الطاقة الشمسية والتنمية المستدامة
مجلة علمية مُحكّمة نصف سنوية تصدر عن مركز بحوث ودراسات الطاقة الشمسية

التيارات الهوائية النفاثة كقوة مولدة للطاقة الكهربية في ليبيا

عبد الفتاح الهادي الشيباني

المركز الوطني للأرصاد الجوية - طرابلس - ليبيا

بريد إلكتروني: Afshibani@gmail.com

الملخص: إن مصادر الرياح العليا ضخمة للغاية، ووفقا للتقديرات يمكن لهذه الرياح أن تزود ليبيا بقسط كبير من الطاقة الكهربائية. من بين الأمثلة الدالة على التكنولوجيات الهندسية المعاصرة في هذا المجال هو ابتكار جيل جديد من التوربينات الريحية المعلقة، حيث أدرك العلماء أن الرياح القريبة من سطح الأرض أضعف كثيرا من أن توفر موردا منتظما للطاقة، وذلك بسبب وجود الدوامات الهوائية والعوائق التي تمثل مصدرًا للاحتكاك الأرضي الذي يكون سببا في إضعاف قوة الرياح، ويعتبر البعض أن سطح الأرض مكان غير مناسب تماما لاستثمار طاقة الرياح، وكحل بديل تم البدء في التفكير حول إقامة مزارع للرياح في مكان آخر بعيدا عن سطح الأرض، وذلك بتطوير نوع جديد يمكن تشغيله بطبقات الجو العليا وبالتحديد عند مناطق التيارات الهوائية النفاثة، ومقارنة مع الرياح المتقلبة التي تهب بهدوء بالقرب من سطح الأرض قدر العلماء أن طاقة التيارات النفاثة تزيد بألف مرة عن تلك التي يمكن تجميعها من أعتى الرياح في أعالي التلال. وحتى نتمكن من تقديم صورة واضحة عن إمكانية استثمار الطاقة من التيارات الهوائية النفاثة، سنقدم عبر صفحات هذه الورقة شرحًا للموضوع من خلال الجوانب الآتية: كيف بدأت رحلة التوربينات الريحية المعلقة، ميزاتها، والصعوبات التي تواجهها، فوائدها وجدواها الاقتصادية، الدورة الهوائية العامة للغلاف الجوي، التيارات الهوائية النفاثة. ونظرا لكون ليبيا تعتبر من بين بلدان العالم المحظوظة التي يمر بسمائها مجرى التيارات الهوائية النفاثة الشبه مدارية تم القيام بتحليل ومتابعة الخرائط السينوبتيكية اليومية الدالة على سرعة واتجاه الرياح النفاثة والارتفاعات التي وجدت عليها لفترة 60 شهرا متتاليا ابتداء من 01 يناير 2003، حتى 31 ديسمبر 2007، إضافة إلى تحليل بيانات الرصد اليومي للرياح النفاثة التي سجلتها محطة الأجواء العليا بطرابلس خلال الفترة من بداية مارس 1987 حتى نهاية فبراير 1989. تلخصت نتائج الورقة في ان التيارات الهوائية النفاثة ستشكل في المستقبل أحد المصادر الاستراتيجية الهامة للطاقة النظيفة وبإمكانها توفير قدرة تصل كثافتها المتوقعة إلى 19 كيلوواط لكل متر مربع، وتوصي بالاهتمام بها على الصعيد البحثي والتجريبي والتقني، لأن البراعات البحثية والتجريبية والتقانية كفيلة بأن تقدم الكثير من الحلول المثيرة لمشكلات الطاقة في ليبيا.

Abstract: The supreme wind sources are extremely huge, and according to estimations, these winds can supply Libya with great quantity of electrical energy. Among the examples of contemporary engineering technologies in this field, is to create a new generation of Airborne Wind Turbines. Scientists realized that winds near the Earth's surface are too weak to provide a regular source of energy due to the presence of aerobic swirls and obstacles, which represent a source of ground friction being the cause of weakening wind power. Some consider that the Earth's surface is a totally inappropriate place for investing wind energy. As an alternative solution, we start to think about the establishment of wind farms in another place away

from the Earth's surface by developing a new type that can run within the upper-air layers, precisely at jet streams areas. In comparison with fluctuating winds blowing gently near the Earth's surface, scientists estimate that the energy of jet streams increases a thousand times than that can be gathered from the most powerful winds on high hills. To be able to provide a clear picture of the possibility of energy investment of jet streams, we shall present, across the pages of this paper, an explanation of the topic through the following aspects: How do Airborne Wind Turbines' trip start, their advantages and difficulties faced, benefits and economic feasibility, General Atmospheric Circulation and jet streams. Since Libya is among the fortunate countries in the world, through which subtropical jet streams pass, we made an analysis and follow-up of daily synoptic charts, which show jet winds' speed, direction and their altitudes for a period of 60 consecutive months starting from January 1, 2003 until December 31, 2007. Also, an analysis was made of daily observational data of jet winds recorded by Tripoli Upper-air Station during the period from the beginning of March 1987 until the end of February 1989. The paper's results summarized that jet streams will be in the future one of the important clean energy strategic sources, and can provide a capacity, whose expected intensity is up to 19 kilowatts per square meter. It recommends giving attention to jet streams at the research, experimental and technological levels because research, experimental and technological proficiencies can provide more exciting solutions for energy problems in Libya.

كلمات استدلالية: طاقة التيارات الهوائية النفاثة، التربينات الريحية المعلقة

1. مقدمـــــة

تحظى طاقة الرياح بقدر كبير من الاهتمام حيث تسعى بعض الشركات الكبرى جاهدة للعمل مع المؤسسات التقنية والأكاديمية من أجل ابتكار نوع جديد من التكنولوجيات المتطورة، التي تبدو كما لو كانت بعيدة الاحتمال، إلا أنها أصبحت في واقع الأمر قريبة المنال. حيث يرجع الفضل في ذلك إلى الدمج القوي بين الدوافع الدولية والاستثمار الخاص. فكما استطاعت العربات الآلية أن تتفوق على الجياد، وأن يحل الحاسوب محل الآلات الكاتبة، والهاتف النقال محل الهاتف الأرضي الثابت، فإن تقدم التكنولوجيا سوف يجعل نظم الطاقة الحالية تبدو بدائية وغير اقتصادية. إن العربات والحاسوب والهاتف النقال وغيرها كانت في أول عهد ظهورها مكلفة ومحدودة وصعبة الاستعمال، لكنها سرعان ما أصبحت عملية ومتاحة بأرخص الأثمان. كما أن تكنولوجيات الطاقة الجديدة أصبحت تتحرك بسرعة نحو منحنيات التكلفة الهندسية. وعلى هذا الأساس سنحاول عبر صفحات هذه الورقة التركيز على إحدى التكنولوجيات والابتكارات الواعدة في مجال إنتاج واستثمار الطاقة من الغلاف الجوي والتي باتت تعرف بالتقنيات الريحية المعلقة، التي تنبثق من مبدأ السعي للحصول على مصادر جديدة للطاقة وزيادة الكفاءة مع التأكيد على أن الكفاءة هي الأمل الأفضل، إضافة إلى أن الحاجة قد أصبحت عاجلة لوضع رؤية واضحة لمواجهة التحديات الحالية والمستقبلية للتنمية المتكاملة لموارد الطاقة المستدامة في المناطق القاحلة، ويمكن تحقيق ذلك بواسطة الدعم الجاد لمؤسسات البحث العلمي والتطوير التقني من أجل تأمين ودعم الخبرات العلمية والتقنية الفعالة للقيام بدور التطوير والابتكار. لذا نأمل من فئات الباحثين والمتخصصين ومخططي السياسات الاقتصادية والبيئية بالمؤسسات الوطنية الذين يهتمون بمجالات الطاقة المتجددة دراسة هذا الموضوع بشكل أشمل من كافة جوانبه وإدراجه ضمن سّلم الأولويات بهدف

اكتشاف مدى إمكانية الاستفادة الليبية الذاتية من طاقة التيارات الهوائية النفاثة الكامنة بطبقات الجو العليا. وحتى نتمكن من توضيح الفكرة الأساسية للموضوع الذي تطرحه هذه الورقة سنبدأ أولا بتعريف التقنيات الريحية المعلقة منذ بداياتها ثم نستتبع ذلك بتقديم شرح موجز للدورة الهوائية العامة والتيارات الهوائية النفاثة، وسنحاول تشخيص الوضع المتعلق بمدى إمكانية الاستفادة الليبية من هذا المورد النظيف الذي تصل كثافة قدرته المتوقعة إلى 19 كيلوواط لكل متر مربع، وسنأتي بين ثنايا هذه الجوانب على العديد من المواضيع الهامة بالخصوص.

