إمكانية استثمار طاقة الرياح في توليد الكهرباء في حوض إب – اليمن

د/ هادي محمد محمد الصليحي
أستاذ مساعد ،جامعة اب

الملخص:

(وأما عاد فأهلكوا بريح صرصر عاتية) [الحاقة آية **6**] تشهد مدينة إب نقصا كبيرا في الطاقة إذ تحصل على أقل 200ميجا/وات وهناك عجز يقدر بـ 400ميجا/وات لسد احتياج السكان وأنشطتهم الاقتصادية [مقابلة ميدانية]. وتزداد المشكلة تعقيدا في ظل غياب مخطط يوازن بين العرض والطلب من الطاقة الكهربية لتلبية احتياجات الانشطة القائمة والمتوقعة والاعتماد الكلي على الوقود الأحفوري الغير متجدد للحصول على الكهرباء وانطلاقا من التطور الكبير الذي طرأ على مصادر الطاقة المتجددة: كالطاقة الشمسية وطاقة المد والجزر والكتلة الحيوية والرياح كان من اللازم أن ننوه إلى ضرورة تنويع الاعتماد على هذه المصادر الأقل كلفة وملائمة لإنتاج الطاقة الكهربائية لسد جزء من الاحتياج القائم وتقليل التلوث.

وتضمن البحث منهجية وضحت أهمية ومميزات طاقة الرياح وكيفية استغلالها؟ والشروط الواجب توفرها للحصول على طاقة الرياح ومدى توفرها بحوض إب من واقع بيانات سرعة واتجاه الرياح الشهرية والسنوية التي وفرتها محطة السيدة أروى خلال 2006–2010 وحسب قانون القوة تبين توفر هذه السرعة عند ارتفاعات محددة تتجاوز 2300م إذ تزيد سرعة الرياح عن 3.6متر/ث وهي السرعة المطلوبة للحصول على الطاقة الكهربية وتزداد هذه السرعة مع الارتفاع لتصل إلى 5.4متر/ث عند 3000متر لتلاشي عامل الاحتكاك.

وكشفت الدراسة أن الرياح القادمة من الجنوب الغربي هي الأكثر ملائمة للحصول على الطاقة فهي أكثر ديمومة وثباتا عن بقية الاتجاهات بنسبة 60% ثم جهة الشرق بنسبة 25% فيما تتوزع بقية النسبة على بقية الاتجاهات وتوصل البحث إلى تحديد المواقع المفضلة لإنشاء الأبراج الهوائية وأن انتاجية م^2/وات تتفاوت حسب الارتفاع جدول (3) وتوصل البحث إلى عدد من النتائج التوصيات.

Abstract:

(The wind returned Vohlkua roach winds) [Alhaga verses 6] the city of Ibb experiencing a significant shortfall in power as you get less than 200 MB/Watt and a deficit estimated at 400 Mb/Watt to fill the needs of the population and their economic activities [interview field].

The problem is compounded in the absence of a scheme to balance between demand and supply of electricity to meet the needs of existing and projected activities and total reliance on non-renewable fossil fuels for electricity and from the great development on the modalities of renewable energy sources Such as energy: solar, tidal, biomass and wind it was necessary to acknowledge the need to diversify its dependence on these sources, the least expensive and Mlaúmta for the production of electrical energy to fill part of the need-based and reduce pollution.

The research involved a systematic and explained the importance and advantages of wind energy and how to exploit?

And conditions to be provided for wind power and availability Basin Ibb actual data from the speed and direction of wind monthly and annual provided by the station, Ms. Arwa during 2006-2010, according to the law of force shows provide this speed at altitudes specific exceeding 2300 m at more than wind speed for 3.6m/s.

As the wind speed increases from 3.6 m/s speed which is required to obtain electrical power and increase the speed with height of up to 5.4m/s at 3000 meters to the erosion of the friction factor.

The study revealed that the wind coming from the southwest is most suitable for energy are more durable and stable for the rest of the directions by 60% and then to the east by 25% The rest of the percentage is distributed to the rest of trends and research has come to determine the location for the establishment of the towers favorite aerobic and productivity m 2/Watt vary depending on the height and reach to search a number of recommendations.

المقدمة:

بدأ عصر مولدات الرياح عام 1900 في الولايات المتحدة الأمريكية في مدينة أوهايو من خلال تصميم مولد كهربائي يعمل بطاقة الرياح بقدرة 12كيلو/وات واستمر قرابة 20عاما ومع تزايد الطلب على الطاقة تطور إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح لتضاعف الدول من نسب اعتمادها على الطاقة المولدة من الرياح [عبد الرؤف، 2011، ص 370] وأقدم محاولة للحصول على طاقة الكهرباء من الرياح في الحوض تعود إلى 1980 عندما قام الأمريكان بالمعهد الزراعي بإنشاء أول برج لتحويل طاقة الرياح إلى طاقة حركية لغرض استخراج الماء من أحد الآبار بمنطقة السبل واستمر ذلك أكثر من عشرة أعوام وبعد مغادرة الأمريكان 1985 نقل البرج بواسطة الباحث محمد صبر إلى ساحة المعهد الزراعي عام 1990 ونصبه فوق أحد الآبار واستمر البرج يعمل لأكثر من سنتين ولم تجر له الصيانة اللازمة فتكسرت زعانفه وانتهى البرج وتشير التقارير أن البرج كان يتلقى سرعة رياح = 15م[1]/ث باعتباره واقع في منطقة ممر رياح باب ميتم [مقابلة– محمد صبر] خارطة (1). وهناك تجربة ثانية ظهرت سنة 2005 من خلال نصب برج أخر على مسجد السنة بمنطقة مشورة، للحصول على الطاقة الكهربائية لسد احتياج المسجد في فترات انقطاع الكهرباء، إن البرجان لا يسهمان بشيء يذكر في إطار الانتاج الوطني الذي يقدر بـ 850كيلو وات ما يدل على تأخرنا الكبير في الحصول على الطاقة الكهربائية من هذه التقنية، رغم نداءات مبكرة لأكاديميين تعود إلى الثمانينات للحصول على الطاقة من الرياح.

أهمية البحث:

- دراسة الجدوى الاقتصادية لمثل هذا المشروع.
- تنويع مصادر الحصول على الطاقة وتشجيع البحث فيها للحاق بالدول المتقدمة في هذا المجال.
- تحديد مقدار الطاقة التي يمكن توليدها خاصة أنها طاقة رخيصة الثمن.
- لتخفيف الضغط على الموارد الأحفورية الغير متجددة والتقليل من التلوث.

مشكلة البحث: تنحصر بالتساؤلات التالية:

- ما الشروط الواجب توفرها للحصول على الطاقة الكهربية من الرياح؟
- هل تتوفر هذه الشروط في منطقة البحث من حيث سرعة واتجاه رياح للحصول على الطاقة الكهربية؟
- ما المواقع الأكثر ملائمة في الحوض للحصول على الكهرباء من طاقة الرياح؟
- كم معدل الطاقة الكهربية التي يمكن الحصول عليها من الرياح في م^2/ث؟

[1] م نقصد بها متر.

فرضيات البحث:

- يتوفر في حوض إب حد أدنى لسرعة الرياح تجعل من استثمار الرياح في توليد الكهرباء مجديا اقتصاديا.
- إن سرعة رياح 5.5م/ث توفر طاقة 107.2وات/م^2 ما يجعل توليد الطاقة الكهربائية مجديا اقتصاديا.
- مع زيادة الارتفاع في منطقة الدراسة تزداد سرعة الرياح فتزداد الطاقة الكهربائية التي يمكن توليدها.
- هناك مواضع بالحوض تزداد فيها سرعة الرياح فتكون أكثر ملائمة لإنتاج الطاقة الكهربائية.

منهجية البحث:

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي والإحصائي لتحديد معدل سرعة واتجاه الرياح بمحطة السيدة أروى خلال 2006– 2010 على المستوى الشهري والفصلي والسنوي واستعمال معادلة القوة لمعرفة معدل وسرعة الرياح عند مختلف الارتفاعات وتحديد معدل الطاقة التي يمكن الحصول عليها في م^2 وبالتالي إجمالي الطاقة التي يمكن توفيرها وتحديد المواقع الأفضل لنصب أبراج الرياح.

