة العنفات الريحية.

توصيف المزرعة الريحية:

يبين الشكل (19-3) مخطط الخط الواحد لنظام القدرة المراد محاكته من خلال بيئة Matlab



الشكل (19-3) مخطط الخط الواحد لنظام القدرة المراد محاكته

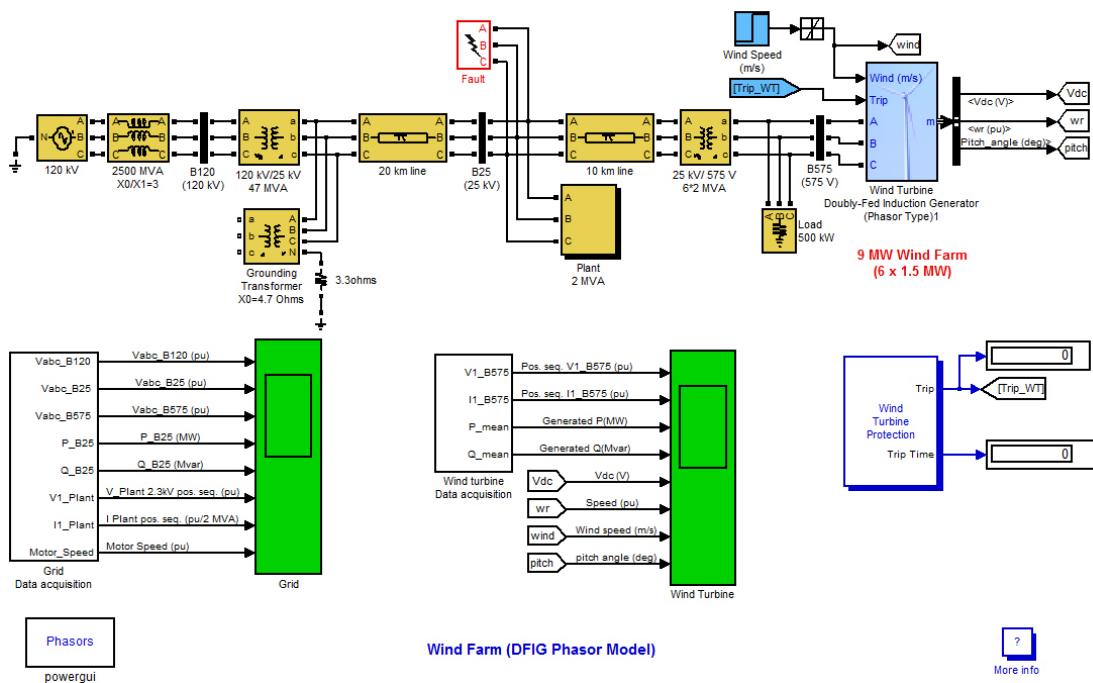
المزرعة الريحية ذات استطاعة كلية 9 MW تتتألف من 6 عنفات ريحية استطاعة كل منها 1.5 MW وتنصل المزرعة بنظام توزيع 25 KV يحقن الاستطاعة في شبكة 120 kv عبر خط نقل بطول 30 km ويحوي نظام القدرة ثلاثة قصبان تجميل (باسات) وهي $B120, B25, B575$ حيث سويات التوتر V هي $120 \text{ KV}, 25 \text{ KV}, 575 \text{ V}$ ويضاف

إلى ذلك أن المزرعة تغذي حمل أول 500 KW على الباصار B575 وحمل ثانٍ هو عبارة عن معمل 2 MVA على الباصار B25 .

المزرعة الريحية تستخدم مولد تحريري مضاعف التغذية حيث ان الثابت يتصل مباشرة بشبكة ترددتها 60 Hz والدائرة يتصل بالشبكة ايضا عبر مبدل الكتروني ترانزستوري Ac/Dc/Ac والذي يتم التحكم به من خلال تعديل عرض النبضة PWM وهذا يسمح بالحصول على اكبر قدرة ممكنة من الرياح .

4-2-نموذج المحاكاة:

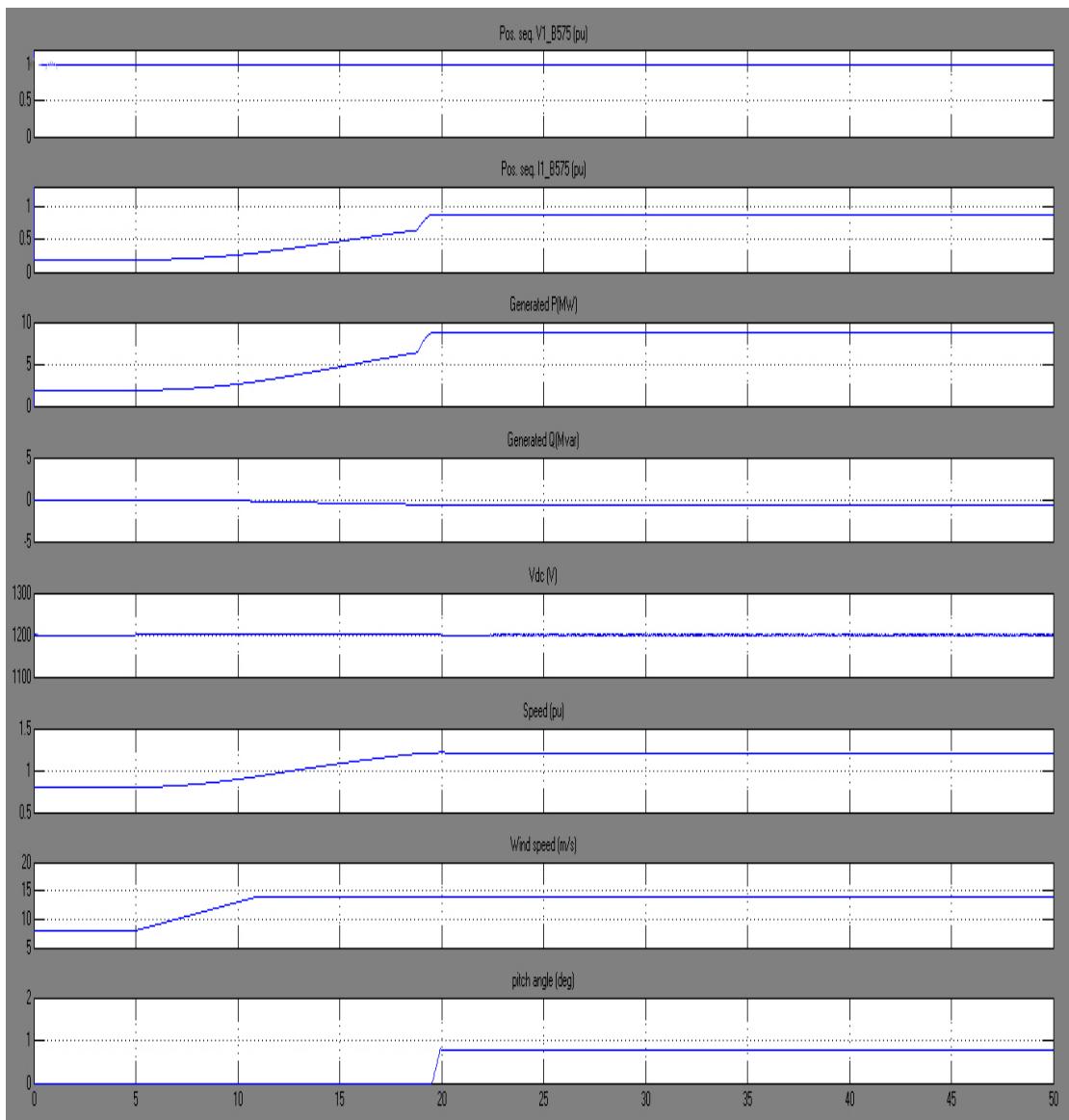
يبين الشكل (3-20) الموديل الخاص بعملية المحاكاة للمزرعة الريحية الموصفة سابقا