2. كيف بدأت رحلة التوربينات الريحية المعلقة

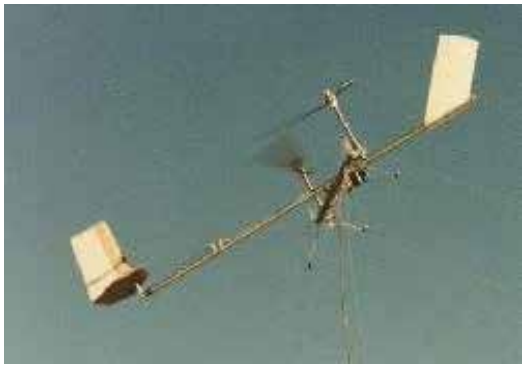
في أواخر السبعينيات من القرن الماضي عندما شغلت العالم مشكلة ماذا بعد عصر النفط؟ أي أثناء أزمة النفط كان هناك عالم اسمه بريان روبرتس [2،1]، بدأ هذا العالم يفكر بطاقة الرياح ولكن ليس من خلال الرياح السطحية التي اعتبرها ضعيفة وتمتاز بكثرة التغير في اتجاهها وكثرة التذبذب في سرعتها بشكل يجعلها لا تؤمن المورد المناسب والمنتظم للطاقة، وكانت فكرته الأساسية ترتكز حول استغلال مصادر طاقة الرياح وذلك من خلال التيارات الهوائية النفاثة بالطبقات العليا للغلاف الجوي، حيث تعتبر التيارات الهوائية النفاثة بمثابة خزان ضخم للطاقة، وتقدر كميات الطاقة الهائلة التي تخزنها التيارات النفاثة في سماء الهند، والصين، واليابان، وشمال أفريقيا، وحوض البحر المتوسط بنحو 19 كيلوواط لكل متر مربع [3]، أما في سماء نيويورك واستراليا فتقدر بنحو 17 كيلوواط لكل متر مربع، بينما يقدر معدل طاقة الرياح السطحية على نفس المكان بنحو 4 كيلوواط لكل متر مربع [5،4،1]، وبعبارة أخرى فإن الطاقة المتوفرة بطبقات الجو العليا تزيد بمائة مرة عن الطاقة التي يوفرها أي مصدر آخر للطاقة [6، 7]. ومن بين أفضل المواقع التي تتوفر بها طاقة التيارات النفاثة اختار بريان منطقة نيوساوث ويلز لإجراء تجاربه في هذا المجال وبالتالي كانت القارة الأسترالية محظوظة جدا بذلك. امتلك بريان خططا هائلة ورائعة لتطوير الضواحي الأسترالية بالأراضي الشاسعة الممتدة شمال غربي سيدني، ويتمثل حلمه في تشييد محطات طاقة ضخمة بإمكانها إنتاج مئات الميجاواطات من الطاقة الكهربية [8، 9]. وقد حدد بريان الذي كان يعمل مهندسا في جامعة غرب سيدني آنذاك، حدد كيفية إمكانية استخلاص الطاقة من الغلاف الجوي عبر سلسلة من التوربينات الريحية التي تصدر أزيزا قويا أثناء دورانها، والمربوطة بحبال تمتد إلى ارتفاع 4 كيلو مترات فوق سطح الأرض. في البداية اعترف بريان بأن تشغيل مزارع الرياح عند هذا الارتفاع الشاهق لن يكون هينا، وعلى الرغم من ذلك فقد بنى هو وفريقه عددا من التوربينات الريحية الدوارة التي تعتبر تهجينا بين طائرة الهيليوكبتر والطائرة الورقية. وبعد ثلاثين عاما من الأبحاث، أصبح بريان جاهزا لإجراء تجاربه وذلك بإرسال توربيناته الريحية إلى أعالي الغلاف الجوي. تمثلت العقبة الخفية بالدرجة الأولى في كيفية وإمكانية رفع هذه المعدات ونصبها في الجو إذ من المؤكد أن إيجاد منطاد ضخم يكفي لرفع مراوح قوية ومولدات للطاقة عدة كيلومترات في الجو سوف يكون مكلفا دون شك. وفي هذا الصدد قال بريان؛ لرفع توربينات تستطيع ان تولد طاقة قدرها ميجاواط واحد، يجب أن يضاهي حجمها طائرة جامبو نفاثة. بنى بريان توربينته المعلقة الأولى في الثمانينيات معتمدا في ذلك على فكرة إمكانية استخدام نوع من طائرات الهيليوكبتر التي لا تعمل بالطاقة لكنها تتسلق الرياح وتستفيد من طاقتها لرفعها كالطائرة الورقية وتدعى (الجيروميل) أي التوربينة الدوارة. وقد قام باختبار هذه التوربينة في نفق هوائي بجامعة سيدني، وعلى الرغم من الصناعة البدائية للطائرة فإنه كان موفقا في اختيار المولد الكهربائي الذي اقتبس تركيبته من المثقب الكهربائي، وكان لدى المحركات طاقة قوية قياسا بالوزن وأنتج كل مولد عدة كيلوواطات من الكهرباء أثناء دوران المراوح [10].

وبصورة نموذجية فكر في استخدام آلة خفيفة مصنوعة من أنابيب معدنية قوية تتكون من جسم هيكلي وطائرة ذات ذيل صغير وجناحين متشابكين بشكل انسيابي، وعند طرفي الجناحين يتم تركيب مروحة ضخمة ومولد كهربائي، وأثناء دورانها توفر المروحتان طاقة رفع قوية تكفي لإبقاء كافة هذه الأجهزة محمولة في الهواء الجوي، وفي حالة استخدام مزرعة للرياح تتكون من عدة آلات يتم ربط كل آلة بالأرض بواسطة أسلاك قوية وذلك لمنع تباعدها عن بعضها. وتقوم المراوح أثناء دورانها بتوليد طاقة قوية يمكن تمريرها عبر أسلاك الومونيوم موصلة للكهرباء إلى محطة

أرضية ومن ثم إلى شبكة كهربية حيث تقدر الطاقة المتولدة عنها بأكثر من 10 ميجاواط [11].

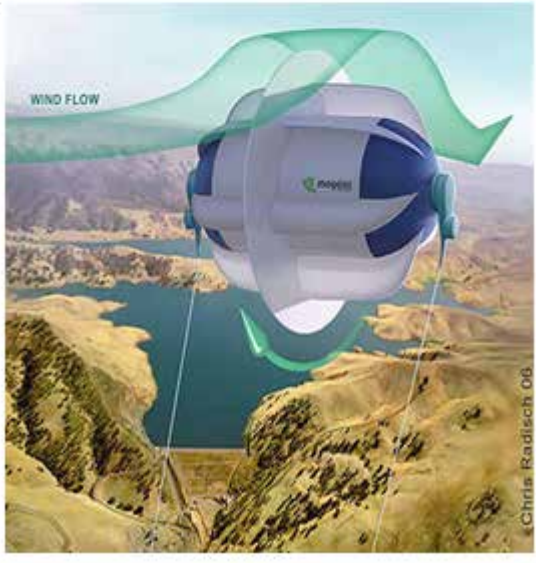
ونظرا لعدم توفر مورد مالي مستمر، اضطر بريان الانتظار لسنوات أخرى قبل أن تتمكن طائرته الصغيرة من التحليق. وعندما سنحت له الفرصة وتهيأت له الظروف بدأ بريان بإجراء الخطوة الأولى من تجاربه حيث قام مع فريقه بتحميل توربينته الهوائية الضخمة على مقطورة مع زوج من المراوح التي يبلغ طولها أربعة أمتار، وباستخدام سيارته جر تلك المقطورة إلى مطار مهجور، وسار بسيارته المحملة بالمراوح لمحاكاة الرياح القوية فارتفعت الآلة المربوطة نحو متر في الهواء. أثبتت هذه التجربة أن توربينة هوائية بهذا الحجم بإمكانها توليد طاقة كافية لتمكينها من التحليق وتوفير الكهرباء. لكن بريان استنتج الكثير من الملاحظات حول افتقار الطائرة للتوازن والثبات في الهواء الجوي. ونظرا لأن الآلة كانت تتأرجح بصورة غير متوقعة تعين على الباحثين تركيب أذرع معدنية على مؤخرة السيارة لحماية أنفسهم، وتمثلت الخطوة التالية باختبار هذه التوربينة الهوائية الأولية في جولبيرن بنيوساوث ويلز حيث تمكنت من التحليق إلى ارتفاع 30 مترا، وخلال هذه المرحلة قرر استخدام خمسة أسلاك (كوابل) للتحكم بالتوربينة الهوائية التي بدت وكأنها طائرة ورقية.

وفي منتصف التسعينيات تم إجراء المزيد من التجارب بجامعة غربي سيدني حيث تم تعيين بريان كبروفسور في مجال هندسة الميكانيكا الآلية. وقد قام مع طلابه بتركيب جهاز جيرسكوب على الطائرة لغرض تحديد الارتفاع، إضافة إلى جهاز معالجة ذاتية، وبرنامج حاسوب للتحكم آليا بالطائرة وبموضع التوربينة الهوائية المربوطة بالأرض. وقد أصبح لدى بريان الآن العديد من المتطلبات الهامة مثل قوة الرفع والطاقة والثبات والتحكم في الطائرة. ومنذ ذلك الحين ركز بريان على جعل تصاميمه تتسم بالكمال وتحديد نسبة الطاقة المثالية إلى الوزن. كما قام فريقه بتحليل معطيات الرياح لفترة ثلاثين سنة مضت بعد أن تحصل عليها من مكتب الأرصاد الجوية، وقد أظهرت هذه المعطيات أن طاقة التيارات الهوائية النفاثة في شمالي نيوساوث ويلز تصل إلى 19 كيلوواط لكل متر مربع على ارتفاع 9 كيلومترات [12،8،4].



الشكل (1). التجارب الأولى لبريان.