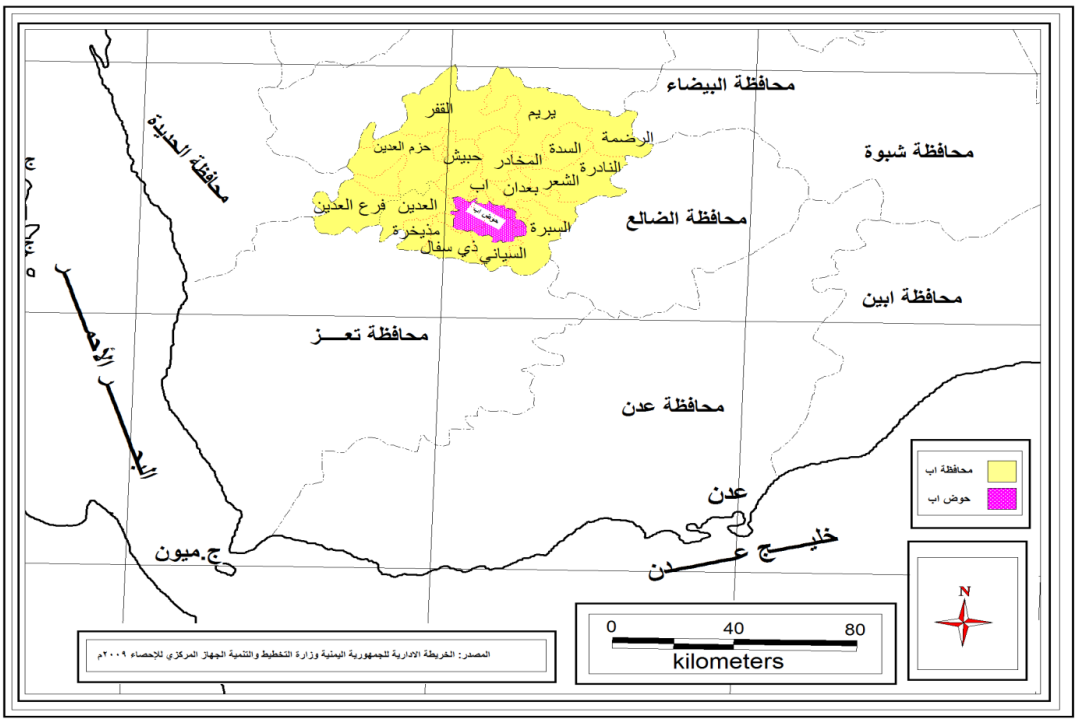
الموقع والمساحة:

يقع الحوض جنوب محافظة إب بين 44.089° – 44.204°شرقا تقاطع 13.916°– 13.979°شمالا ويشغل 248.8كم^2 خارطة (1) ما يعني وقوعه في النطاق المداري الذي تتعامد عليه أشعة الشمس مرتين في السنة وهذا يؤدي الى تفاوت ساعات السطوع الشمسي بين 7–8ساعة/يوم وتبعا لحركة الشمس الظاهرية تتفاوت قيم الحرارة وبالتالي تباين قيم الضغط الجوي صيفا وشتاء بين اليابسة والبحر ويصبح الحوض تحت تأثير الرياح التجارية الشمالية الشرقية في الشتاء والربيع والرياح الموسمية الجنوبية الغربية في الصيف والخريف[عوض، 2004، ص20بتصرف].

كما يقع الحوض بالقرب من المسطحات المائية من جهة الجنوب والغرب وبالقرب من المناطق الصحراوية من جهة الشمال والشرق مما يجعل حركة تبادل الرياح نشطة بين البحار المجاورة واليابسة من خلال تباين درجة الحرارة بينهما على مدار السنة خارطة (1).

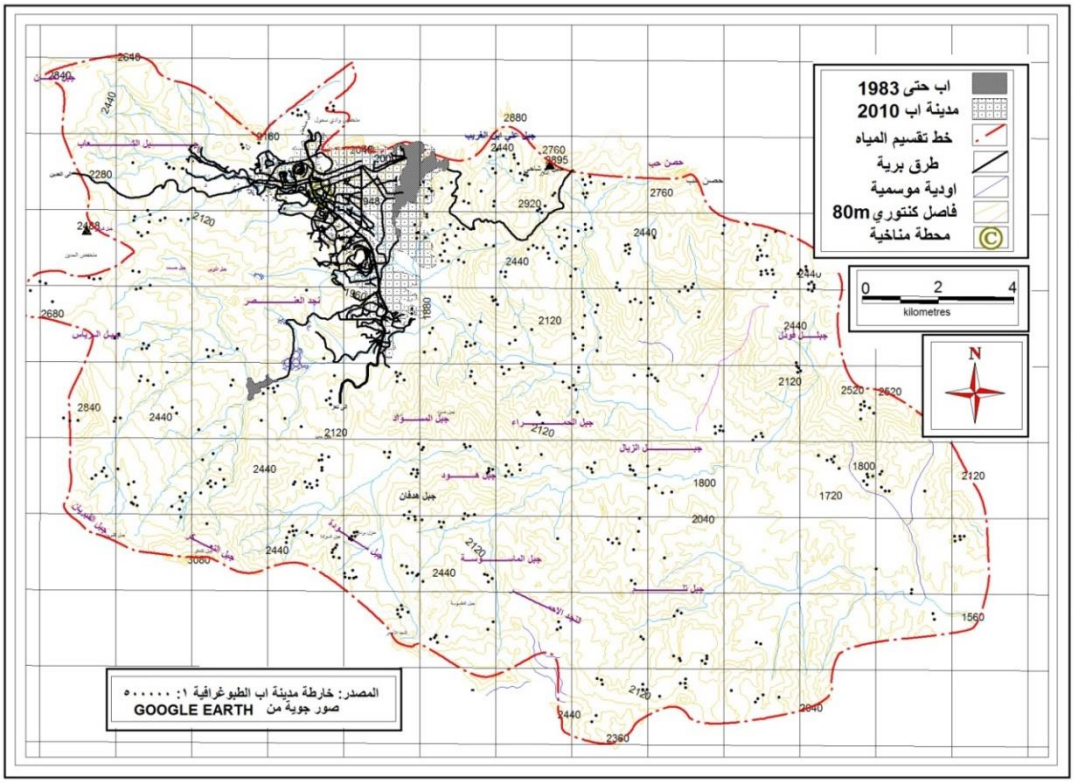
– **التضاريس:** يشكل حوض إب منخفض بين جبلي في جنوب مرتفعات غرب اليمن، ارتفاعه بين 1800– 2200م، تحيط به قمم يزيد ارتفاعها عن 3000م خارطة (2) تشكل مواضع يزيد فيه معدل سرعة الرياح لبعدها عن تأثير الجاذبية وعامل التضرس مما يجعلها مناطق ملائمة لنصب أبراج إنتاج الطاقة [هادي، 2014، ص 20].

خارطة (1) موقع حوض اب بالنسبة لمحافظة إب والجمهورية اليمنية



المصدر: الخارطة الإدارية للجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتنمية ، الجهاز المركزي للإحصاء 2009 بتصرف.

خارطة (2) تضاريس حوض إب



المصدر: خارطة مدينة اب الطبوغرافية 1: 50000، صورة جوية من GOOGLE EARTH تم انجاز الخرائط ببرنامج Map info .

1- **الطاقة Energos:** كلمة يونانية تعني داخله نشاط وتعرف الطاقة Energy: بالجهد أو القدرة الكامنة في أي مادة على أداء عمل أو شغل. وترتبط الطاقة بالحركة الميكانيكية للأجسام، وخصائص المادة الفيزيائية [عبد الرؤف، 2011، ص371].

2- **طاقة الرياح:** هي الطاقة الناتجة عن اختلاف درجة حرارة الكتل الهوائية، وتحويلها إلى رياح[7]. وتعد من مصادر الطاقة الطبيعية التي توجد على سطح الارض في غلافها الجوي وتعد من المصادر القديمة المتجددة التي عرفها الانسان [مصطفى 2008، ص 3،2] والرياح من حيث الأصل من المصادر الغير عضوية ومثلها الطاقة الذرية والشمس وغيرها [حسن، 2006، ص 54].