الشكل (3-20)الموديل الخاص بعملية المحاكاة المزرعة الريحية

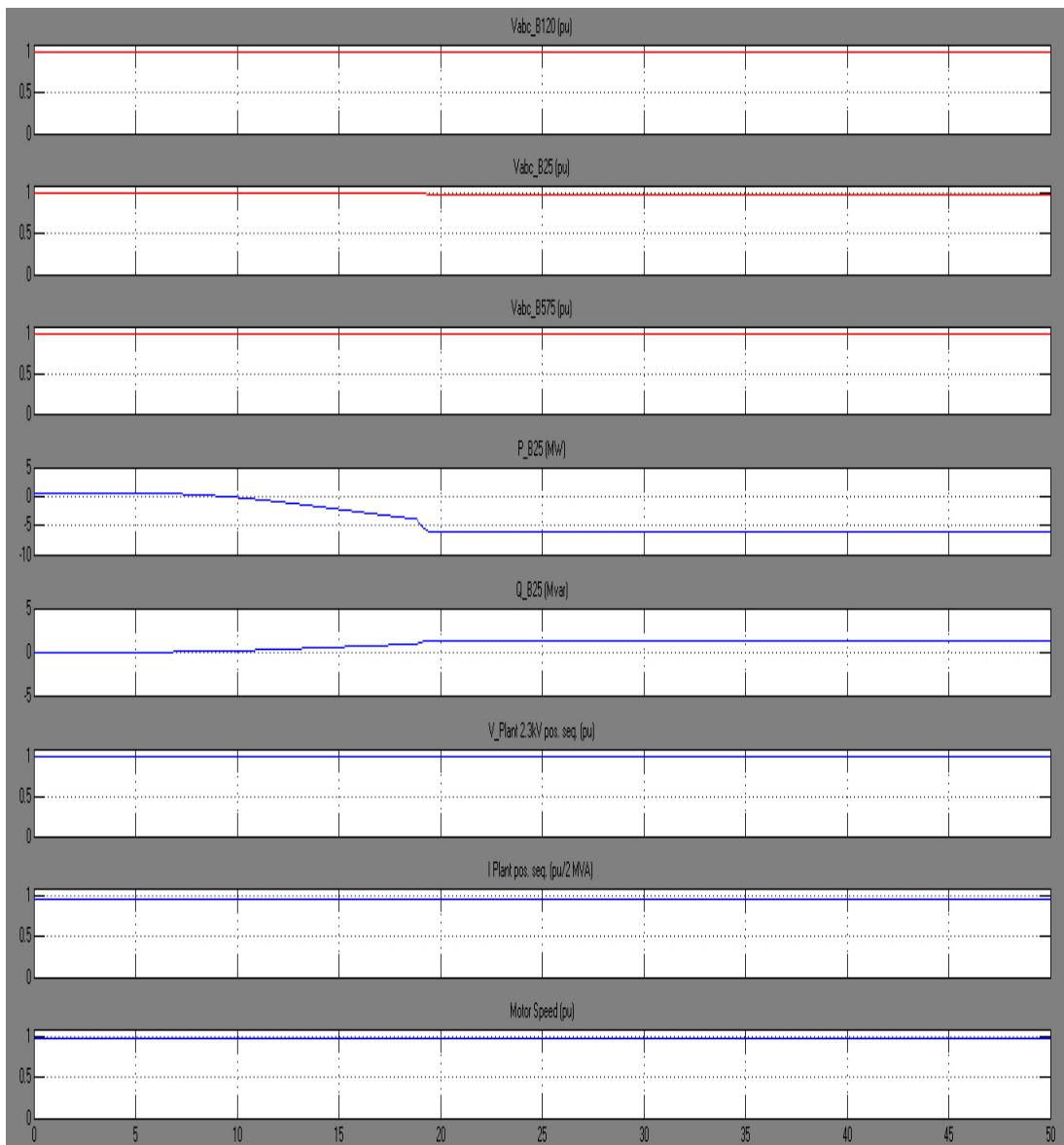
النتائج:

يبين الشكل (3-21) نتائج المحاكاة للمولد التحريري مضاعف التغذية



الشكل(3-21) نتائج المحاكاة للمولد التحريري مضاعف التغذية

وبيين الشكل(3-22) نتائج محاكاة الشبكة



الشكل (3-22) نتائج محاكاة الشبكة

-تحليل النتائج:

حيث المحددات على المخططين هي :

V1_B575 : يبين شكل التوتر المولد على الباصبار الرئيسي الذي ترتبط به كافة العنفات الريحية وهو يمثل توتر التوليد الرئيسي حيث يؤخذ كقيمة واحدية