وضع بريان خطة لإقناع شركات الطاقة بجدوى مشروعه، لكنه أدرك أيضا أنه للحصول على أفضل النتائج من توربيناته الهوائية الدوارة المعلقة يتعين أن لا يتم تعليقها على ارتفاعات شاهقة جدا، حيث تكون طاقة الرياح أقوى ما يمكن في بؤرة التيار النفاث وتتلاشى تدريجيا بالابتعاد عنها. لكن استغلال طاقة الرياح في بؤرة التيار الهوائي النفاث تعني استخدام كوابل طويلة بصورة غير عملية من ناحية تكلفة التصنيع والصيانة، وبالنظر إلى ذلك وإلى مصادر الطاقة المنافسة في استراليا، قدر بريان أن أفضل عائد من ناحية الاستثمار يتمثل بتحليق التوربينة عند ارتفاع نحو 4 إلى 5 كيلومترات [11]. ويعتزم بريان إرسال اسطول من التوربينات الريحية التي تولد طاقة قدرها 10 ميجاواط مربوطة فوق حقل دائري يبلغ قطره نحو 28 كيلومترًا لتوفير حيز كاف لإبقاء الأجهزة متباعدة عن بعضها مسافة كيلومتر وهو هامش هبوط آمن في حالة الطوارىء. وفي الأسفل توجد أكشاك للصيانة ومحولات لتوصيل المولدات الكهربية المحمولة جوا بشبكة الكهرباء الأرضية.



الشكل (2). نماذج للتوربينات الريحية المعلقة.

3. ميزات مشروع تقنية التوربينات الريحية المعلقة

تشير الدراسات والتقارير العلمية إلى أن تقنية التوربينات الريحية المعلقة تتميز بعدة مزايا نذكر منها [12،11،9،1]:

- أن إنتاج مزرعة الرياح المؤلفة من عشرة أجهزة يضاهي إنتاج محطة طاقة كهربية متوسطة الحجم.
- أن إدارة مزرعة رياح عند ارتفاع 4-5 كيلومترات لها ميزة هامة، فالسكان الذين يقيمون بالقرب من هذا الموقع لا يسمعون هدير المراوح الضخمة وهي مشكلة رئيسية يعاني منها الناس الذين يقيمون بجوار مزارع الرياح السطحية.
- إذا تعين نقل مزرعة الرياح إلى أي مكان آخر فمن السهولة بمكان نقل المنظومة بأكملها، وتتيح هذه السهولة في نقل مزرعة الرياح الجديدة من تتبع مجرى التيار الهوائي النفاث أثناء تنقله من الشمال إلى الجنوب خلال العام حيث بالإمكان حمل الأجهزة على قطار متجه بعيدا عن العمران، أو جرها بواسطة

سفينة لتوجيهها بشكل دائم أسفل التيار النفاث.

- على الرغم من أن طاقة التيارات النفاثة لا تتطلب أن تكون التوربينات الريحية ضخمة الحجم وثقيلة الوزن كحال توربينات الرياح الأرضية التي تقام على سفوح التلال المكشوفة أو في الجزر والتي غالبا ما تتعرض لضربات الرياح العاتية ما يعرض أجهزتها الميكانيكية للاهتراء، فإن الرياح التي تهب على ارتفاعات شاهقة أكثر ثباتا وحتى عندما تكون هوجاء فبإمكان التوربينة تسلقها فترتفع وتهبط فيها كالطائرة الورقية بدل أن تقف وراءها بصلابة، هذه الحركة تقلل القوى المؤثرة على المراوح والأجهزة الميكانيكية.
- يؤكد الخبراء أن الإجهاد المعدني سوف يكون أقل تأثيرا لذا يعتقدون أنه بالإمكان صنع التوربينات الريحية هذه بصورة أخف وأكثر واقعية من توربينات الرياح الأرضية.
- عندما تحتاج توربينات الرياح إلى إجراء بعض الصيانة عليها أو في حالة تعرضها لتهديد الرياح العاتية بالإمكان إعادتها إلى الأرض ومن ثم إرسالها إلى الجو مرة أخرى بعد صيانتها أو بعد هدوء العاصفة.
- بالإمكان جعل المولدات الكهربية تعمل بصورة معاكسة أي نقل خطوط الطاقة الأم عبر الأسلاك لإدارة المراوح الموجودة في هذه المولدات، إذ بالإمكان التحكم بالمحطة الهوائية بصورة شبيهة بالتحكم بالهليوكبتر الكهربية، ويمكن استخدام هذه الوسيلة التحايلية أيضا لإبقاء أسطول المحطات محلقا في الأجواء العليا خلال الفترات القصيرة من سكون الرياح، كما أنه خلال الفترات الطويلة من سكون الرياح التي تمتد ثلاثين ساعة أسبوعيا في المتوسط، يمكن إنزال ألتوربينه الريحية على الأرض.

4. الصعوبات التي يواجهها المشروع

على الرغم من أن الاحتمالات الكبيرة التي تتوقع إمكانية توفير طاقة نظيفة غير محددة صديقة للبيئة بواسطة هذه التقنية، فلا يبدو أن المجتمع الأسترالي مقتنع بفكرة بريان، حيث إن هناك عدة نقاط لازالت تحتاج للتوضيح مثل:

- قد لا تحظى أجهزته برضا الطيارين لأنها تتعدى على مجالهم الفضائي، وعلى الرغم من أن الارتفاع الذي يتراوح بين 4 – 5 كيلومترات يعتبر أقل من الارتفاع التطوافي بالنسبة لطائرات نقل الركاب النفاثة، فإن سلطة سلامة الطيران المدني أعربت عن قلقها من هذا المشروع، وبحسب التشريعات الحالية لا يسمح بتحليق الأجسام المربوطة لأكثر من مسافة 100 متر فوق مستوى سطح الأرض دون الحصول على تصريح خاص بحيث يتم إضاءتها بصورة ملائمة حتى لا يرتطم بها أي جسم طائر.
- من المعروف أن استراليا تعتبر واحدة من أكبر مصدري الفحم في العالم لذا يتوقع بريان بعض المعارضة لمشروعه من قبل أرباب الصناعات الذين لهم مصلحة في الحفاظ على الوضع الراهن.
- على الرغم من التمويل التدريجي الذي تلقاه مشروع بحث بريان عبر السنوات، فإنه واجه صعوبات في الحصول على التأييد الكافي للحصول على حقل تجارب لتوربيناته الريحية الطائرة، فقد قام مكتب البيت الأخضر الحكومي الأسترالي الذي يتعامل مع المسائل المتعلقة بالبيوت الزجاجية برفض الطلب الذي تقدم به بريان لأجل منحه حقلا لتجاربه مشترطا في البداية تجهيز طائرته بالمعدات اللازمة.
- عندما حصل بريان على التمويل الكافي، تخيل تصميم طائرة لها مراوح ضخمة يبلغ قطرها 35 مترا قادرة على إنتاج 20 ميجاواط من الكهرباء، واقترح إجراء تجربة بالقرب من موقع إطلاق الصواريخ في وومبرا بجنوب استراليا حيث يحظر تحليق الطائرات. وفي حالة نجاح التجربة فإن هذا النوع من الطائرات قد يزود مناطق شاسعة بالكهرباء، ولكن حتى لو سمح لبريان باختبار أجهزته في الأجواء العليا فثمة مشاكل أخرى قد تحطم أحلامه، حيث يشير المسؤولون الأستراليون إلى وجود قانون بشأن الحد الأقصى من الطاقة التي يتم توليدها من المراوح الدوارة، والأهم من ذلك هناك مسألة المصداقية بشأن نسبة تكاليف البناء

إلى النتائج وهي مسألة خاسرة قد تقضي على المشروع.

5. الفوائد والجدوى الاقتصادية المتوقعة للمشروع

على الرغم من كل الصعوبات التي يواجهها هذا المشروع فإن بريان لا يزال واثقا من نجاح مشروعه، فقد أنهى دراسة تحليلية بالنسبة لمزايا التكلفة، وتظهر هذه الدراسة بأن العائد الاستثماري للتوربينة الريحية التي تولد خمسين كيلوواط من الكهرباء سوف يكون صغيرا، أما التوربينة الكبيرة فقد تسد نفقات تكلفتها في غضون سنوات قليلة. وبالرغم من أن الهدف الرئيسي لبريان هو استخدام التوربينات الريحية المعلقة لتوليد الطاقة الكهربية، فإنها ما أن تصبح فعالة حتى يمكن تسخيرها كما يقول في مجالات الاتصالات أو عمليات الاستطلاع الجوي لأن لديها مدى رؤية واسعا يصل إلى مئتي كيلومتر، ويمكن استخدامها كذلك للتخلص من 95 % من أبراج الهواتف النقالة في تلك المناطق. وإذا ما نجحت التجارب على الأرض فلماذا لا تنجح على الكواكب الأخرى؟ وعلى هذا الأساس قدم بريان لوكالة الفضاء الامريكية (ناسا) اقتراحا يشير إلى أن أجهزته سوف تكون ملائمة لحساب الطاقة من التيار الهوائي النفاث لكوكب المريخ خلال المهام الفضائية لاستكشاف الكوكب الأحمر. وباكتمال معظم مشاريعه يركز بريان على إثبات نجاح مشروعه وأنه مربح ماديا. ويضيف هذا دعما جديدا لأنصار طاقة الرياح حيث تشير تقارير المجلس العالمي لطاقة الرياح أنه خلال سنة 2005 تم تركيب معدات توليد طاقة الرياح في أكثر من 30 دولة، بلغ مجموع القدرة التي تنتجها 11,531 ميجاوات، وهذا يمثل زيادة في الأساس السنوي بنسبة 40.5 %، وزيادة في النمو التراكمي بنسبة 24 % [13]. والجدول الآتي يبين أن طاقة الرياح السطحية قد أصبحت قادرة فعلا على تأمين دخل ذي دلالة في مجال توليد الكهرباء الخالية من الكربون [14]. فماذا عن حجم الدخل الذي يمكن تأمينه في حالة نجاح مشروع استثمار طاقة التيارات الهوائية النفاثة بواسطة تقانة التربينات الريحية المعلقة؟