3- **خصائص طاقة الرياح: تتميز بالخصائص التالية:**

- تشكل تقنية يمكن من خلالها الحصول على الكهرباء.
- طاقة رخيصة الثمن وذات جدوى اقتصادية مقارنة ببقية المصادر جدول (1).
- الأسرع نموا في العالم مقارنة بالمصادر الأخرى فنسبة نمو طاقة الرياح نحو 20% سنويا [فريد، جعفر 2010، ص 8].

– لا تساهم بالتلوث فهي لا تطلق أدخنة: Co_2، Ch_4، Sox، Nox المتسببة في خلل الدورة المناخية [مجلة تقنيات الطاقة، 2004، ص 28] .

– توفر الوقود النفطي فحركة الرياح متجددة ولا تنضب وتشكل بديلا للوقود الاحفوري في المستقبل.

– تسهل من عملية التنمية في المناطق النائية ويمكن وضعها على الأسطح وتطبيقاتها متنوعة كضخ المياه والري وتجفيف الحبوب وتسخين المياه [المؤتمر العلمي 17 لنظم المعلومات، القاهرة، فبراير 2010م].

– تحافظ على الأراضي إذ أن 60% من أراضي مزارع الرياح تستعمل لأغراض الزراعة أو الرعي.

جدول (1) سعر انتاج الكيلو/وات/ساعة بالسنت في مختلف مصادر إنتاج الطاقة سنة 2011

المصدر	الكهرباء المائية	النووية	الفحم	الغاز الطبيعي	الرياح	حرارة باطن الارض	وقود الهيدروجين	الشمس
السعر سنت للكيلو/وات/ساعة	5–2	4–3	5–4	5–4	10–4	8–5	15–10	32–15

المصدر: الجنابي، مصطفى كامل إمكانية استغلال وتوليد الكهرباء من الرياح في العراق، مؤتمر التنمية المستدامة2008 ص6 بتصرف.

4– قياس الرياح:

لا يتوفر بحوض إب سوى محطة صلبة السيدة أروى الواقعة بمركز البحوث الزراعي على ارتفاع 1900متر وتوفر بيانات مناخية لدرجة الحرارة والإشعاع الشمسي وبيانات لسرعة واتجاه الرياح على مدار 12ساعة/يوم/شهر/سنة على ارتفاع 25متر من السطح وهذا لا يقارب مركز دوران العنفات الريحية متوسطة الاستطاعة للتوسع بها وتلبية تطلعات الدولة والقطاع الخاص لاستثمار طاقة الرياح بشكل اقتصادي [علي، 2012، ص7]. المحطة ليست كافية لإعطاء صورة واضحة عن سرعة واتجاه الرياح كما تتأثر بخشونة السطح ووقوعها ضمن النسيج الحضري لمدينة إب وانخفاضها عن التلال والروابي والقمم التي تحيط بها خارطة (2).

صورة (1) محطة

وقد اعتمدت الدراسة على معدل بيانات المحطة لمدة 5سنوات لتعبر عن الارتفاع 1900م، مع افتراض توفر مناطق أكثر ملائمة وجدوى للحصول على رياح أكبر سرعة وثباتا لإنتاج الكهرباء ومن واقع دراسات تجريبية مماثلة تم استعمال نماذج رياضية أمكن من خلالها معرفة سرعة الرياح في مناطق أكثر ارتفاعا وملائمة للحصول على الكهرباء إلى أن يتم التوسع في إنشاء عدد أكبر من محطات الرصد الجوي.

تركيب محطة قياس الرياح:

حساسان لقياس سرعة واتجاه الرياح يركبان على ارتفاع 40م وآخران لقياس درجة الحرارة والضغط يركبان على ارتفاع 10م، خلية شمسية وبطارية خازنة وصندوق مسجل البيانات يركب الأخيرعلى ارتفاع 2.5–3م الذي يقوم بخزن وإرسال البيانات إلى كمبيوتر[نايف، 2010، ص 12].

5- توربينات الرياح: المكون الرئيسي لمزارع محطات الرياح وقد تطورت بشكل متسارع في أقطارها مما رفع من قدراتها على إنتاج الكهرباء إذ تقوم الريش الدوارة بالتقاط الطاقة الحركية من الرياح وتحولها إلى كهرباء [آل أبو علي،2011،ص331] وتبعا لمحور الدوران تصنف التوربينات إلى:

أ- **توربينات أفقية المحور:Horizontal Axis Wind Turbines**"

الأكثر استعمالا لتوليد الكهرباء وتوضع بشكل موازي لمنطقة هبوب الرياح وتولد الطاقة بسرعة رياح بسيطة تصل إلى 3م/ث وتسمى بسرعة الدخول ولا تصل إلى قدرتها إلا عند سرعة 11م/ث [ياسم، 2010، ص38] وتتوفر منها أحجام صغيرة قطر مراوحها بين 2.5 : 7.5م وكبيرة قطرها ≤ 60م ويتوقف على قطر المروحة كمية الطاقة التي نحصل عليها جدول (2) ولها ثلاث شفرات مزودة بذيل لتوجيه التوربين نحو اتجاه هبوب الرياح وتوضع في منطقة تسمى مزرعة الرياح التي تحدد مواضعها المفضلة ضمن عدد من المعاير، ذات معاملات تحويل طاقة أعلى وتتحمل الإجهادات [نايف، 2010، ص5].

جدول (2) تفاوت الطاقة التي نحصل عليها وفقا لقطر توربين الرياح

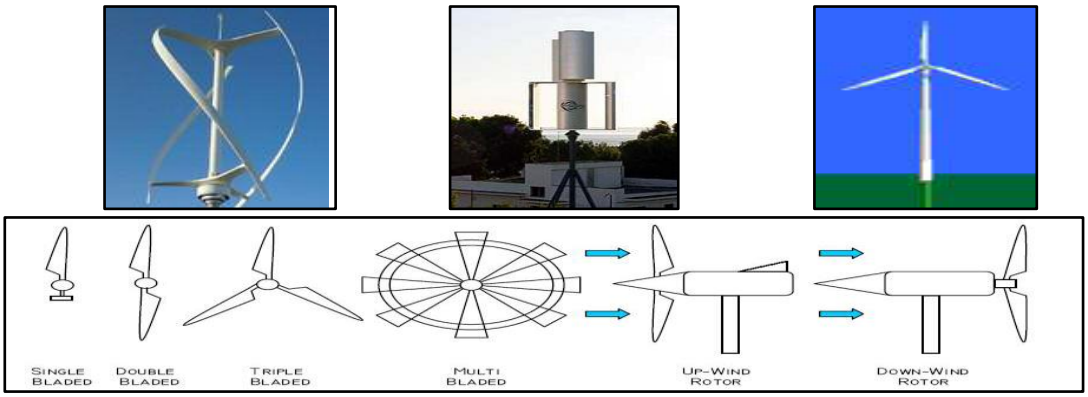
قطر المروحة/متر	18	50	66	85	100	120
الارتفاع/متر	60	164	216	279	328	394
كمية الطاقة ميقا/ وات	0.10	0.75	1.5	2.5	3.5	5.0

المصدر: فريد أبو حامد، تصميم مولد ريحي يستعمل للمناطق المعزولة ذات السرعات المنخفضة ص7، بتصرف.

ب- توربينات عمودية المحور: Vertical Axis Wind Turbines (VAWTs)

تنسب إلي الفرنسي داريوس الذي ابتكرها عام 1931، محور دورانها عمودي على الأرض وعلى اتجاه الرياح وتستطيع استلام الرياح من أي اتجاه ولا تحتاج لنظام توجيه ولها مولد وصندوق التروس يوضعان في مستوى أسفل من البرج مما يسهل من عمليات الصيانة والتشغيل ومنها علي شكل حرف "V" و"H" صورة (2) وتستعمل في تطبيقات ميكانيكية كضخ المياه [ندوة أطلس الرياح السوري، ص6] شكل الشفرات العمودي يؤدي إلى أن تعبر مناطق ميته (ايروديناميكيا) مما يخفض من كفاءة هذا النظام وتأثرها بسرعة الرياح العالية مما يشكل خطرا ويسبب فشل النظام إن لم يسيطر عليه بشكل صحيح [محمد، 1996، ص 242].