I1_B575 : يبين شكل التيار المولد على الباصبار الرئيسي

P(MW): الاستطاعة الكهربائية الفعلية المولدة للعنفة الريحية

Q(MW) : الاستطاعة الكهربائية الرديبة للعنفة الريحية

Vdc : توتر حلقة التيار المستمر (**DC link**) للمبدل الالكتروني

: سرعة العنفة كقيمة واحدية بالنسبة لسرعة التزامنية *Speed (pu)*

: سرعة الرياح *Wind speed(m/s)*

: زاوية ميل الريش *Pitch angle(deg)*

: توتر عقدي بالقيمة الواحدية على الباسبار 120 kv *Vabc_B120(pu)*

: توتر عقدي بالقيمة الواحدية على الباسبار 25 kv *Vabc_B25(pu)*

: توتر عقدي بالقيمة الواحدية على الباسبار 75 kv *Vabc_B575(pu)*

: الاستطاعة الكهربائية الفعلية على الباسبار 25 Kv بقيمة واحدية *P_B25(pu)*

: الاستطاعة الكهربائية الردية على الباسبار 25 Kv بقيمة واحدية *P_B25(pu)*

: توتر الحمل الثاني على الباسبار 25 Kv (*pu*) *V_planet 2.3 Kv (pu)*

: توتر الحمل الثاني على الباسبار 25 Kv (*pu*) *I_planet 2.3 Kv (pu)*

: سرعة المحرك الخاص بالحمل الثاني وهو المعلم الذي يحوي محرك تحربي *Motor speed*

من خلال النتائج السابقة يمكننا ملاحظة ما يلي:

استجابة العنفة الريحية والمولد لتغيرات سرعة الرياح:

نلاحظ أن سرعة الرياح غير ثابتة فهي تتغير من 8 m/s إلى 14 m/s بشكل فجائي ضمن فاصل زمني صغير نسبيا وهو 5 sec حيث نلاحظ انه بدءا من اللحظة $t=5\text{ sec}$ تبدأ الاستطاعة الكهربائية الفعلية P المولدة من المزرعة الريحية بالازدياد تدريجيا مع ازدياد سرعة العنفات الريحية لتصل إلى الاستطاعة الاسمية للمزرعة وهي 9 MW و ذلك خلال 15 sec تقريبا

نلاحظ أيضا أن سرعة العنفة الريحية وبالتالي المولد تتغير خلال الفترة السابقة(15 sec) فترة الوصول إلى الاستطاعة الاسمية(من القيمة 0.8 pu إلى القيمة 1.21 pu) وهذا يبين أن توليد الاستطاعة الاسمية للمزرعة يتم عند العمل بنظام فوق التزامن حيث تكون سرعة دائرة المولد $nr=1.21*1200=1452\text{ rpm}$ حيث أن السرعة التزامنية للمولد هي 1200 rpm علما أن عدد الأقطاب 6 والتتردد 60 Hz .

نلاحظ أن إشارة الاستطاعة الردية Q عند الوصول إلى الاستطاعة الاسمية للمزرعة الريحية هي إشارة سالبة للدلالة على أن المولدات تستهلك استطاعة ردية من الشبكة بحدود 0.68 Mvar بالمقابل تكون هذه الاستطاعة الردية موجبة على راسم الإشارة الثاني للشبكة وهذا يدل على أن الشبكة تقدم هذه الاستطاعة لمولدات المزرعة الريحية.

و يتم التحكم بالاستطاعة الردية من خلال المبدل الالكتروني للمحافظة على توفر خرج اسمي
 1 pu

زاوية ميل الريش تتغير من 0 إلى 0.76 درجة للاحقة تغيرات الرياح والوصول الى النقطة D من خصائص نظام الملاحقة للعنفة الريحية.

أخيرا يمكن الحصول على تقرير مفصل لحسابات المزرعة الريحية المبنية بالنموذج السابق من خلال فتح الأيقونة المسماة *Phasors* ضمن النموذج نفسه و اختيار *steady state voltage . and currents*

الفصل الرابع : الدراسة الاقتصادية والتأثيرات البيئية

إن قابلية النجاح الاقتصادي للطاقة الريحية تعتمد على الربط بين المتغيرين التاليين سعر السوق لطاقة الرياح وأسعار تولیدها ومن ثم إعطاء التبريرات الاقتصادية

4-نظرة عامة عن التقييم الاقتصادي لأنظمة طاقة الريح:

وهنا سنقوم بمناقشة الجدول الآيسر من المخطط الصندوقى المذكور أعلاه.

1-1-4 كلف التوليد من العنفات الريحية المرتبطة إلى الشبكة:

Generating costs of grid connected wind turbines :

إن كلف التوليد الإجمالية لنظام عنفة ريحية منتج للكهرباء محدد بوساطة العوامل التالية:

- النظام الريحي بحد ذاته
- كفاءة استخلاص الطاقة من خلال العنفات الريحية
- صلاحية النظام
- عمر النظام
- تكاليف الصيانة والتشغيل
- التكاليف التأسيسية الكبيرة

إن البندين الأوليين تمت مناقشتها من خلال أبحاث سابقة وسنقوم الآن بدراسة البنود الأخرى

1-1-4:صلاحية النظام (أي فترة تشغيل النظام):

إن الصلاحية هي الجزء من الزمن في السنة التي تكون فيها العنفة الريحية قادرة على توليد الكهرباء، المرات التي لا تكون فيها العنفة الريحية صالحة أو قادرة على العمل تتضمن وقت الراحة في حالات الصيانة، و التصليحات غير المحددة و غير المبرمجة. الإشادات الموثوقة بالصلاحية يمكن أن تحدد فقط إذا كان هناك بيانات متوفرة عن عدد كبير من العنفات تعمل على فترة عملية تشمل العديد من السنوات.

في نهايات عام 1980 م أفضل العنفات الريحية في الولايات المتحدة الأمريكية وصلت إلى مستويات صلاحية حوالي 95 % بعد خمس سنوات من التشغيل، والبيانات الأخيرة تشير بأنه تم التوصل إلى مستويات صلاحية بحدود 98 %

1-1-4:عمر النظام :*Lifetime of the system*

حيث من الشائع مساواة عمر التصنيع بالعمر الاقتصادي في أوربا يتبع عمر اقتصادي بحدود (20) عاماً من أجل التقييم الاقتصادي لنظام الطاقة الريحية، وهذا يتبع لوصيات جمعية مصانع العنفات الريحية الدنماركية عام 1998، وتلك الحالة باعتبار عمر التصميم عشرين عاماً هي حل وسط مفيد وعملي يستعمل لتوجيه المهندسين الذين يقومون بتطوير مكونات العنفات الريحية. بعد التحسينات الحالية في تصميم العنفات الريحية، فإن الدراسات الاقتصادية الحالية في الولايات المتحدة أصبحت تتخذ ونقام على أساس عمر تشغيل بحدود ثلاثين عام.