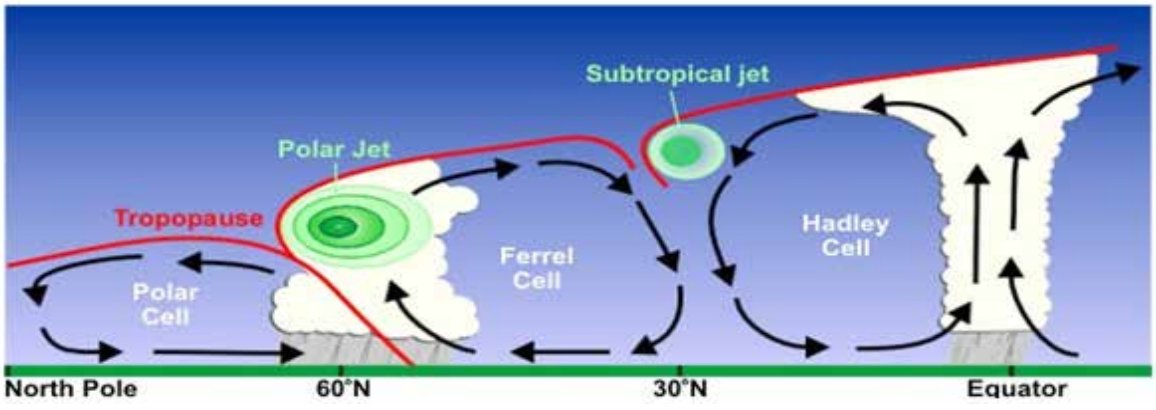
جدول (1). القدرة العالمية التراكمية والسنوية لطاقة الرياح.

الفترة الزمنية 2006 - 1995	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
القدرة التراكمية العالمية لطاقة الرياح / ميجاواط	4,800	6,100	7,600	10,200	13,600	17,400	23,900	31,100	39,431	47,620	59,091	74,223
القدرة السنوية العالمية لطاقة الرياح / ميجاواط	1,290	1,280	1,530	2,520	3,440	3,760	6,500	7,270	8,133	8,207	11,531	15,197

6. فكرة عامة حول تطور اكتشاف الدورة النمطية للغلاف الجوي

منذ القرن الثامن عشر تم الحصول على المزيد من المعلومات عن الرياح السطحية والرياح العليا، وعليه فقد أصبح معروفا في الوقت الحاضر أن الرياح التجارية تهب من مناطق الضغط العالي شبه المداري في نصفي الكرة إلى منطقة الضغط المنخفض عند خط الاستواء، وتلتقي الرياح الشمالية الشرقية الهابة من النصف الشمالي مع الرياح الجنوبية الشرقية الهابة من النصف الجنوبي عند أو قرب خط الاستواء وترتفع هذه الرياح إلى الأعلى نتيجة اصطدامها ونتيجة التسخين الشديد، عند وصولها إلى حدود التروبوبوز (الطبقة الانتقالية التي تفصل بين طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير) تنقسم إلى قسمين قسم يتجه شمالا والآخر يتجه جنوبا، حيث إن التروبوبوز يعمل مثل الدرع الذي يقوم بمنع الهواء الساخن المتصاعد من سطح الأرض من الاستمرار بالتصاعد، ونتيجة اختلاف السرعة بين الأرض والرياح العلوية تضطر هذه الرياح إلى الهبوط، أي أن أغلب الهواء الصاعد بمنطقة الحزام الاستوائي لا يقطع كل الرحلة حتى يصل إلى المنطقة القطبية، وعوضا عن ذلك فان جزءا كبيرا منه يهبط تجاه سطح

الأرض وذلك عند دائرة عرض 30 درجة ويتحرك هذا الهواء الذي هبط ثانية تجاه خط الاستواء على صورة رياح تجارية مكونا جزءًا من خلية كبيرة من خلايا الحمل، هذه الخلية المتكونة من الرياح السطحية والرياح العليا والتيارات الصاعدة فوق خط الاستواء والتيارات الهابطة فوق دائرتي عرض 30° شمالا وجنوبا تسمى خلية هادلي [15]، إضافة إلى خليتين أخريين هما خلية فيرل والخلية القطبية. الخلية القطبية مماثلة لخلية هادلي وهما تسميان بالخلايا المباشرة Direct Cells نظرا لأن حركة الهواء بهما تتوافق مع قوانين الطبيعة المباشرة من حيث ارتفاع الهواء الساخن إلى أعلى وهبوط الهواء البارد إلى أسفل. تقع الخلية القطبية في كل من نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي بمناطق العروض العليا والقطبية بين دائرتي عرض 60 و 90° وهي تشبه خلية هادلي لكنها تجري على مقياس أصغر. أما الخلية التي تقع بين خلية هادلي والخلية القطبية فتدعى خلية فيرل نسبة إلى مكتشفها عالم الأرصاد الجوية الامريكي ويليام فيرل، وهي تعتبر خلية غير مباشرة Indirect Cell نظرا لأن حركتها معاكسة للقوانين الطبيعية المباشرة، حيث إن الهواء الدافئ الأقل كثافة بها يهبط إلى أسفل بينما الهواء البارد الأعلى كثافة يرتفع إلى أعلى، كما أن الرياح التي تسببها بالقرب من سطح الأرض تسمى بالرياح الغربية (العكسية) وهي تتجه ناحية المناطق القطبية. مكونات هذه الخلية غير مستقرة من حيث الحجم واتجاه الرياح؛ حيث إن أنظمة الضغط فيها متحركة، والرياح بها متقلبة. ويظهر بين حدود هذه الخلية والخلية القطبية تيار هوائي سريع يسمى التيار القطبي النفاث؛ كما يظهر بينها وبين خلية هادلي التيار النفاث شبه المداري Subtropical Jet Stream [16]، الشكل 3 يعطي توضيحا مقطعيا لبنية الدورة العامة للهواء الجوي ويبين مواقع التيارات الهوائية النفاثة القطبية والشبه مدارية.

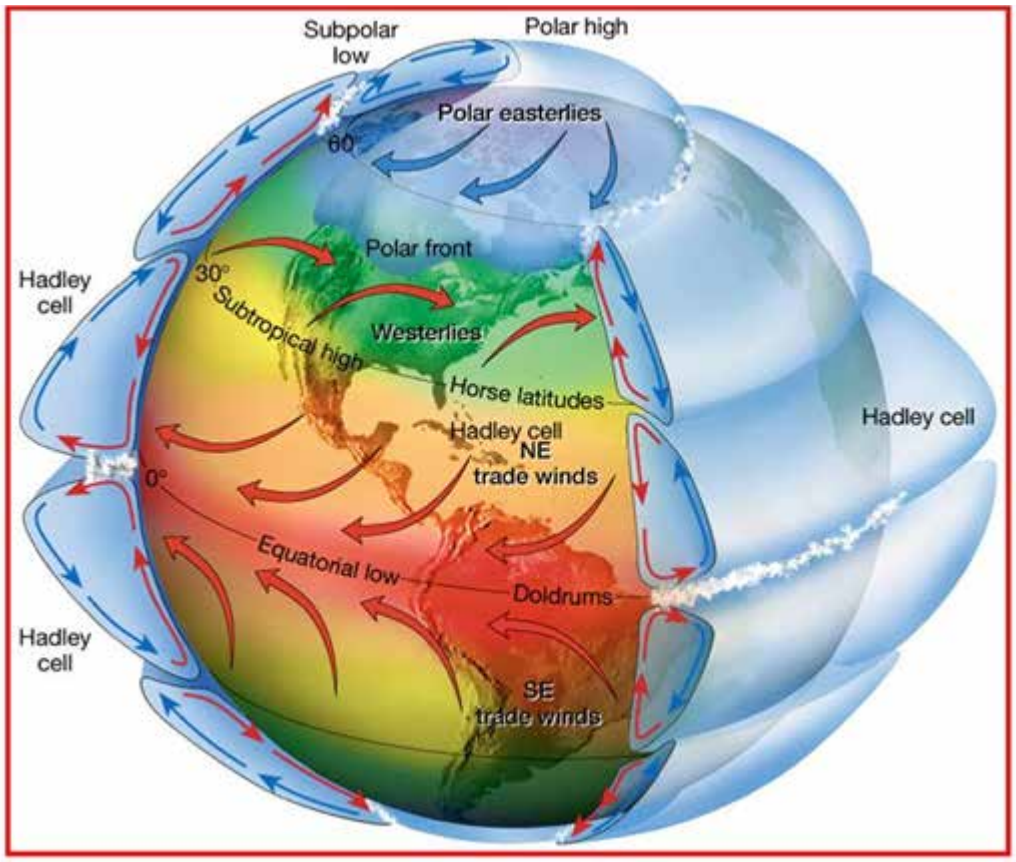


الشكل (3). مواقع التيارات الهوائية النفاثة بطبقات الجو العليا.