صورة (2) أشكال من التوربينات



المصدر: محمد مصطفى، محمد الخياط، الطاقة مصادرها –انواعها– استخداماتها القاهرة يوليو 2006 ص53–54 بتصرف.

5– الرياح في حوض إب:

الرياح هواء متحرك يهب ببطء شديد إلى درجة أننا لا نشعر به وقد تهب بسرعة عالية تزيد عن 300كم/ساعة كما في الأعاصير المدمرة [محمد، 2007، ص 8].

تتولد الرياح نتيجة لامتصاص سطح اليابس والبحار والمحيطات لأشعة الشمس " Solar Radiation" بنسب متفاوتة، فعند سقوط أشعة الشمس يتأثر الغلاف الجوي ويسخن الهواء مما يؤدي إلي انخفاض كثافته، وتبعا لذلك تحدث فروق في قيم الضغط الجوي بين المنطقتين [يوسف، 1981،ص44]. فينتقل الهواء من منطقة الضغط المرتفع حيث يقل الإشعاع الشمسي إلي منطقة الضغط المنخفض حيث الإشعاع الشمسي الأعلى مما يؤدي إلي هبوب الرياح، وهو عكس ما يحدث في المناطق التي ينخفض فيها مقدار الإشعاع الشمسي [علي، 1989، ص191].

وتتولد الرياح في حوض إب نتيجة امتصاص اليابس والبحار والمحيطات لأشعة الشمس بنسب متفاوتة فيتأثر الغلاف الجوي ويسخن الهواء مما يؤدي إلى انخفاض كثافته فتحدث فروق في قيم الضغط الجوي فتهب على الحوض الرياح التالية:

- **الرياح صيفا:** تختلف فروق قيم الضغط بين اليابس الأسيوي والبحار والمحيطات المجاورة فتؤدي إلى هبوب الرياح الموسمية (الجنوبية الغربية) على حوض إب والتي تهب من بداية الصيف وتستمر حتى منتصف الخريف [هادي، 2008، ص45].
- **الرياح شتاء:** يؤدي اختلاف قيم فروق قيم الضغط الجوي إلى هبوب الرياح الشمالية الشرقية والتي تهب على منطقة البحث من منتصف الخريف وتستمر خلال الشتاء حتى نهاية الربيع خارطة (3).

6- عوامل إنتاج الطاقة من الرياح:

أ- سرعة الرياح:

يتأثر إنتاج التوربينات بشكل مباشر بسرعة الرياح فالطاقة المنتجة تتناسب مع مكعب سرعة الرياح [محمد، 2007، ص8] كما تتأثر بكثافة الهواء وارتفاع البرج ومساحة سطح الدوران وتأثير التوربينات علي بعضها البعض"Wake Effect".

وطبقا لمواصفات اللجنة الدولية IEC 61400 يتم تحديد تصاميم التوربينات الملائمة للموقع تبعا:

- متوسط سرعة الرياح بالموقع V_{ave} جدول (3).
- سرعة أقوى عاصفة على مدى V_{50}عاما.
- نسبة الاضطراب في تغير سرعة الهواء منسوبا لسرعة قياسية 15/م/ث بحيث أن لا تتجاوز نسب الاضطراب 16- 18% لما لذلك من دور في تحمل التوربين للإجهادات [يوسف،1981، ص44].

وتصنف التوربينات لفئات حسب السرعات ودرجة الأحمال التي تتعرض لها كما يبينها جدول (3):

جدول (3) سرعات الرياح ودرجة ملائمتها لأنواع التوربينات من حيث الإجهادات

سرعة الرياح (m/s)	6.0	7.5	8.5	10.0
درجة التحمل للإجهادات	منخفضة	منخفضة	متوسطة	عالية

المصدر: ماجد كرم الدين محمود، رياح التغيير في انظمة الطاقة العالمية والعربية الكهرباء من الرياح، المركز الاقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، أسبانيا 2012 ص22 بتصرف.

وفي منطقة البحث لا تتوفر بيانات لسرعة لرياح للفترة الزمنية المعمول بها ولا يوجد تجاوب من الجهات المعنية لتوفير البيانات المطلوبة من الرياح وتشير الدراسات أن سرعة الرياح 3.6- 3.7م/ث هو المعدل الذي يمكن الحصول منه على طاقة كهربائية [سعود،1981، ص44] وتبعا لمعدلات الرياح خلال 2006-2010 فإن سرعة الرياح عند ارتفاع 1900م بلغت 3.3م/ث ومن الممكن إنتاج كهرباء من هذا المعدل نتيجة للتطور المتلاحق على قدرة عنفات الرياح خلال 50سنة الأخيرة، أخرها اختراع ماتس لوغيون من مؤسسة (ABB) السويدية الذي أبتكر توربينا يعمل بواسطة قرص دوار ضخم ذو دوائر مغناطيسية تدور بأي سرعة للرياح لتنتج تيار فولتي عالي، ولا يحتاج إلى محول كهربائي ولا علبة سرعات وينتج تيارا ذو فولتية عالية [مصطفى،2008،ص1] كما أن السرعات المتدنية من الرياح

يمكن الاستفادة منها لتوليد الكهرباء للأغراض المنزلية من خلال نصب التوربينات فوق أسطح المنازل فإهمال الاعتماد على هذا النوع من التوربينات يمثل خسارة كبيرة في الطاقة.

إن معدل سرعة الرياح 3.3م/ث لا تعبر إلا عن موقع وارتفاع محطة صلبة السيدة فخشونة سطح المنطقة والأشجار والمساكن والبنايات التي تحيط بالمحطة تؤثر على سرعة الرياح وهناك مواقع أخرى في الحوض ترتفع فيها سرعات الرياح إلى أكثر من هذا المعدل بفعل الارتفاع والابتعاد عن خشونة السطح وانفتاح الجو ومواجهتها للرياح لتمثل مناطق الأعراف الجبلية والتلال والممرات البين جبلية المناطق الأنسب لتوضع العنفات الريحية حيث تزداد عندها سرعة الرياح [مصطفى، 2008، ص7] خارطة (1).

وتشير الدراسات أن سرعة الرياح تزداد مع الارتفاع وتكون الزيادة كبيرة في الـ 20م الأولى إذ تبلغ عند ارتفاع 5م الأولى ضعف سرعتها عند ارتفاع 0.30سم [سامر، 2010،ص 36].

وانطلاقا من بيانات محطة السيدة أروى الواقعة على ارتفاع 1900م يمكن معرفة سرعة الرياح عند مختلف الارتفاعات وفقا للقانون التالي[Ben gue, 2010]:

$$u = uref (z \div zref) p$$

حيث أن:

u: سرعة الرياح.

uref = سرعة الرياح في محطة القياس في الارتفاع المطلوب.

Z = الارتفاع المطلوب معرفة سرعة الرياح عنده.

zref = ارتفاع محطة السيدة أروى 1900م.

P = معامل خشونة السطح.

وتظهر نتائج المعادلة أن سرعة الرياح تزداد بمعدل 0.2م/ث/100م جدول (3) وسرعة الرياح على سطح الحوض تتباين من مكان إلى أخر حسب خشونة السطح الذي يتباين بين منخفضات وتلال ومبان سكنية ونباتات وبالتالي تزداد سرعة الرياح كلما ابتعدنا عن هذا العامل كما يلي:

– على مستوى المعدل السنوي: تعد الارتفاعات أقل 2100م غير ملائمه لإنتاج الطاقة الكهربائية بشكل اقتصادي فالرياح سرعتها أقل من 3.6م/ث ومع زيادة الارتفاع تزداد سرعة الرياح فالمناطق ≤ 2100م تتوفر فيها سرعة الرياح المطلوبة لإنتاج الطاقة الكهربائية جدول (4) شكل (1).