هذه الفرضية تتطلب انجاز الصيانة السنوية الكافية على العنفات الريحية وتتطلب هذه الفرضية أيضاً اعتبار أن العشر سنوات الإضافية الزائدة تكون الصيانة و التصليحات الرئيسية فيها منجزة مؤدية إلى استبدال بعض الأجزاء الرئيسية

:capital costs التكاليف الأساسية الرئيسية 3-1-4

إن تحديد التكاليف الرئيسية (أو إجمالي الاستثمار) عادة يتضمن كلفة العنفات الريحية، بالإضافة إلى كلفة التركيب والتأسيس لا سيما المدنية منها. إن تكاليف العنفات الريحية تختلف بشكل ملحوظ حسب الاستطاعة

وكما نلاحظ التكاليف تختلف بشكل ملحوظ بحسب الحجم التقديرى لكل مولد أو استطاعته وربما سبب ذلك الارتفاعات المختلفة للأبراج وأقطر الدوار، في الدراسات الاقتصادية المعممة، فإن التكاليف المركبة للعنفات الريحية غالباً تحسب نسبة إلى كلفة واحدة الاستطاعة الاسمية، الكيلووات للعنفة أو نسبة إلى كلفة وحدة المساحة التي يمسحها الدوار.

أما تكاليف التركيب للمزارع الريحية فإنها تتضمن التكاليف ما عدا العنفات الريحية بحد ذاتها، على سبيل المثال في البلدان المتقدمة من العالم، فإن تكاليف العنفات الريحية تتضمن حوالي (65%) حتى (75%) من الاستثمار الكلي.

التكاليف الأساسية الرئيسية (capital costs) للمزارع الريحية فإنها تتضمن تكاليف البنية التحتية للمزرعة وتكاليف التركيب، بالإضافة إلى تكاليف الربط مع الشبكة.

كما أن التكاليف لكل (kW) عند تركيب عنفة ريحية وحيدة هي أعلى بكثير من الكلفة لكل (kW) عند إنشاء مزرعة الأمر الذي أدى إلى تطور إنشاء المزارع الريحية.

:Operation & Maintenance Cost تكاليف الصيانة والتشغيل 4-1-4

عند تركيب العنفات الريحية العاملة في الموقع المعطى، من المهم معرفة تكاليف الصيانة والتشغيل السنوية (وتخفيضها ما أمكن) ، من المهم بشكل خاص أيضاً إيجاد تصور عن هذه التكاليف (O&M) إذا كان مالك المزرعة الريحية يريد بيع المشروع أو إعادة التمويل له. تكاليف التشغيل يمكن أن تتضمن تكاليف التأمين (insurance) على المزرعة الريحية، الضرائب، تكاليف أجراة الأرض، أما تكاليف الصيانة فتشمل العوامل الآتية :

- الفحوص الروتينية
- صيانة دورية
- اختبارات وتجارب دورية
- تنظيف الشفرات
- صيانة التجهيزات الكهربائية
- تكاليف الصيانة الطارئة.

حتى فترة قريبة جداً، فإن التنبؤ بكلف التشغيل والصيانة اعتبرت بعض الشيء تقديرية أو تخمينية، تعتمد على التجارب من المزارع الريحية في كاليفورنيا مثلاً أو معلومات من الجمعية الدنماركية لصانعي العنفات الريحية، ومن الدراسات الحالية الأمريكية، ومن معلومات شركات أخرى وهذا قليل حتى الآن، على أية حال، كما سيناقش هنا البيانات الحالية تظهر أن هنالك لا يزال مدى

ونطاق (range) واسع لتكاليف (O&M) للعنفات الريحية. أي لا يزال هنالك اختلاف كبير في التقدير وهذا الاختلاف يعتمد على حجم المزرعة الريحية المركبة.
إن تكاليف الصيانة والتشغيل يمكن أن تقسم إلى صنفين:

- تكاليف ثابتة
- تكاليف متحولة

:Fixed O&M 1-4-1-1-4 التكاليف الثابتة للصيانة والتشغيل

فهي التكاليف التي تتم سنويًا بشكل غير متعلق بعمل المحطة، أي أنها يجب أن تدفع بعض النظر عن كمية الطاقة المولدة (عادة يعبر عنها بالواحدة $\$/kW$ أي سعر وحدة الاستطاعة المركبة أو نسبة مئوية من السعر الإجمالي للعنفة)، ومثال عليها الدفعات المتعلقة بسعر تجهيزات الصيانة

:variable O&M 1-4-1-1-4 التكاليف المتحولة للصيانة والتشغيل

وهي التكاليف السنوية المتعلقة بشكل مباشر بكمية الطاقة المنتجة (وعادة يعبر عنها ب $\$/kwh$) مثل عليها صيانة المولدات والتقديرات الأفضل هي التقديرات التي تجمع بين كلا هذين الصنفين. وأظهرت التقديرات أن تكاليف الصيانة والتشغيل المتحولة من أجل الاستطاعات الصغيرة أعلى من العنفات ذات الاستطاعات الأكبر واستنتجت الدراسات أن نفقات (O&M) موزعة كما في الجدول(1-4)

عناصر الكلفة	النسبة المئوية من الكلفة %
عمال	44
قطع غيار	35
عمليات تشغيل	12
تجهيزات	5
مرافق	4

جدول(1-4)يبين النسبة المئوية من الكلفة لنفقات (O&M)

كما أن الدراسة تدل على أن تكاليف الصيانة والتشغيل تنخفض مع الزمن ومع إنتاج عنفات ريحية جيدة ومتطورة، فقد انخفضت كلفة (O&M) من (3%) من الكلفة الإجمالية للعنفات حتى (1.5%) أو (1%) لأجل العنفات الجديدة، وقد أجرت الدراسة لشركة دنمركية أن تكاليف (O&M) تختلف تبعاً لحجم العنفات.

الهدف الأساسي من الحسابات الاقتصادية هو إيجاد كلفة وحدة الطاقة ($\$/kWh$) ولإيجاد ذلك ينبغي معرفة تكاليف الإنشاء (capital costs) وتكاليف التشغيل والصيانة (operation & maintenance costs) وتكاليف التخلص من المحطة بعد اهتزاكها (disposal costs).

كلفة وحدة الطاقة : kWh

بدون اعتبار الفائدة المصرفية:

يتراوح السعر الإجمالي للكيلو واط المركب بين 1000 €/kW و 1600 €/kW .