ولا تتوقف دراسة حركة الهواء في الغلاف الجوي على الدورة العامة للرياح السطحية، إذ ينبغي دراسة حركة الهواء في الطبقات العليا للغلاف الجوي، حيث تساهم هذه الدراسة في معرفة الخصائص العامة لحركة الهواء في طبقات الجو العليا وعلاقة ذلك بما يحدث له بالقرب من سطح الأرض. وقد أكدت الدراسات الحديثة وجود تيارات هوائية على ارتفاعات عالية بطبقة التروبوبوز (Tropopause) تتميز بشدة سرعتها، وتبعا لشدة سرعتها تعرف هذه الرياح باسم التيارات النفاثة (Jet Streams).

أول من اكتشف التيارات الهوائية النفاثة هو الياباني واشبورا اويشي Washbura Ooishi عام 1920 أثناء الحرب العالمية الثانية، وتم شرحه في باديء الأمر من قبل البحرية اليابانية. كما لاحظ رجال السلاح الجوي الأمريكي وجوده خلال الحرب العالمية الثانية أيضا اثناء طيرانهم فوق الجزر اليابانية على ارتفاع 30 الف قدم، وقدرت سرعة هذه التيارات حينئذ بنحو 200 – 300 ميل/ساعة، ووضعت نظريته من قبل مدرسة الأنواء الجوية في شيكاغو[17]. ويساعد في نشوء التيارات الهوائية النفاثة التباين الحراري الشديد بين أجواء العروض الدنيا والعروض الوسطى، حيث تتناقص درجة الحرارة بشدة باتجاه القطبين. ونتيجة لذلك يتشكل فوق هذه العروض في كل من نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي تيار هوائي على شكل نطاق ملتوٍ يتجه من الغرب إلى الشرق، يتحرك بسرعة هائلة تتراوح بين 160 – 240 كم/ساعة – تزيد أحيانا عن 420 كم/ساعة

أثناء فصل الشتاء، وتظهر نواة كل منهما (التيار الرئيسي) بين ارتفاع 10 – 15 كيلومترًا بين درجتي عرض 28° و 30 درجة شمالا وجنوبا. ويعرف كل من هذين التيارين بالتيار النفاث الغربي شبه المداري (Subtropical Westerly Jet Stream) ويمكن تشبيه هذين التيارين بنهر كبير من الهواء سريع الجريان بين ضفتين من الهواء الهادىء نسبيا، وتتكفل هذه التيارات النفاثة بمعظم عمليات نقل الطاقة إلى العروض العليا والقطبية [18، 19]، الشكل 5.



الشكل (4). الدوران العام للغلاف الجوي للأرض.

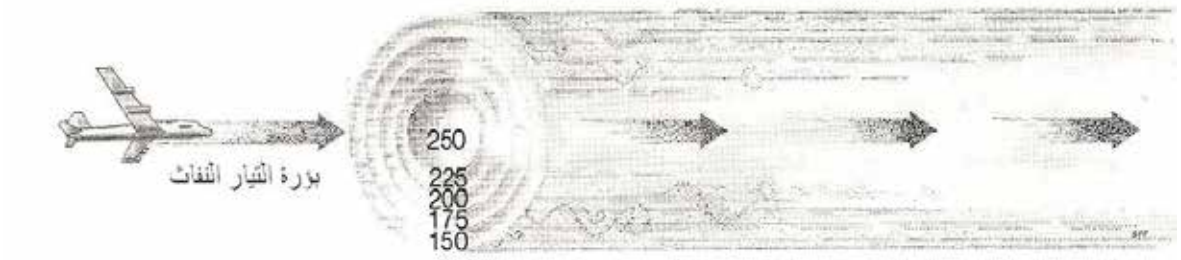
7. التيارات الهوائية النفاثة

هي عبارة عن حزام أو مجرى ضيق من الرياح السريعة التي توجد في أعلى طبقة التروبوسفير، أي عند مستوى التروبوبوز. والتيارات النفاثة هي عبارة عن حزام أو نطاق من الرياح الشديدة السرعة التي توجد بصورة رئيسية عند ارتفاع يتراوح بين 8 إلى 12 كيلومترًا فوق سطح الأرض، ويمكن تشبيه تلك التيارات بانهار من الرياح التي تتحرك بشكل عام من الغرب إلى الشرق، ويصل طولها إلى عدة آلاف من الكيلومترات ويتراوح عرضها بين 500 إلى 650 كيلومترا، ويزيد سمك التيار الواحد منها عن 1000 متر. وتكون سرعة الرياح فيه أعلى من 100 كم/ساعة، وأسرع الرياح توجد في نواته التي قد تصل إلى 500 كم/ساعة، ويكتسب التيار النفاث سرعته من الفروق الحرارية بين العروض الدنيا والعروض العليا فالتباين الحراري الشديد يخلق تباينا ضغطيا شديدا ما يستدعي هبوب رياح سريعة، ويكون التيار النفاث أقوى في فصل الشتاء حيث ترتفع الفروق الحرارية. وتصنف التيارات الهوائية النفاثة إلى ثلاثة أنواع هي:

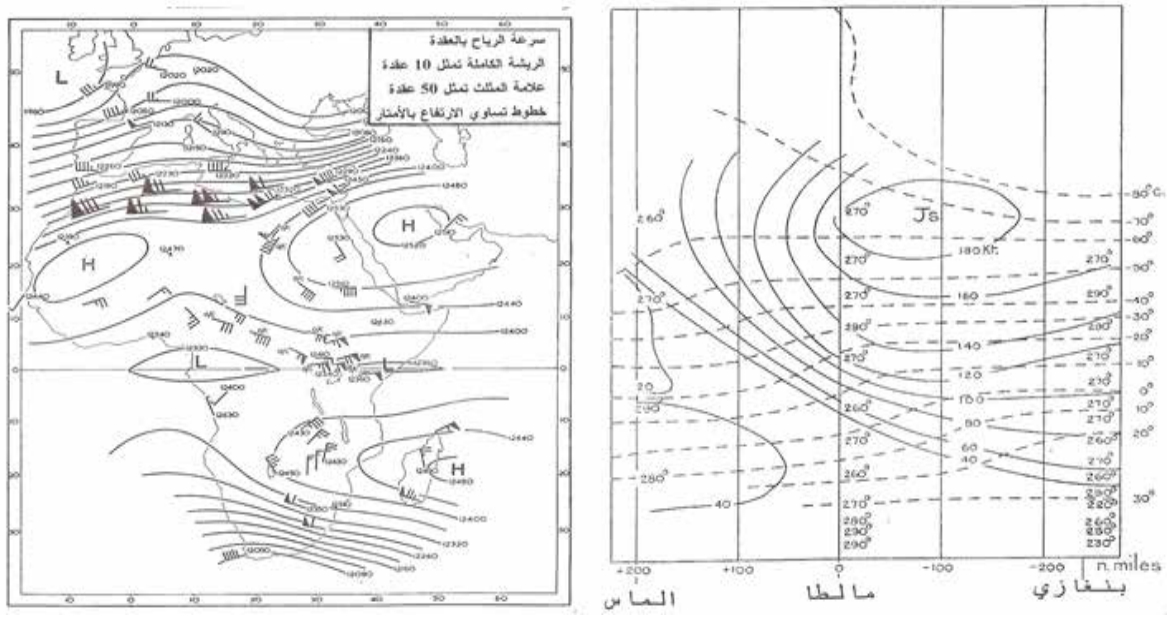
التيار النفاث شبه المداري: يتكون من الرياح الغربية السريعة، ويوجد على ارتفاع 12 كيلومترًا، ويقع على خط عرض 25 درجة ويتكون نتيجة التقاء الرياح العلوية من دورة هادلي مع الرياح العلوية من دورة فيرل ويبلغ معدل سرعته 250 كم/ساعة، ويتغير موقعه في فصل الشتاء والصيف وله تأثير كبير على الأحوال الجوية.

التيار النفاث القطبي: يعتبر من أكثر ظواهر الدورة الجوية العليا أهمية، وهو عبارة عن رياح غربية تتكون بمنطقة التقاء الرياح العلوية من دورة فيرل مع الرياح العلوية من الدورة القطبية. وتصل سرعته إلى 500 كم/ساعة، و يظهر في فصل الصيف عند خط عرض 55 درجة وفي الشتاء عند خط عرض 35 درجة.

التيار النفاث المداري: يتكون من الرياح الشرقية فوق منطقة الركود الاستوائي عند دائرة عرض 15 درجة في فصل الصيف بالنصف الشمالي للأرض، والتيار النفاث المداري ضعيف مقارنة بالتيارات النفاثة الأخرى حيث تصل أقصى سرعة له 180 كم/ساعة.



الشكل (5). مقطع توضيحي لمجرى التيار النفاث وتبلغ سرعة الرياح في بؤرة التيار 250 عقدة ثم تقل تدريجيا بالابتعاد عن قلب أو بؤرة التيار.