– على المستوى الشهري: عند ارتفاع 1900م سجل أعلى معدل لسرعة الرياح في أكتوبر 4.7م/ث وأدنى سرعة في مارس وأبريل 2.8م/ث وتكون ملائمة للحصول على الطاقة الكهربائية في سبتمبر، اكتوبر، نوفمبر، ديسمبر فسرعتها تزيد عن 3.6م/ث جدول (4) شكل (2).

وعند ارتفاع ≤2300م يكون الارتفاع ملائم للحصول على سرعة رياح مناسبة للحصول على الطاقة الكهربائية في كافة أشهر السنة 4م/ث لتصبح أكثر ملائمة عند 2900م لتصل سرعة الرياح في معظم شهور السنة بين 5–6م/ث جدول (4) شكل (2).

– على مستوى فصول السنة: عند ارتفاع 1900م سجل في الربيع أعلى معدل 3.9م/ث وأدنى معدل في الخريف 3م/ث بينما في الارتفاعات ≤2300م تزداد سرعة الرياح وتكون معظم فصول السنة ملائمة للحصول على الطاقة الكهربائية من الرياح ويعد الخريف أفضل فصول السنة للحصول على طاقة الرياح بين 4–6م/ث في مختلف الارتفاعات جدول (5) شكل (3).

جدول (4) سرعة الرياح الشهرية في حوض إب م/ث حسب الارتفاع خلال 2006– 2010

الارتفاع	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل/سنة م/ث
1900*	3.2	3.1	2.8	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.9	4.7	3.7	3.8	3.3
2000	3.4	3.3	3	3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.9	3.9	4	3.4
2100	3.6	3.4	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	4.3	5	4.1	4.2	3.6
2200	3.8	3.6	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	4.5	5.2	4.3	4.4	3.8
2300	4	3.8	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.7	5.4	4.5	4.6	4
2400	4.2	4	3.8	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.9	5.6	4.7	4.8	4.2
2500	4.4	4.2	4	4	4.1	4.2	4.3	4.4	5	5.8	4.9	5	4.4
2600	4.6	4.4	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	5.2	6	5	5.2	4.6
2700	4.8	4.6	4.4	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	5.4	6.2	5.2	5.4	4.8
2800	5	4.8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	5	5.6	6.4	5.4	5.6	5
2900	5.2	5	4.8	4.8	4.9	5	5	5.2	5.8	6.6	5.6	5.8	5.2
3000	5.4	5.2	5	5	5.1	5.2	5.2	5.4	6	6.8	5.8	6	5.4

المصدر*: بيانات محطة السيدة أروي، الهيئة العامة للطيران والأرصاد، قسم المناخ بيانات غير منشورة، معدل سرعة الرياح في محطة السيدة أروى خلال 2006–2010 بتصرف.

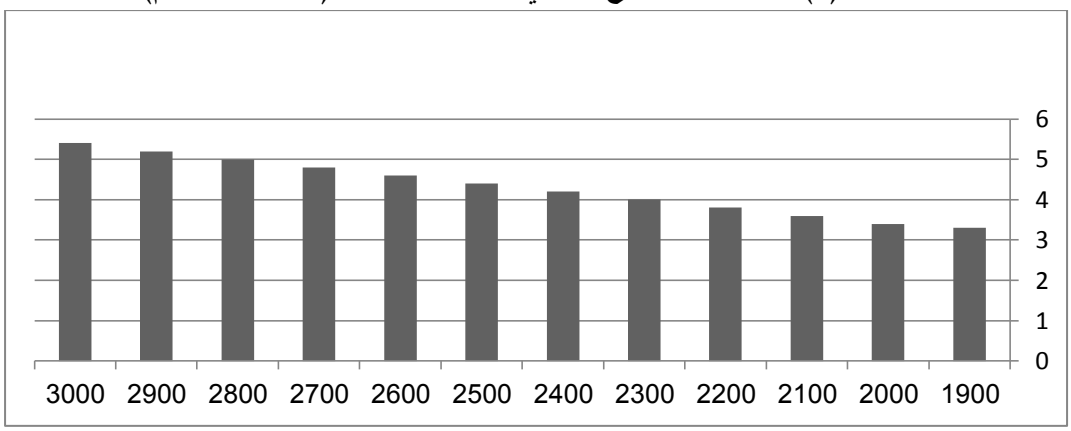
سرعة الرياح في بقية الارتفاعات من عمل الباحث وفقا لنتائج قانون القوة السابق ذكره.

جدول (5) معدل سرعة الرياح الفصلي في محطة السيدة أروى خلال 2006– 2010

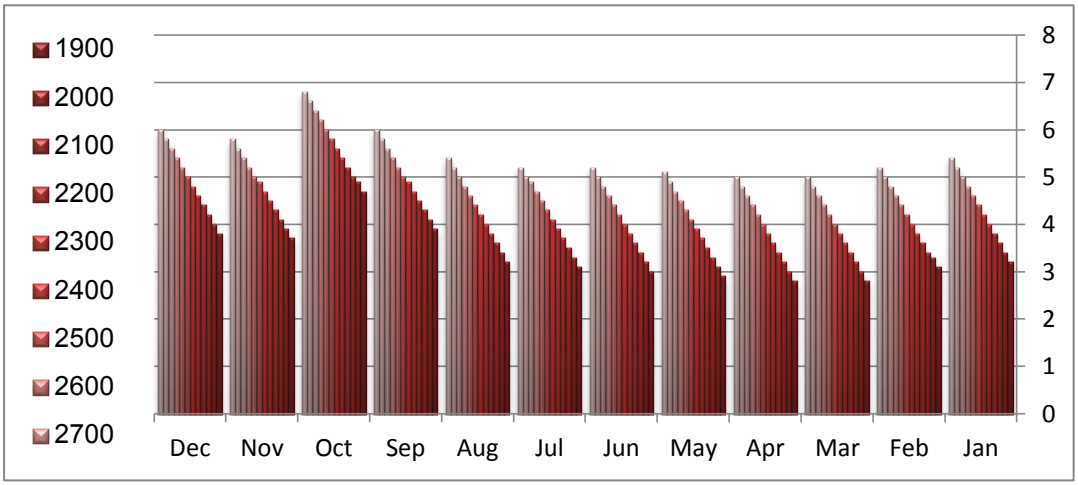
الارتفاع/م	الشتاء	الربيع	الصيف	الربيع
1900	3.4	2.8	3.1	4.1
2000	3.6	3.0	3.3	4.3
2100	3.7	3.2	3.5	4.5
2200	3.9	3.4	3.7	4.7
2300	4.1	3.6	3.9	4.9
2400	4.3	3.8	4.1	5.1
2500	4.5	4.0	4.3	5.2
2600	4.7	4.2	4.5	5.4
2700	4.9	4.4	4.7	5.6
2800	5.1	4.6	4.9	5.8
2900	5.3	4.8	5.1	6
3000	5.5	5.0	5.3	6.2

المصدر: من الجدول (4) بتصرف.

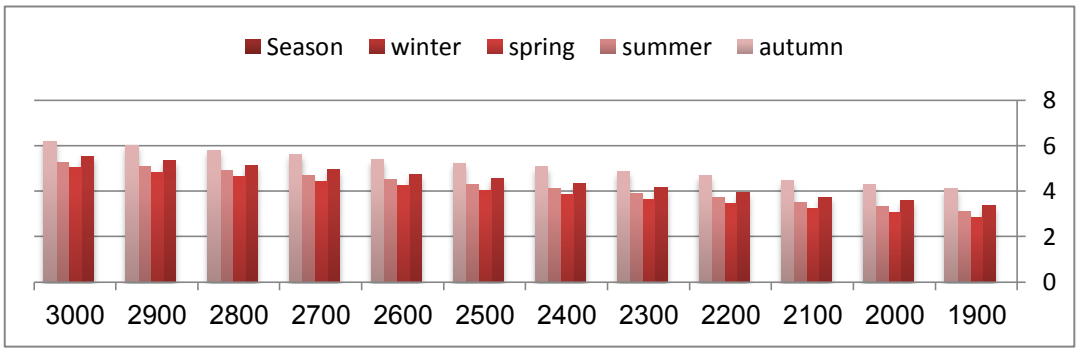
شكل (1) معدل سرعة الرياح السنوي حسب الارتفاعات (1900– 3000م)



شكل (2) معدل سرعة الرياح الشهري حسب الارتفاعات (1900– 3000م)



شكل (3) معدل سرعة الرياح الفصلي حسب الارتفاعات (1900– 3000م)



المصدر: الأشكال 1، 2، 3 من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الجدول (3، 4).