وباعتبار أن كلفة الكيلو وات المركب الناتج عن المزرعة المقترنة هو $\frac{\text{€}}{\text{kW}}$ 1200 وبالنالي يكون سعر العنفة الواحدة:

$$C_{turbine} = 1200 \times 3000 = 3600000 \text{ €}$$

وبالتالي تكون الكلفة الإجمالية لكامل المزرعة:

$$A_0 = C_{project} = 3.6 \times 34 = 122.4 \text{ Million €}$$

وعليه تكون الكلفة السنوية:

$$\Rightarrow C_{year} = \frac{C_{project}}{n} = \frac{122.4}{20} = 6.12 \text{ Million €/year}$$

وبالتالي تكون كلفة وحدة الطاقة:

$$\begin{aligned} \Rightarrow C_E &= \frac{C_{year}}{E_{total}} = \frac{6120000}{239641080} = 0.0255 \text{ €/KWh} = 2.55 \text{ cent €/KWh} \\ &= 0.0255 \times 63 = 1.608 \text{ SP/ KWh} \end{aligned}$$

مع اعتبار الفائدة المصرفية:

يتم حساب تكاليف الاستثمار المعجلة حسب العلاقة:

$$C_0 = A_0 + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{q^i}$$

حيث:

C_0 : تكاليف الاستثمار المعجلة لسنة الإنشاء

A_0 : التكاليف التأسيسية للنظام (تكلفة تجهيزات النظام)

A_i : مدفوعات لكل سنة تشغيل (تكاليف التبديل لمعدات النظام)

n : عمر النظام = 20 year

q^i : الفائدة المركبة

i_r : معدل الفائدة interest rate

وبما أن عمر كامل عناصر النظام ضمن مجال عمر النظام فإننا لا نحتاج لإجراء أي عملية تبديل لأي من مكونات النظام، ومنه يكون:

$$\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{q^i} = 0$$

$$C_0 = A_0 = 122.4 \text{ Million} \text{ €}$$

نحسب تكلفة وحدة الطاقة الكهربائية المنتجة من النظام حسب العلاقة (b):

$$C_E = \frac{B}{E_a} = \frac{C_0 \times a}{E_a}$$

حيث :

C_E : تكلفة وحدة الطاقة الكهربائية المنتجة $\text{€}/\text{kWh}$

B : الدخل من المبيع

a : عامل الدخل السنوي *annuity factor*, ويؤخذ من جداول خاصة حسب قيمة معدل

الفائدة:

$$i_r = 0.06 \Rightarrow a = 0.0782$$

Ea : كمية الطاقة المنتجة وسطياً في السنة kWh/year

نقوم بحساب تكلفة وحدة الطاقة الكهربائية المنتجة من النظام:

$$C_E = \frac{C_0 \times a}{E_a} = \frac{122400000 \times 0.0782}{239641080} = 0.039 \text{ €/KWh}$$

2-1-4: فترة الاسترجاع Recovery period

إن السعر العالمي للكهرباء المنتجة من الرياح هي 9 cent $\text{€}/\text{kWh}$ وبالتالي تكون قيمة الكهرباء المنتجة سنوياً من المزرعة:

$$V_{\text{year}} = 239641080 \times 0.09 = 21.567 \text{ Million} \text{ €}$$

وبالتالي تكون فترة الاستعادة:

- دون اعتبار الفائدة المصرفية:

$$\text{Recovery Period} = \frac{C_{\text{project}}}{V} = \frac{122.4}{21.567} = 5.67 \text{ year}$$

- مع اعتبار الفائدة المصرفية:

$$C_{\text{project}} = C_0 \times a \times n = 122400000 \times 0.0782 \times 20 = 191.433 \text{ Million} \text{ €}$$

$$\text{Recovery Period} = \frac{C_{\text{project}}}{V} = \frac{191.433}{21.567} = 8.87 \text{ year}$$

ويبين الجدول التالي النتائج النهائية:

جدول (4-2): النتائج النهائية لدراسة كلفة واحدة الطاقة المنتجة من المزرعة الريحية

دون اعتبار الفائدة المصرفية	مع اعتبار الفائدة المصرفية	
كلفة وحدة الطاقة	2.55 cent €/kWh	3.9 cent €/kWh
زمن الاسترجاع	5.67 year	8.87 year

ملاحظات:

1. عند الدراسة أخذنا سعر الكيلو واط الساعي العالمي، ولم نعتمد على تكلفة وحدة الطاقة في سوريا حيث تصل تكلفة وحدة الطاقة في سوريا إلى (حسب تصريح وزير الكهرباء) كحد أدنى من المحطات التقليدية.

2. لم يتم الأخذ بالحساب قيمة آلية التنمية النظيفة (CDM) المنفق عليها من خلال بروتوكول كيوبيو (2 cent €/kWh) مولد من طاقة نظيفة.

3. لم يتم الأخذ بالحساب قيمة غاز ثاني أكسيد الكربون الم توفير من استخدام طاقة الرياح عن المصادر التقليدية الأخرى، والتي تتراوح ضمن المجال (8-25 €/tonCO₂)

4-3 الوفر من استخدام طاقة الرياح :Wind Energy Saving

1-3-1-4 التوفير في الوقود :Fuel Saving

تمتاز طاقة الرياح بأن الوقود المستخدم وهو الرياح مجاني ولا ينضب، في حين أن مصادر الطاقة الأخرى تحتاج إلى الوقود بكميات تكون ذات قيمة مادية كبيرة. حيث وجدنا من توزع رايلي أن الطاقة الكهربائية المولدة من المزرعة تساوي:

$$E = 239641080 \text{ kWh / yaer}$$

وبالمقارنة مع محطة توليد تقليدية تعمل على الوقود الأحفوري، تحتاج إلى وقود بمعدل:

$$k = 223 \text{ gr/kWh}$$

وبالتالي فإن الوفر في استهلاك الوقود:

$$C_{fuel} = 239641080 \times 223 = 53439.96 \text{ ton / yaer}$$

التأثيرات البيئية والاجتماعية:

بروتوكول كيوتو: عقد في مدينة كيوتو اليابانية في الفترة من 1 إلى 10 كانون الأول عام 1997.

في إطار السعي إلى تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة في مختلف أنحاء العالم اتفق 159 بلد على اعتماد ما سمي ببروتوكول كيوتو الملحق باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ في عام 1997 وتضمن أهدافاً زامنية للدول الصناعية بتحفيض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 10%

حيث اعتمد ثلاثة آليات :

1_آلية التنفيذ المشترك

2_آلية التنمية النظيفة

3_آلية تجارة الانبعاثات

الهدف النهائي من هذا البروتوكول هو الوصول إلى تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى يحول دون تدخل خطير من جانب الإنسان في النظام المناخي .