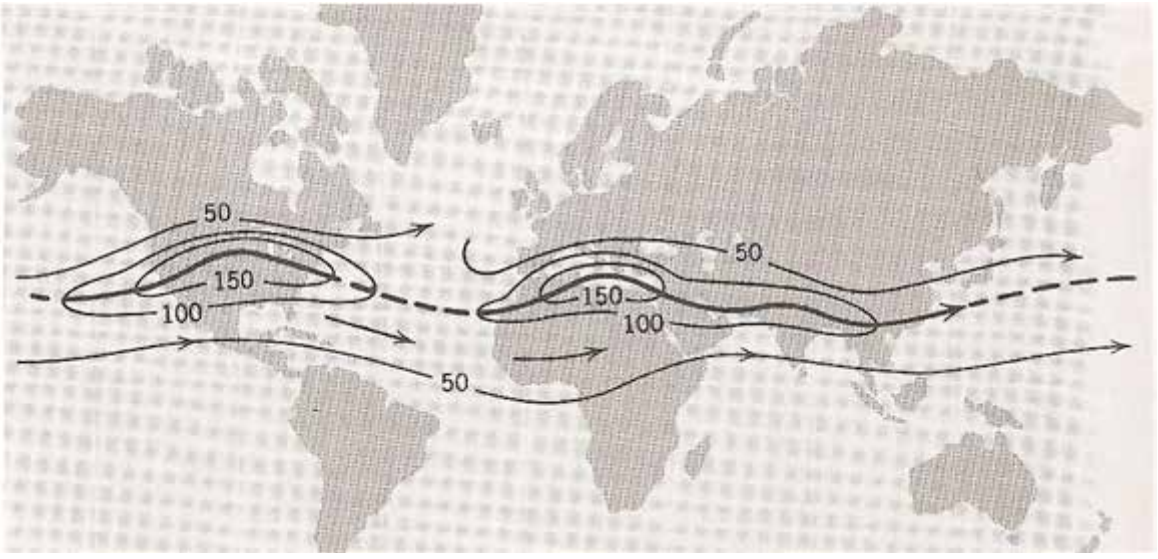
الشكل (6). مقطع رأسي [20]، ومقطع أفقي [21] للتيار النفاث الشبه استوائي.

8. السمات والخصائص السينوبتيكية للتيارات الهوائية النفاثة بالأجواء الليبية

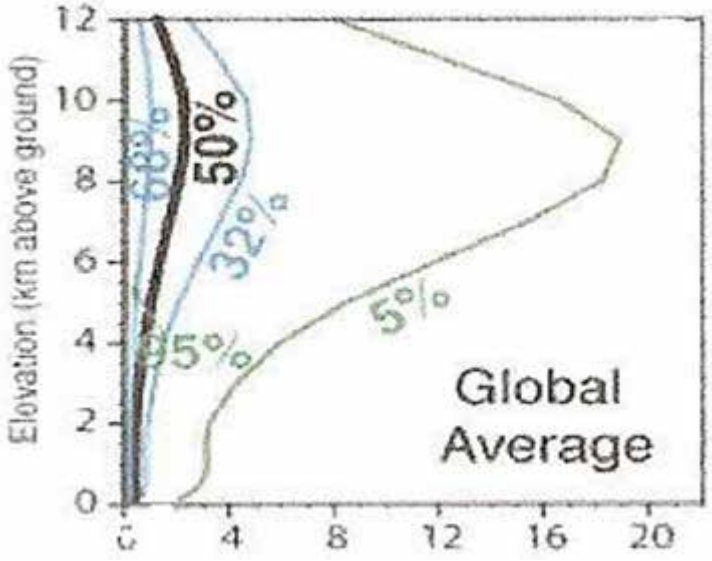
للوقوف على الخصائص السينوبتيكية للتيارات الهوائية النفاثة بالأجواء الليبية تم الاعتماد على متابعة الأوضاع الجوية التي تكررت فيها الحالات المؤثرة للتيارات الهوائية النفاثة وذلك على أساس اتباع أسلوب التحليل السينوبتيكي الذي يمر عبر تنفيذ سلسلة من الخطوات على النحو التالي:

رصد البيانات: تقوم محطات الأرصاد الجوية الخاصة بالأجواء العليا باستخدام جهاز الراونسوند Rawinsoundes الذي يصعد إلى أعلى بواسطة بالون

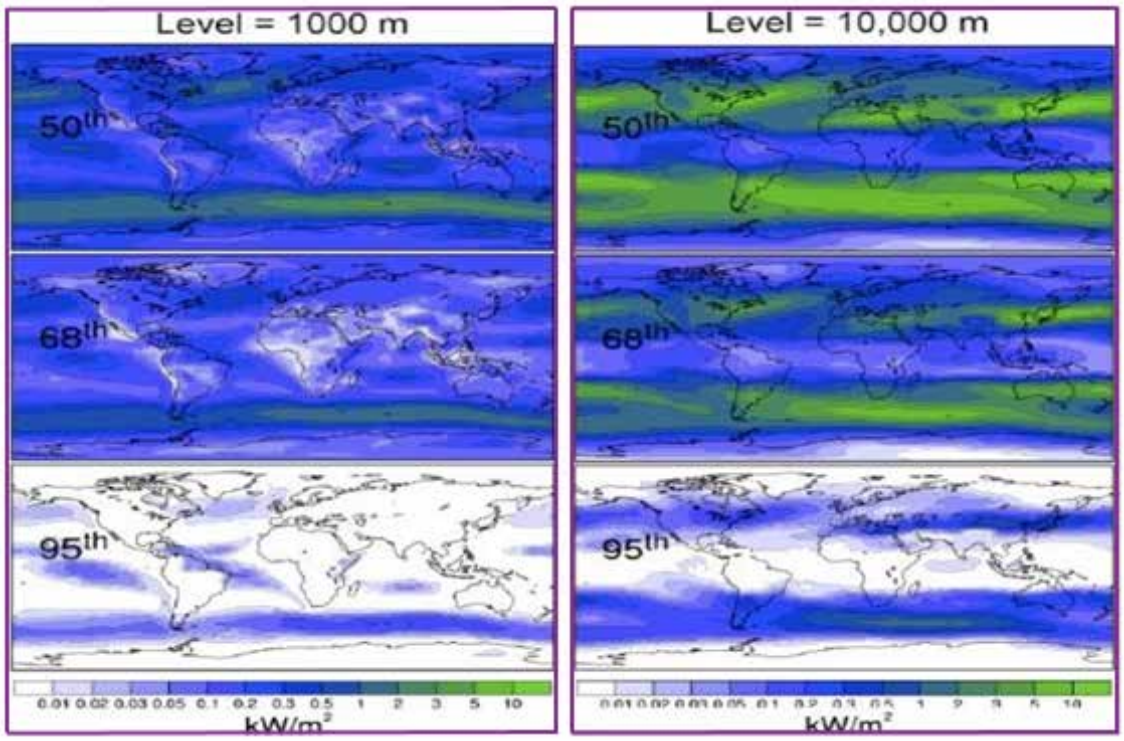
كبير معبأ بغاز الهيدروجين، وهو عبارة عن جهاز إلكتروني صغير يستخدم لرصد خصائص المقطع الرأسي للغلاف الجوي وهو مزود بمجسات خاصة لاستشعار ورصد سرعة واتجاه الرياح النفاثة وارتفاعها عن سطح الأرض إضافة إلى بعض العناصر الأخرى كدرجة الحرارة والرطوبة. يطلق هذا الجهاز من محطات الأجواء العليا مرتين في اليوم واحدة عند الساعة 0000 توقيت عالمي والثانية عند الساعة 1200 توقيت عالمي، يحتوي الجهاز على وحدة إرسال راديوية تمكنه أثناء مروره بطبقات الجو العليا من إرسال الإشارات التي تم رصدها إلى الأرض، وتتولى أجهزة استقبال خاصة استلام الإشارات المرسلة وتحويلها إلى معلومات مقروءة، يستطيع الجهاز الوصول إلى ارتفاع يتراوح بين 27 و 42 كيلومترًا.



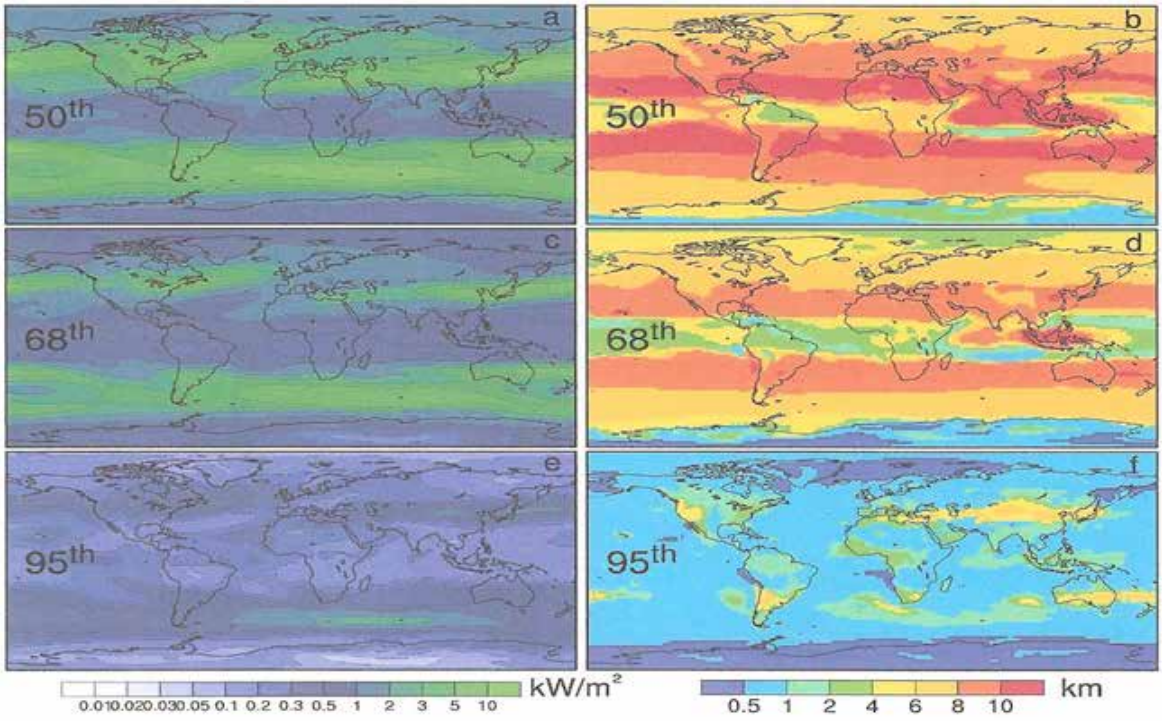
الشكل (7). حزام التيارات الهوائية النفاثة على المناطق الشبه استوائية بشكل عام وعلى مناطق شمال ووسط ليبيا بشكل خاص، الخطوط المتصلة تمثل سرعة الرياح بالعقدة [22].