ب– اتجاه الرياح:

تؤثر في قدرة مزرعة الرياح على توليد أكبر قدر سنوي من الطاقة الكهربائية وتوضع التوربينات باتجاه عمودي على الرياح الذي يمكن تحديده من خلال: بيانات محطات الرياح و اتجاه نمو الأشجار و من أسطح التعرية والتأكل [سامر، 2010، ص 38].

وتبين وردة الرياح شكل (4) أن نسب تكرار اتجاه الرياح السائدة الشهرية في منطقة البحث من الغرب والجنوبي الغربي بنسبة 88.3% ومن الشمال والشمال الغربي بنسبة 10% مما يعني انتظام اتجاه الرياح من اتجاه غرب/جنوب غرب وأن توزيع العنفات سيكون على شكل صفوف نحو هذا الاتجاه وعمودية عليه خارطة (3).

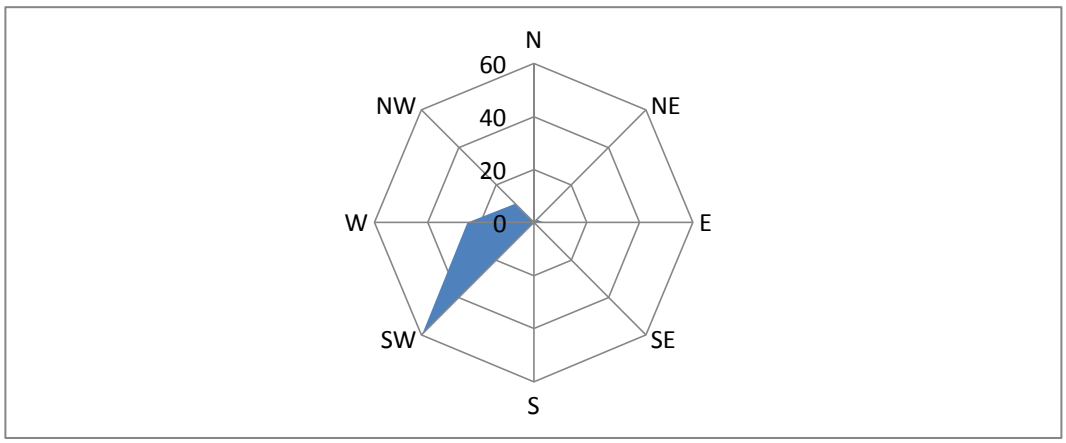
جدول (6) معدل تكرار اتجاه وسرعة الرياح السائدة الشهرية في حوض اب خلال الفترة (2006–2010)

اتجاه الرياح	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
المعدل %	0	10	25	59.4	0	0	4	1.6

الجدول: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات محطة السيدة اروى التابعة للهيئة العامة للأرصاد، قسم المناخ، بيانات غير منشورة 2006– 2010 بتصرف.

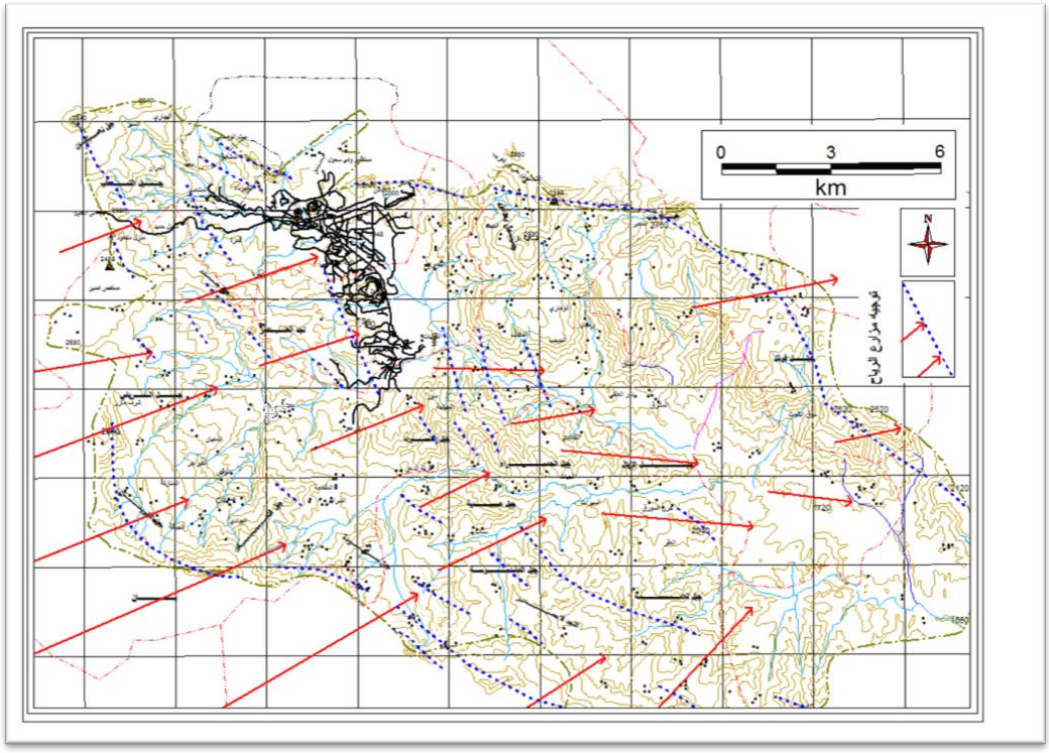
وتتأثر الرياح في منطقة البحث بشكل واتجاه الحوض، الذي يأخذ شكل منخفض بي جبلي إتجاهه شمالي غربي، جنوبي شرقي، كما تتأثر بتوجيه التضاريس مما يؤثر ذلك على توجيه وطاقة الرياح [WORLDENERGY, 2012, Pag 7] فجبل بعدان شرق الحوض يأخذ اتجاه شمالي غربي – جنوبي شرقي ليشكل حائط صد أمام الرياح الغربية التي تتعامد عليه مما يجعل الهواء المتدفق من الغرب والجنوب الغربي يغير من اتجاهه نحو الجنوب الشرقي الذي ينفتح عنده الحوض على شكل خانق (ممر وادي ميتم) مما يجعل الرياح تتضغط عنده فتزداد سرعتها فإذا كانت سرعة الرياح 4م/ث ستكون في منطقة الانضغاط 7م/ث بما يعرف بـ tunnel effect خارطة (3).

شكل (4) وردة الرياح لمحطة السيدة بحوض إب خلال 2006–2010



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الجدول 5.

خارطة (3) اتجاه لـرياح صيفا السائد في حوض إب في الفترة 2006– 2010



الخارطة من عمل الباحث بالاعتماد على برامج GIS- RS.

7– حساب الطاقة المتولدة من سرعة الرياح:

تحسب القوة المتولدة من الرياح وفقا للمعادلة التالية [محمد،2006،ص 45]:

$P = Pv \times V^3 = wat\backslash m^2$

حيث أن:

P = كمية الطاقة بالوات.

V^3 = سرعة الرياح م/ث.