4-2-3-1-4: خفض الانبعاثات الغازية CO2 Saving

يبين الجدول التالي (3-4) الانبعاثات المختلفة من محطات التوليد التقليدية حسب نوع الوقود:

Emissions	Oil gm/ kwh	NG gm/ kwh
CO2	752	539
SOx	4.2	0.001
NOx	2.8	2.28
CO	0.081	0
HC	0.054	0.004

جدول (3-4) الانبعاثات المختلفة حسب نوع الوقود (غاز طبيعي-فيول)

يؤدي إنشاء محطات الرياح إلى منع انبعاث الملوثات التي كان من الممكن انبعاثها في حالة إنشاء محطات تقليدية بدلاً من محطات الرياح. فمحطة ريحية بقوة $1MW$ تستطيع أن تقلل من توليد ثاني أوكسيد الكربون بما يعادل 2500 طن في العام، فيما تقل نسبة الكبريتات المتسربة إلى الجو

بمعدل 3 طن في العام، وأما النترات المتسربة إلى الطبيعة فتقل بما يعادل 2.5 طناً في العام، لو تم توليد نفس كمية الكهرباء بمصادر الطاقة التقليدية كالفحم والنفط.

تختلف كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث نتيجة حرق الوقود باختلاف نوع المحطة أي باختلاف الوقود المستخدم. ففي المحطات التي تعتمد على الفيول أو الديزل فإن حرق 1kg من الوقود يطلق 3kg من غاز ثاني أكسيد الكربون، بينما المحطات التي تعتمد على الغاز الطبيعي تكون نسبة الانبعاثات الغازية أقل بنسبة 28% من المحطات التي تعتمد على الفيول أو الديزل، وبالتالي فإن حرق 1 kg من الغاز الطبيعي يطلق 2.16 kg من غاز ثاني أكسيد الكربون.

وبالتالي فإن الوفر في خفض الانبعاثات الغازية يكون:

محطات الفيول

$$Amount\ of\ CO_2 = 60153.11 \times 3 = 180459\ ton_{co_2} / yaer$$

أي عند إنتاج 1 من محطات الرياح يوفر من الانبعاثات ما مقداره:

$$Saving\ CO_2 = \frac{180459}{269744895} = 0.669\ Kg_{co_2} / KWh$$

محطات الغاز الطبيعي

$$Amount\ of\ CO_2 = 60153.11 \times 2.16 = 129930.72\ ton_{co_2} / yaer$$

أي عند إنتاج 1 من محطات الرياح يوفر من الانبعاثات ما مقداره:

$$Saving\ CO_2 = \frac{129930.72}{269744895} = 0.482\ Kg_{co_2} / KWh$$

يبين الجدول التالي (4-4) النتائج النهائية لدراسة انخفاض انبعاث CO2

ولكنه يجب في نفس الوقت عدم تجاهل التأثيرات البيئية الناجمة عن إنشاء محطات الرياح، والتي يتوقف حدوثها على المراحل المختلفة التي تمر بها المحطة، ونوضح ذلك فيما يلي:

الوفر في استخدام الرياح	عن محطات الغاز الطبيعي	عن محطات الفيول
خفض انبعاث CO2	0.482 kgCO2 / kWh	0.669 kgCO2 / kWh

4-2: التأثيرات البيئية أثناء مرحلة إنشاء محطة الرياح:

1) إثارة الأتربة: نظراً لوجود محطة الرياح في موقع تتميز بسرعات رياح عالية بالإضافة إلى وجود معظمها في مناطق صحراوية، فإن عمليات نقل مهمات المراوح عن طريق النقل الثقيل

تسبب إثارة الأتربة بمنطقة المشروع والمناطق المجاورة، هذا فضلاً عما تسببه أعمال الحفر والردم بموقع المشروع من تناثر الأتربة، لهذا يجب التحكم بقدر الإمكان في كميات الأتربة المتناثرة، وذلك بتنفيذ أعمال الإنشاء التي تسبب تناثر الأتربة على مراحل متعاقبة.

2) التأثير على البيئة الزراعية : تؤثر أعمال الإنشاء على البيئة الزراعية الموجودة بموقع الإنشاء تأثيراً سلبياً، لذا يجب حماية المساحات المزروعة بأسوار لعدم تخطي وسائل النقل الثقيل لها.

3) التأثير على المناطق السكانية المحيطة : في حالة وجود مناطق سكانية قريبة من موقع إنشاء المحطة، يجب إتباع إجراءات الأمان الضرورية لتفادي تعریض السكان لأية مخاطر قد تلحق بهم أثناء عمليات الإنشاء.

ومن أمثلة إجراءات الأمان ما يلي :

إجلاء السكان المقيمين على بعد أقل من 500 م بالمناطق القرية من موقع الإنشاء.

إقامة سور حول منطقة الإنشاءات.

تمهيد طرق تخصص للنقل الثقيل فقط بحيث تكون بعيدة عن الطرق التي يسلكها السكان.

4) الضوضاء : قد تسبب أعمال الإنشاء ضوضاء، ولكنها لا تتعذر الضوضاء الصادرة من أي مشروع آخر في مرحلة إنشائه.

5) التوظيف : يترتب على إنشاء المشروع تعين عماله مؤقتة ودائمة للاشتراك في عمليات الإنشاء مما يؤثر بالإيجاب في تغيير الحياة الاجتماعية بمنطقة المشروع والمناطق المجاورة.

4-3: التأثيرات البيئية بعد إنشاء المشروع وأثناء فترة التشغيل:

1) الضجيج : ينجم الضجيج بسبب الاحتكاكات الميكانيكية لأجزاء المروحة، وكذلك بسبب حركة المراوح وارتطامها بالهواء المحيط، عند ارتفاع سرعات الرياح عن 10 م/ث فإن صوت الرياح نفسها يفوق الصوت الناجم عن حركة المروحة الريحية.

لهذا السبب ينصح بأن يتم اختيار موقع محطة الرياح على بعد لا يقل عن 500 م من المناطق السكنية المحيطة بمنطقة المشروع.