الشكل (8). المتوسط العالمي لكثافة طاقة الرياح (كيلوواط/ متر مربع) كدالة في الارتفاع التي تجاوزت 50 %، 68 %، 95 % من زمن فترة الدراسة 1979-2006 [23].



الشكل (9). كثافة طاقة الرياح (كيلووات/ متر مربع) التي تجاوزت 50 %، 68 %، 95 % من زمن فترة الدراسة 1979-2006 على الإرتفاعين 1000 متر و 10000 متر [23]، [24].

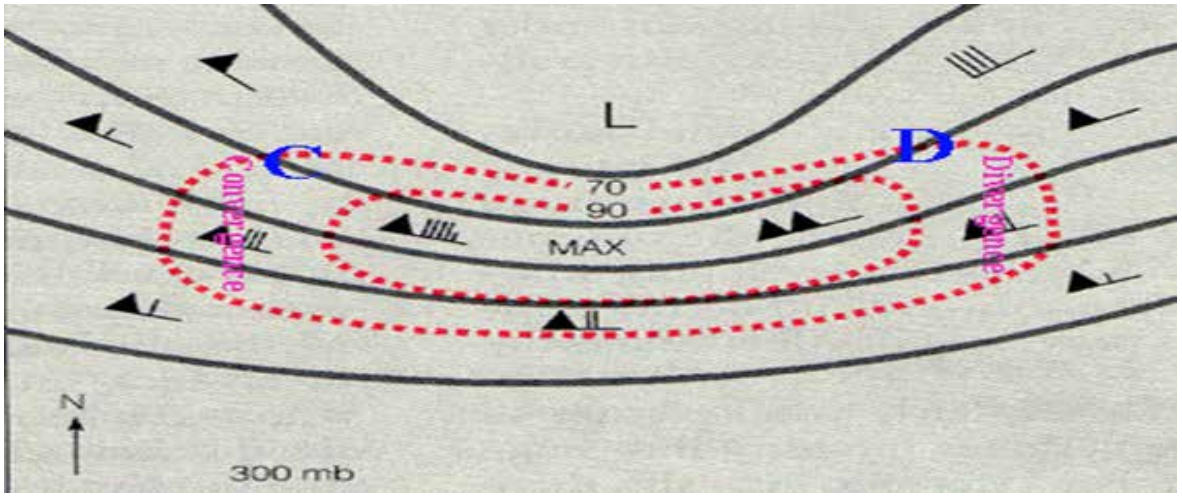


الشكل (10). الكثافة المثالية لطاقة الرياح (كيلوواط/ متر مربع)، الارتفاع المثالي (كلم)، التي تجاوزت 50 %، 68 %، 95 % من زمن فترة الدراسة-1979 2006، [24].

تجميع البيانات: تتجمع الرصدات التي تم إجراؤها على المستوى الوطني بالمقر الرئيسي للمركز الوطني للأرصاد الجوية الذي يقوم بدوره بإبراقها إلى المراكز الإقليمية الدولية التي تعمل كحلقة وصل بين المراكز الوطنية لكافة البلدان الأعضاء بالمنظمة العالمية للأرصاد الجوية، تعمل المراكز الإقليمية على ضخ المعلومات إلى المراكز العالمية التي بدورها تقوم بإرسال كل البيانات التي تجمعت بها إلى المراكز الوطنية، وقد قامت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية بتوحيد أوقات جمع المعلومات وفق التوقيت العالمي الموحد. إن طريقة إرسال هذا الكم الهائل من المعلومات تتم بطريقة سهلة وسلسة، حيث تم وضع لغة عالمية مشفرة تستخدم أرقاما ورموزا متفق عليها.

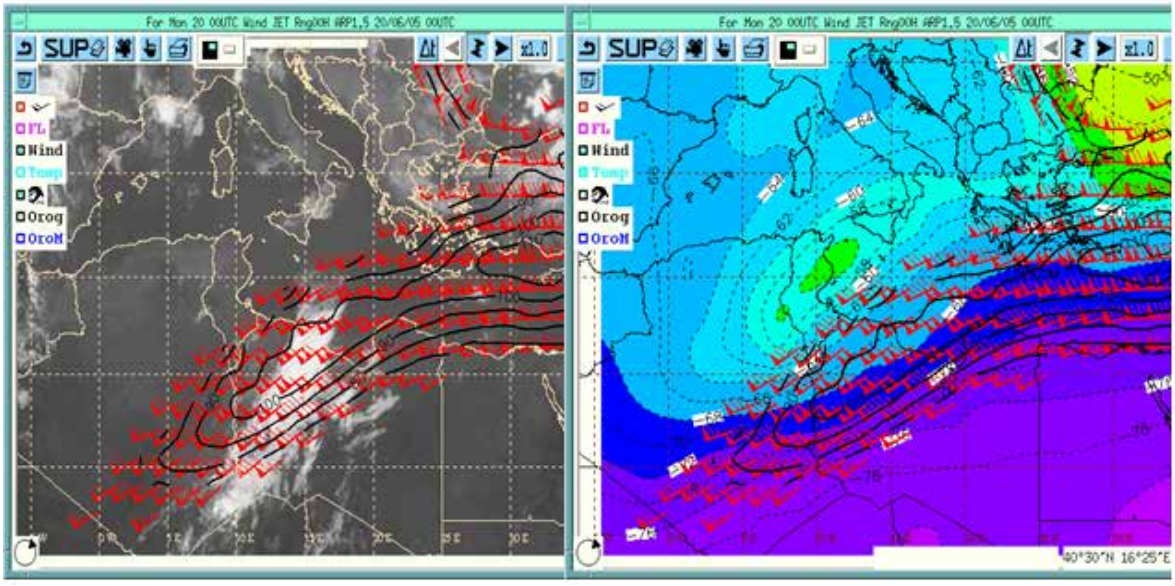
توقيع البيانات: بعد تجميع المعلومات والبيانات تأتي خطوة الاستفادة منها، وذلك يبدأ من خلال تنظيمها وتوقيعها على خرائط، وهذه الخرائط تغطي أصنافا مختلفة من المعلومات الرصدية فبعضها يعالج مستويات الضغط الجوي بقيم مختلفة، والآخر يتعلق بدرجات الحرارة، وسرعة واتجاه الرياح موضوع الدراسة، وتحتوي هذه الخرائط على آلاف النقاط تمثل كل منها موقع محطة رصد، تسمى هذه الخرائط عادة باسم الخرائط (السينوبتكية) وهذه الكلمة تعني الخرائط التي يتم رسمها في وقت واحد، وتشمل المنطقة التي تغطيها هذه الخريطة معظم الدول الأوروبية وإفريقيا وغرب آسيا، أي من عند خط طول 5 غربا إلى خط طول 35 شرقا ومن خط عرض 15 شمالا إلى خط عرض 50 شمالا.

تحليل البيانات: فور الانتهاء من عملية التوقيع تخضع تلك الخرائط إلى التحليل حتى تسمح بالحصول على إيضاح بياني لمجال سرعة الرياح النفاثة بوحدة العقدة واتجاهها بالدرجة، ويعرف هذا بتحليل خطوط تساوي السرعة بوحدة العقدة. وتتكون خريطة متساويات السرعة من خطوط تصل النقاط ذات السرعات المتساوية للرياح. يعرف خط تساوي السرعة (بمتساوي السرعة Isotach)، وهي تبدأ عادة برسم الخط الذي يمثل 60 عقدة تليه الخطوط 70 و80 و90 عقدة وهكذا إلى غاية أعلى سرعة تم رصدها، الشكل 11 يعطي فكرة عن كيفية رسم خطوط تساوي سرعة الرياح.



الشكل (11). نموذج يبين كيفية توصيل خطوط تساوي سرعة الرياح.