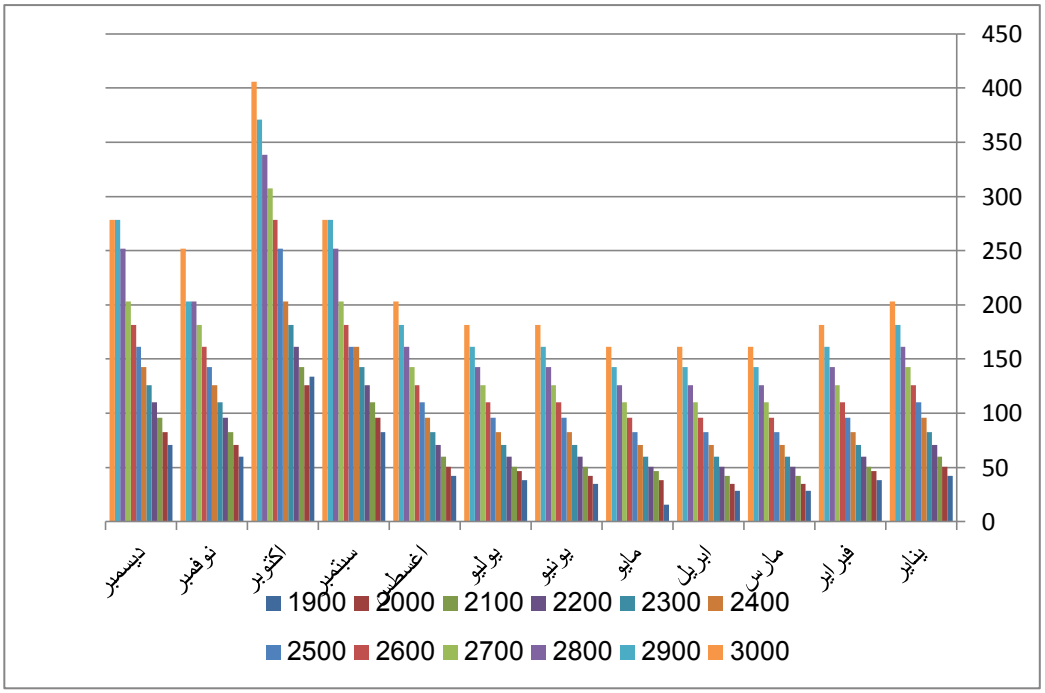
Pv = كثافة الهواء وهي قيمة ثابتة = 1.29كغم/م^2.

جدول (6) طاقة الرياح وات/م^2 حسب الارتفاع في حوض اب حوض إب خلال 2006-2010

الارتفاع		يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
1900	م/ث	3.2	3.1	2.8	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.9	4.7	3.7	3.8	3.3
	وات/م^2	54.4	92.3	28.3	28.3	15.5	34.8	38.4	42.2	82.6	133.9	60.1	70.8	615.5
2000	م/ث	3.4	3.3	3	3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.9	3.9	4	3.4
	ط/م^2	50.7	46.4	34.8	34.8	38.4	42.2	46.4	50.7	95.6	125.6	70.8	82.6	2719
2100	م/ث	3.6	3.4	3.2	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	4.3	5	4.1	4.2	3.6
	ط/م^2	60.1	50.7	42.2	42.2	46.4	50.7	50.7	60.1	109.9	142.7	82.6	95.6	2933.9
2200	م/ث	3.8	3.6	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	4.5	5.2	4.3	4.4	3.8
	وات/م^2	70.8	60.1	50.7	50.7	50.7	60.1	60.1	70.8	125.6	161.3	95.6	109.9	3166.4
2300	م/ث	4	3.8	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.7	5.4	4.5	4.6	4
	ط/م^2	82.6	70.8	60.1	60.1	60.1	70.8	70.8	82.6	142.7	181.4	109.9	125.6	3417.5
2400	م/ث	4.2	4	3.8	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.9	5.6	4.7	4.8	4.2
	وات/م^2	95.6	82.6	70.8	70.8	70.8	82.6	82.6	95.6	161.3	203.1	125.6	142.7	3684.1
2500	م/ث	4.4	4.2	4	4	4.1	4.2	4.3	4.4	5	5.8	4.9	5	4.4
	وات/م^2	109.9	95.6	82.6	82.6	82.6	95.6	95.6	109.9	161.3	251.6	142.7	161.3	3971.3
2600	م/ث	4.4	4.2	4	4	4.1	4.2	4.3	4.4	5	5.8	4.9	5	4.4
	وات/م^2	125.6	109.9	95.6	95.6	95.6	109.9	109.9	125.6	181.4	278.6	161.3	181.4	4270.4
2700	م/ث	4.8	4.6	4.4	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	5.4	6.2	5.2	5.4	4.8
	وات/م^2	142.7	125.6	109.9	109.9	109.9	125.6	125.6	142.7	203.1	307.4	181.3	203.1	4586.8
2800	م/ث	5	4.8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	5	5.6	6.4	5.4	5.6	5
	وات/م^2	161.3	142.7	125.6	125.6	125.6	142.7	142.7	161.3	251.6	338.2	203.1	251.6	4972
2900	م/ث	5.2	5	4.8	4.8	4.9	5	5	5.2	5.8	6.6	5.6	5.8	5.2
	وات/م^2	181.4	161.3	142.7	142.7	142.7	161.3	161.3	181.4	278.6	370.9	203.1	278.6	5306
3000	م/ث	5.4	5.2	5	5	5.1	5.2	5.2	5.4	6	6.8	5.8	6	5.4
	وات/م^2	203.1	181.4	161.3	161.3	161.3	181.4	181.4	203.1	278.6	405.6	251.6	278.6	5648.7

المصدر: بيانات الجدول تم حسابها من قانون الطاقة المتولدة لسرعة الرياح عند كل ارتفاع. المصدر: الجدول من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الجدول (3) ومعادلة الطاقة.

شكل (5) طاقة الرياح وات/م^2 حسب الارتفاع في حوض إب خلال 2006–2010



المصدر: الشكل من عمل الباحث بالاعتماد على جدول 5.

إن زيادة ارتفاع برج التوربينه 1م يؤدي إلى زيادة في الطاقة المتولدة بمعدل 1% [سعود، 1981،ص 34] ومن خلال الجدول (6) الذي حصلنا عليه من معادلة القوة وجدنا أنه كلما زاد الارتفاع 100م زادت الطاقة المتولدة0.01 وات/م^2 هذا التباين يكون على النحو التالي:

- عند ارتفاع 1900م: بلغ معدل الطاقة السنوي من الرياح 615 وات/م^2 وتتباين من شهر إلى أخر ليصل ادنى معدل في مايو 15.2وات/م^2 وأعلى معدل في اكتوبر 133.9وات/م^2 جدول(6) شكل(5).
- عند ارتفاع 2500م: بلغ معدل الطاقة السنوي 3971 وات/م^2 وتتباين من شهر إلى أخر ليصل أدنى معدل 82.6وات/م^2 في مارس واكتوبر على التوالي وأعلى معدل في اكتوبر 251.6 وات/م^2.
- عند ارتفاع 3000م: بلغ معدل الطاقة السنوي3971وات/م^2 هذا المعدل يتباين من شهر إلى أخر ليصل أدنى معدل 82.6 وات/م^2 في مارس واكتوبر وأعلى معدل في اكتوبر 251.6وات/م^2.

8- معدل الطاقة في حوض إب:

نستطيع حساب كمية الطاقة في حوض إب من خلال تقسيم منطقة البحث إلى ثلاثة نطاقات حسب الارتفاع وتحديد معدل الطاقة التي يمكن أن نحصل عليها عند كل نطاق للوصول إلى إجمالي الطاقة في الحوض حسب الجدول (7).

جدول (7) معدل الطاقة في منطقة الدراسة حسب الارتفاع خلال 2006–2010

م	النطاق		المساحة/ كم^2	سرعة الرياح م/ث	معدل الطاقة م^2	اجمالي الطاقة في النطاق/وات
1	>1900	A	87.6	3.3	46.3	4061
2	1900 –2500	B	29	4.1	88.9	2578.3
3	2500 –3000	C	132.2	5	161.25	21317.25
	الإجمالي	–	248.8	–	–	24301.65

الجدول من عمل الباحث بالاعتماد على برامج RS – GIS.

يتفاوت معدل الطاقة الكهربية التي يمكن أن نحصل عليها من الرياح في كل نطاق تبعا: لمساحة النطاق وتغير الارتفاع فكلما زاد الارتفاع زاد معدل الطاقة التي يمكن الحصول عليها في/م^2 كما يلي: النطاق A: 46.3 وات/م^2 بينما النطاق B: 88.9وات/م^2 والنطاق C: 161.25وات/م^2 على الترتيب وبالتالي: فان إجمالي الطاقة سيتفاوت حسب مساحة كل نطاق جدول (7) ويلاحظ أن النطاق C هو الأكثر جدوى للحصول على طاقة كهربية من الرياح إذ ترتفع كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها في م^2 الواحد لتوفر المساحات المطلوبة لإقامة مزارع الرياح، واشرافها على مناطق منخفضة وتلاشي عامل الاحتكاك.