الجدول(4-5): الضجيج لفعاليات مختلفة مقارنة بعنفات الرياح

المصدر	مستوى الضوضاء (dB)
طائرة جيت على علوّ 250 م	105
مثقب كهربائي	95
شاحنة تسير بسرعة 48 كم/ساعة	65

60	دائرة عمل مزدحمة
55	سيارة تسير بسرعة 64 كم / ساعة
35-45	عنفه ريحية على بعد 350 م
20	غرفة نوم هادئة

انبعاثات الضجيج الناتجة عن العنفات الحديثة تم تقليلها بنسبة كبيرة خلال الخمس عشرة سنة الماضية وذلك من خلال التطويرات المستمرة والاهتمام بالتفاصيل التصميمية للعنفة الريحية. ففي الوقت الحالي يقوم مصنعي العنفات الريحية بالانتباه إلى مشكلة الضجيج، حتى لو كان ذلك على حساب التضحيّة بتكبير قيمة استطاعة الخرج النهائية الممكّن الحصول عليها لما في ذلك من دور في جعل العنفات الريحية مقبولة ومنتشرة بشكل أكبر.

فمن الممكن أن يتم تدوير الدوار عند قيمة أقل من القيمة المثالية للدوران، كذلك من الممكن اختيار زاوية لأنحراف الشفرة بين سرعات رياح m/s 8-10 بحيث تُنتج أقل ضجيج ممكّن.

(2) المردود البصري (*Visual Impact*): يؤثر وجود محطة الرياح في الشكل العام للمنطقة. ولمحاولة الحد من تشويه المنطقة يجب أخذ الآتي في الاعتبار :

- * يجب أن تكون المراوح الريحية بنفس الشكل والحجم.

- * يجب أن تدور المراوح جميعها في نفس الاتجاه.

- * يفضل أن يكون توزيع المراوح في خطوط متوازية، وأن يكون التوزيع متجانساً.

- * يراعى أن يكون لون التوربينات أبيض أو رماديًا فاتحًا. وقد أشارت نتائج الاستقصاءات أن هذين اللوينين هما أكثر الألوان تقبلاً من العين البشرية.

(3) الوميض الصادر من حركة المراوح : أثناء حركة المراوح الهوائية يصدر منها ومض يؤذى العين البشرية أو يعوقها عن الرؤية المستمرة، وقد يؤثر على السائقين وسكان المناطق القريبة لذا يجب أن تبعد المحطة عن الطرق السريعة بمسافات كافية.

(4) التداخل مع الإشارات الراديوية والتلفزيونية: تقوم العنفات الريحية بالتأثير على الأمواج الكهرومغناطيسية في الجو كإشارات الملاحة وإشارات الاتصالات.

وتتجدر الإشارة إلى أن هذا التأثير يكاد يكون معادلاً أو مهماً، ولكن عند الدراسة الدقيقة للمشروع فيجب أخذ هذا الموضوع بعين الحساب.

يمكن تجنب حصول التداخل مع إشارات الملاحة عبر اختيار الموقع الملائم للعنفة الريحية، أما الإشارات التلفزيونية والراديو المحلية فهي تستخدم في كل مكان.

(5) المحميات : يجب إنشاء محطات الرياح بعيداً عن مناطق المحميات حتى لا تؤثر على انقراس الأنواع النادرة من الحيوانات والكائنات الحية الأخرى.

(6) التوظيف : يتربّط على إنشاء محطات الرياح تشغيل العمالة الدائمة، وهجرة المجتمعات إلى مواقع محطات الرياح مما يغير من طبيعة الحياة الاجتماعية ونشاط السكان بالمنطقة.

(7) التأثير على الحياة البرية والموطن الطبيعي : فترة التركيب لمزرعة الرياح تكون تقليدياً أقل من سنة، تخرّب العملية جزء صغير فقط من الأرض المخصصة للمنشأة وحالما يكتمل البناء يمكن إعادة الموقع إلى حالته السابقة مع استثناء منطقة صغيرة. ومن المهم أن يتم تخطيط تطوير مزرعة الرياح ومراقبتها لمنع التداخل أو التخريب غير الضروريين .

(8) تسبّب خطراً على حياة الطيور التي ترتبّط بريش العنفات.

النتائج والتوصيات:

بعد إتمام دراسة هذا المشروع وباعتبار أن سوريا من بين الدول الغنية ريشياً وتحتوي على عدة مناطق واعدة ريشياً وصالحة لإقامة مزارع ريشية فيها يمكن أن تردد من خلالها شبكة القدرة السورية باستطاعات إضافية، وبعد دراسة منطقة غباغب توصلنا إلى ما يلي: منطقة غباغب من المناطق الوعادة جداً حيث سرعة الرياح الوسطية فيها على مدار العام تزيد عن ($6m/s$) وهذه السرعات تصلح لعمل المزرعة الريشية.. ومن هنا نوصي المستثمرين بالاتجاه نحو هذه المنطقة الوعادة خلال دراستهم.

توصلنا على أن مشروع مثل هذا المشروع ذو جدوى فنية محققة حيث استخدمنا المولدات التحريرية مضاعفة التغذية والتي يمكن لها أن تعمل عند مجال كبير لتغيير السرعات، وهذه المولدات مستخدمة بشكل كبير عالمياً والمستقبل القريب هو لهذه المولدات وبالتالي هي مجدها ونوصي المعنيين والمستثمرين بالاستفادة من الخبرات والتجارب العالمية في هذا المجال، وأيضا الاستفادة من الخبرات العربية.

توصلنا على أن المشروع ناجح ذو جدوى اقتصادية حيث وجدنا أن سعر الكيلو وات الساعي قريب جداً (بل أقل في حال رفع الدعم) من سعر الكيلو وات الناتج عن المحطات التقليدية وبالتالي فإننا ندعوا المستثمرين سواء من القطاع الخاص (عند توفر التشريعات الازمة) أو من القطاع العام على الاستثمار في مجال المزارع الكهرومائية.

نوصي ونحث بالحكومة إلى السعي لإصدار قوانين وتشريعات تشجيعية للمستثمرين من القطاع الخاص للعمل في هذا المجال ومن هنا نفتح باب المنافسة على مصراعيه في هذا المجال نتمنى ونرجو من أصحاب القرار الإسراع في البدء بالعمل بمثل هذه المشاريع وبأسرع وقت ممكن لأهميتها بتفادي العجز الحاصل بالقدرة المولدة، ولتوفر الخبرات المحلية في هذا المجال، والبدء بالعمل على التصنيع المحلي لبعض أجزاء العنفات الريشية في الوقت الحالي ومن ثم الانطلاق إلى التصنيع الكامل للعنفات الريشية.