نتائج البحث:

- تزداد كمية الطاقة التي نحصل عليها من الرياح مع الارتفاع بمعدل 0.01كيلو بايت/100م.
- تتوفر في منطقة البحث سرعة الرياح المطلوبة ≤3.6م/ث للحصول على الطاقة الكهربائية إذ تشكل الارتفاعات≤ 2300– 3000م المناطق الأمثل للحصول على سرعة رياح ملائمة لإنتاج طاقة كهربية بشكل اقتصادي.
- في المناطق التي يقل ارتفاعها عن 2000 تتدنى فيها سرعة الرياح ≤3.6م/ث ويمكن الاستفادة من سرعة الرياح فيها من خلال التوربينات التي توفر طاقة كهربية 10– 250 وات للأغراض المنزلية فضياعها يمثل خسارة كبيرة.
- يعد الخريف أفضل فصول السنة للحصول على طاقة كهربية من الرياح إذ تزداد فيه سرعة الرياح.
- يمثل الاتجاه السائد الذي تأتي منه من الرياح الاتجاه الجنوبي الشرقي بنسبة 80%.
- طاقة الرياح طاقة أمنة وتحد من التلوث خاصة في ظل التوجه السائد لإعلان إب عاصمة سياحية.

- تتفاوت كمية الطاقة الكهربية التي نحصل عليها من الرياح في المتر^2 الواحد حسب الارتفاع إذ تصل إلى 46.3 وات/م^2 في النطاق A و88.9 وات/م^2 في النطاق B و161.2 وات/م^2 في النطاق C الأعلى ارتفاعا.
- يوفر المتر^2 عند مختلف النطاقات ما معدله 98.8/ وات/م^2 رجع الجدول (7).

توصيات البحث:

- إعداد مخطط وطني مزمن يهدف إلى تحقيق الاكتفاء الذاتي من الطاقة الكهربية من مختلف المصادر فقوة الاقتصاد الوطني تتحقق من خلال ما تمتلكه من طاقة تلبي حاجة مختلف الانشطة الصناعية وإنتاج المعادن.
- حجز مواقع لمزارع الرياح في المناطق المرتفعة قبل أن يطالها التوسع الحضري خريطة (3).
- دعم البحث العلمي وتأسيس مراكز متخصصة وتأهيل كوادر تعني بتقنيات الطاقة المتجددة.
- التوسع في محطات رصد سرعة الرياح الخاصة بغرض الحصول على الطاقة من الرياح لتغطي كافة المستويات الأفقية والرأسية.
- الاستفادة من برامج GIS وبيانات الأقمار الصناعية وما تقدمه من معلومات في هذا الجانب.
- تنويع مصادر الحصول على الطاقة سواء من الرياح أو الطاقة الشمسية في ظل تنامي تكنولوجيا إنتاج الطاقة من هذه المصادر بما يحقق توفير استدامة اطول للوقود الاحفوري.
- تطوير تقنية الاستفادة من سرعة الرياح والطاقة الشمسية فمنطقتنا العربية بما فيها اليمن مناطق بديلة للطاقة خاصة بعد نضوب النفط.
- إعداد كادر بشري يستطيع تطوير هذه التقنية والاعتماد على الامكانيات المحلية في إنتاج هذه التكنولوجيا.
- الأخذ بعين الاعتبار النتائج التي توصلت اليها الدراسة.
- أخيرا (وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون وستردون إلى عالم الغيب والشهادة فينبئكم بما كنتم تعملون)سورة التوبة أية 105.

المصادر العربية:

1- القرآن الكريم: سـورة الحاقة:آية 6، سورة التوبة: آية 105.

2- استعمال نظم المعلومات الجغرافية في تنمية مشروعات الطاقة المتجددة دراسة حالة مصر، المؤتمر العلمي السابع عشر لنظم المعلومات، القاهرة، فبراير 2010م.

3- أطلس طاقة الرياح السوري وتحديثه، مديرية الأرصاد الجوية العامة.

4- الجنابي، مصطفى كامل، امكانية استغلال طاقة الرياح في توليد الكهرباء في العراق، مؤتمر التنمية المستدامة والكفاءة الاستخدامية للموارد المتاحة 7-8 ابريل 2008 جامعة فرحات المملكة المغربية.

5- الخليل، باسم، طاقة الرياح في سوريا الواقع والافاق، المركز الوطني لبحوث الطاقة ندوة تحديث أطلس طاقة الرياح السوري، أفاق طاقة الرياح، 15-12- 2010.

6- الخياط، محمد مصفى محمد، تكنولوجيا طاقة الرياح، مجلة الكهرباء العربية، العدد 91 ديسمبر 2007م.

7- الخياط، محمد مصطفى، الطاقة – مصادرها- أنواعها استخداماتها، القاهرة 2006.

8- الصليحي، هادي محمد، أثر المناخ على استعمال التربة في انتاج البن والعنب بمحافظة صنعاء باستعمال GIS- RS اطروحة دكتوراه، جامعة محمد الخامس، الرباط، 1988.

9- الصليحي، هادي محمد، أثر الأمطار على تجدد الماء الجوفي في حوض إب، بحث منشور في مجلة منشورات علوم جغرافية العدد E122 تونس 5/23/ 2014.

10- العبود، نايف، تحليل وتصنيع واختبار دوار ريحي شاقولي يعمل بمبدأ سافونيوس/ داريوس، ندوت أفاق طاقة الرياح، حمص، سوريا 2010.

11- آل أبو علي، علي مجيد ياسين، إمكانية استغلال طاقة الرياح في قضاء الناصرية، دراسة في جغرافية الطاقة، مجلة آداب ذي قار، العدد 6، المجلد 3.

12- حامد، فريد أبو و كاظم، جعفر، تصميم مولد ريحي يستعمل في المناطق المعزولة عن الرياح، جامعة دمشق، الهيئة العليا للبحث العلمي.

13- خليل، عامر، أسس تصميم مزارع الرياح، ندوة تنمية طاقة الرياح في القطر العربي السوري 12- 15 - 2010م.

14- رهبان، عبد الرؤف، الأهمية النسبية والنوعية لموارد الطاقة، مجلة جامعة دمشق المجلد 27العدد الأول، والثاني 2011.

15- مقابلة شخصية: شمسان، فهد محمد، مدير مكتب مؤسسة الكهرباء – منطقة اب، بتاريخ 25/ 11/ 2013م.

16- مقابلة شخصية: صبر، إبراهيم محمد، أكاديمي بقسم الفيزياء بجامعة اب، بتاريخ 3/20/ 2013.

17- عياش، سعود يوسف، تكنولوجيا الطاقة البديلة، عالم المعرفة، العدد 38، فبراير 1981.

18- فولي، حسن سلطان، جغرافية الطاقة، دار المؤيد، الرياض، 2006.

19- مجلة تقنيات الطاقة المتجددة قصة نجاح المانية، الوكالة الالمانية للطاقةDENA ، الوزارة الاتحادية للاقتصاد والتكنولوجيا: www.renewables-made-in-germany.com.

20- موسى، علي حسن، مناخات العالم، دار الفكر المعاصر- دمشق- الطبعة الثانية، 1989.

21- نجيب، عبد العظيم محمد، علم المناخ المعاصر، قسم الأراضي والمياه، كلية الزراعة، جامعة الاسكندرية، 1996.

Refrains English:

1- Fortunato B, Mummolo G, Cavallera G, Economic optimization of wind power plants for isolated locations. Wind Energy (60): 2002.

2- Ben-Jue Tsai and Bao-Shi Shiau Experimental study on experimental study on Theflow characteristics for wind over atwo-Dimensional upwind slope escarpment.

3- World Energy outlook 2012 international Energy Agency (iea).