التطورات والتطورات المستقبلية:

1- تعد هذه المشاريع تقنية إستراتيجية تساهم في تحقيق أهداف سياسة الطاقة المتمثلة ب : أمن الطاقة ، مواجهة التغير المناخي و تقليل التأثيرات البيئية .

2- انخفاض تكاليف البحث و التطوير مع استخدام التقنيات الحديثة لما لها من اثر في زيادة الوثوقية و تحسين تصنيع مكونات العنفة الازمة و توفر الظروف الملائمة من بنى تحتية ملائمة

و تقنيات التخطيط و التصميم المناسبة لإقامة هذه المشاريع يسهم في إنشاء سوق واعدة للمزارع الريحية و زيادة عملية توليد الطاقة الكهربائية منها .

3- إن تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية في سوريا دفع بوجوب البحث عن مصادر طاقة رديفة لتلك التقليدية الموجودة حالياً .

4- تعتبر سوريا من الدول الجذابة لإقامة مشاريع بطاقة الرياح حيث تتوفر في سوريا عدة مناطق مؤهلة لمثل هذه المشاريع ذات جدوى عالية .

5- تم اختيار منطقة غباغب لإقامة المزرعة الريحية فيها لما يتتوفر لديها من سرعات رياح مناسبة و كمون رياح عالي على مدار العام بالإضافة للعديد من المزايا الأخرى التي استعرضناها في المشروع بالنسبة لمدينة حسياء بشكل عام .

6- بعد إجراء الدراسة التصميمية والاقتصادية لهذا المشروع لا بد أن نشير إلى النقاط الرئيسية التالية :

• وقع اختيارنا على المولد التحريري مضاعف التغذية لما يملكه هذا المولد من قدرة على

التلاقي مع الشبكات الضعيفة كما هو الحال في الشبكة السورية .

• وجدنا من الدراسة الاقتصادية أن المشروع مجدي اقتصادياً حيث إن كلفة وحدة الطاقة الكهربائية المنتجة تقارب الأرقام العالمية في هذا المجال ، و فترة استرداد رأس المال هي فترة تعتبر منطقية.

• إن الطاقة التي نحصل عليها هي طاقة نظيفة بيئياً وتساعد في التقليل من انبعاثات غازات الدفيئة والتوفير في استهلاك الوقود .

7- أن التأثيرات البيئية للعنفات الريحية من حيث تأثيرها على الطيور و غير ذلك من تلوث بصري و سمعي مبالغ فيه كأضرار شاع الحديث عنها أما عملياً تأخذها الجهات المعنية بإقامة هذه المشاريع بعين الاعتبار و تسعى للتقليل من أثرها .

8- بناءً على التوجه العالمي في استغلال طاقة الرياح فلا بد من السعي قدماً في هذا المجال، ومن هنا لا بد من توفر الدعم الحكومي لإقامة مثل هذه المشاريع وتوجه الجهات المعنية للعمل بشكل جاد للبدء بتنفيذها.

- سعر الكهرباء المنتجة من طاقة الرياح :

بناء على أحكام قانون الكهرباء رقم 32/ لعام 2010 ولا سيما المادة 28 منه:

السعر (سنت - يورو / كيلوواطسا)

حتى / 2500

* 8

أعلى من / 2500

8 × 2500 / وسطي عدد ساعات العمل المكافأة السنوية بالاستطاعة الاسمية للمشروع

* يطبق سعر الشراء 8/ سنت يورو لكل كيلوواط ساعي خلال أول سنتين بعد توقيع اتفاقية شراء الكهرباء اعتباراً من تاريخ وضع المشروع بالخدمة ، وبعد ذلك يحسب عدد ساعات العمل المكافأة السنوية للمشروع على أساس وسطي ساعات العمل المكافأة السنوية للمشروع المحسوبة خلال هاتين السنتين ، ويعاد احتساب سعر الشراء على أساسها وفق المعادلة المحددة في الجدول أعلاه على باقي مدة الاتفاقية في حال كان وسطي ساعات العمل المكافأة السنوية بالاستطاعة الاسمية أعلى من 2500 / ساعة ، أما إذا لم يتجاوز وسطي ساعات العمل المكافأة السنوية الاسمية 2500 / ساعة ، يبقى سعر الشراء 8/ سنت يورو لكل كيلوواط ساعي ثابتاً خلال كامل مدة الاتفاقية.

إن ما يميز طاقة الرياح بأن التكلفة الوحيدة تأتي من بناء العنفات وتمثل هذه التكاليف تطوراً مهماً في مجال هذه التقانة ويمكن لعنفات اليوم أن تنتج من الطاقة ما مقداره ثلاثين ضعفاً وبخمس أضعاف وبزمن أقل كثيراً مقارنة بما كان سائداً في عام 1981 من القرن الماضي .

التسهيلات الحكومية لدعم وتشجيع مصادر الطاقة المتجددة:

جاء في المادة رقم 12 والتي تدرج تحت الباب التاسع "التسهيلات الحكومية والإعفاءات الضريبية والجمارك" والتي تنص على ما يلي :

- إعفاء مشروعات إنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة المتجددة من جميع الضرائب والرسوم والجمارك وضرائب الأرباح.
- الإعفاء من الرسوم الجمركية للمواد الأولية أو نصف المصنعة أو المصنعة والمستوردة للأجهزة الموفرة للطاقة ولأجهزة تطبيقات الطاقة المتجددة.
- تحمل الدولة نسبة من تكلفة أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية المستخدمة لتسخين المياه في القطاع المنزلي (تحدد نسبة المساهمة حسب مصلحة الاقتصاد الوطني من قبل مجلس الوزراء).
- اعتماد أجور رمزية وتشجيعية لقاء فحص واختبار وتقييم أداء نظم تطبيقات الطاقة المتجددة.

المراجع:

REFERENCES

- 1- كتاب مدخل إلى الطاقات المتجددة فصول طاقة الرياح د. م . كمال ناجي
- 2- كتاب طاقة الرياح 2 د . م . هاشم ورقوق
- 3- مشاريع سابقة لطلاب قسم الطاقة المتجددة
- 4- مركز بحوث الطاقة التابع لوزارة الكهرباء السورية

5-Vestas.com

6-www.mathworks.com

7-STUDY OF WIND TURBINE - DRIVEN DFIG USING AC/DC/AC

CONVERTER : Department of Electrical Engineering "National Institute of Technology Rourkela"

8-Simulation of DFIG and FSIG wind farms in MATLAB SimPower Systems Division of Industrial Electrical Engineering and Automation " Lund University"