تصنيف وترتيب البيانات موضوع الدراسة: تم الاعتماد على استخدام منظومة سينرجي SYNERGIE كمصدر للبيانات والمعلومات والتحليل، وهي منظومة تستخدم لتحليل وتنسيق وعرض الخرائط الخاصة بالأرصاد الجوية حيث تمكن المركز الوطني للأرصاد الجوية بليبيا من اقتناء هذه المنظومة منذ سنة 2000 ميلادية، وتم القيام بتصنيف الخرائط الدالة على سرعة واتجاه الرياح النفاثة والارتفاعات التي وجدت عليها لفترة 60 شهرا متتاليا، إبتداءا من (01 يناير 2003)، حتى (31 ديسمبر 2007)، الشكلان 12 أ، 12 ب، يبينان نموذجا لتلك الخرائط، ويمكن من خلال هذا الشكل التعرف على حزام الرياح النفاثة الذي ظهر في الأجواء الليبية خلال يوم 20 يونيو 2005 ميلادية.



الشكل (12 أ)　　الشكل (12 ب)

الشكل (12 أ). خريطة سينوبتيكية تظهر حزام الرياح النفاثة ومناطق التبريد والتسخين الهوائي المرافقة لها.

الشكل (12 ب). صورة القمر الصناعي لخلايا السحب المترافقة مع حزام الرياح النفاثة.

ومن خلال تحليل ومتابعة تلك الخرائط [25]، تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

1. يتكرر ظهور التيارات النفاثة الشبه مدارية بالأجواء الليبية أغلب أيام السنة خاصة خلال الفترة من بداية شهر نوفمبر حتى أواخر شهر يونيو، حيث يبلغ متوسط سرعة التيارات النفاثة 120 عقدة، ويكون الاتجاه السائد لها هو الاتجاه الغربي، ويصل متوسط مستوى الارتفاع الذي تظهر عنده إلى 12000 متر.
2. تنخفض قوة التيارات النفاثة قليلا خلال الفترة الممتدة من بداية شهر يوليو حتى أواخر شهر أكتوبر، حيث تبلغ قيمة متوسط سرعة الرياح 70 عقدة، ويكون اتجاهها السائد جنوبي غربي، وتظهر عند ارتفاعات تصل إلى 12500 متر.
3. تمتد المساحة الأفقية التي يغطيها التيار النفاث من شمال الشريط الساحلي حتى الأطراف الجنوبية الغربية للبلاد، ولا يظهر التيار النفاث على أقصى الجزء الجنوبي الشرقي من الأراضي الليبية إلا نادرا.

جدول (2). السمات والخصائص السينوبتيكية للتيارات الهوائية النفاثة بالأجواء الليبية.

خصائص الفترة التي تشتد فيها قوة التيار النفاث		خصائص الفترة التي تنخفض فيها قوة التيار النفاث	
الفترة الزمنية	من بداية نوفمبر حتى أواخر يونيو	الفترة الزمنية	من بداية يوليو حتى أواخر أكتوبر
متوسط السرعة	120 عقدة	متوسط السرعة	70 عقدة
الاتجاه السائد	غربي	الاتجاه السائد	جنوبي غربي
متوسط الارتفاع	12000 متر فوق مستوى سطح البحر	متوسط الارتفاع	12500 متر فوق مستوى سطح البحر
المساحة الأفقية	من شمال الشريط الساحلي إلى الأطراف الجنوبية الغربية	المساحة الأفقية	من شمال الشريط الساحلي إلى الأطراف الجنوبية لمناطق الوسط

ولزيادة التوضيح تم إضافة جزء آخر من البيانات والمعلومات الخاصة بالتيارات الهوائية النفاثة (الرياح النفاثة) التي تم رصدها بواسطة محطة طرابلس لأرصاد الأجواء العليا [25]، وذلك للتعرف بوضوح على الاتجاهات السائدة للتيارت النفاثة (Jet Streams) عند المستوى الضغطي 300 هيكتوبسكال (30,000 قدم ~ 9,200 متر فرق مستوى سطح البحر)، تمثلت عينة البيانات التي تم تحليلها في الرصدات اليومية للأجواء العليا التي قامت المحطة بتسجيلها عند الساعة 12:00 توقيت عالمي خلال الفترة الزمنية (من بداية شهر مارس 1987 حتى نهاية شهر فبراير 1989)، وقع الاختيار على هذه العينة من البيانات للأسباب الآتية :

- إن عملية رصد وتسجيل البيانات تم إجراؤها وفق اتباع قواعد ولوائح رصد العناصر الجوية الصادرة عن المنظمة العالمية للأرصاد الجوية.
- إن أجهزة القياس بمحطة الرصد خضعت خلال تلك الفترة وبصورة دورية للمعايرة والصيانة، إضافة إلى خضوع البيانات المسجلة للمراجعة والتنقيح ومراقبة الجودة بواسطة الوحدات والأقسام المختصة بالمركز الوطني للأرصاد الجوية.
- توفر سجل الرصد بشكل متكامل وخلوه من التقطع وعدم وجود أي فاقد طوال فترة الرصد.
- الجدول 3 يبين بعض المعلومات الأساسية عن محطة الرصد.

جدول (3). المعلومات الأساسية لمحطة الرصد

اسم المحطة	الرقم الدولي	الإحداثيات الجغرافية		ارتفاع المحطة فوق مستوى سطح البحر (متر)
		خط العرض	خط الطول	
طرابلس	62010	32:40 شمالا	13:09 شرقا	82

تم القيام بتحليل هذه البيانات عبر تنفيذ سلسلة من الخطوات لمعالجة البيانات اليومية لسرعة واتجاه التيارات الهوائية النفاثة (الرياح النفاثة) وتحويلها إلى صورة بيانات سنوية وفصلية حيث تم تصنيفها وترتيبها وفق النسق الآتي:

- الفترة السنوية (من بداية شهر مارس 1987 حتى نهاية شهر فبراير 1989).
- فصل الربيع لسنة 1987 (من بداية شهر مارس حتى نهاية شهر مايو 1987).
- فصل الصيف لسنة 1987 (من بداية شهر يونيو حتى نهاية شهر أغسطس 1987).
- فصل الخريف لسنة 1987 (من بداية شهر سبتمبر حتى نهاية شهر نوفمبر 1987).
- فصل الشتاء لسنة 1988/87 (من بداية شهر ديسمبر 87 حتى نهاية شهر فبراير 1988).
- فصل الربيع لسنة 1988 (من بداية شهر مارس حتى نهاية شهر مايو 1988).
- فصل الصيف لسنة 1988 (من بداية شهر يونيو حتى نهاية شهر أغسطس 1988).
- فصل الخريف لسنة 1988 (من بداية شهر سبتمبر حتى نهاية شهر نوفمبر 1988).
- فصل الشتاء لسنة 1989/88 (من بداية شهر ديسمبر 88 حتى نهاية شهر فبراير 1989).

وباستخدام برنامج (CLISYS–Climatological Data Management System)، تم الحصول على وردة الرياح للفترة السنوية وللفترات الفصلية كلاً على حدة، كما هو مبين بالشكل 13، وبالتالي تم التوصل إلى نتيجة هامة جدا تمثلت في التعرف على الاتجاهات السائدة للتيارات الهوائية النفاثة، ويبدو بكل وضوح أن تلك الاتجاهات تتسم بالثبات والاستقرار خلال كافة فصول السنة وهي تهب من خلال القطاع المحصور بين (200 درجة و 337 درجة)، وبناء على ذلك فإن الاتجاه الأساسي السائد هو الاتجاه الغربي، وهو متماثل تماما مع الاتجاه السائد الذي قمنا باستخلاصه من خلال الخرائط السينوبتيكية، أي أن الاتجاه السائد للتيارات النفاثة في الأجواء الليبية غربي بشكل عام، وهو محصور بين الاتجاهين الشمالي الغربي والجنوبي الغربي وهذه الخاصية

تعتبر هامة ومشجعة جدا في حال استخدام التوربينات الريحية المعلقة. الجدول 4 يبين النسب المئوية لتكرار اتجاه التيارات الهوائية النفاثة خلال الفترة من بداية شهر مارس 1987 حتى نهاية شهر فبراير 1989.

جدول (4). التكرار الفصلي والسنوي لاتجاهات التيارات الهوائية النفاثة عند ارتفاع 9200 متر فوق مستوى سطح البحر خلال الفترة (من بداية شهر مارس 1987 حتى نهاية شهر فبراير 1989).

اتجاه تدفق التيارات الهوائية النفاثة	النسبة المئوية لتكرار اتجاه التيارات الهوائية النفاثة خلال فترات الرصد								
	ربيع 1987	صيف 1987	خريف 1987	شتاء 87/1988	ربيع 1988	صيف 1988	خريف 1988	شتاء 88/1989	الفترة الكلية 1/3/87-28/2/89
337.5-022.5	4.7	-	-	2.9	4.2	-	-	-	1.5
022.5-045.0	-	-	-	-	-	-	-	3.3	0.4
045.0-077.5	-	-	-	5.9	-	-	-	6.7	1.6
202.5-225.0	-	-	-	2.9	8.3	-	-	3.3	1.8
225.0-247.5	9.5	33.3	16.7	14.7	4.2	16.6	23.6	26.7	18.2
247.5-270.0	16.7	33.4	33.3	29.5	29.2	16.7	17.6	30.0	25.8
270.0-292.5	40.5	33.3	33.3	23.6	37.5	50.0	35.3	26.7	35.0
292.5-315.0	16.7	-	-	17.6	8.3	16.7	23.5	3.3	10.7
315.0-337.5	11.9	-	16.7	2.9	8.3	-	-	-	5.0
المجموع (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	% 100

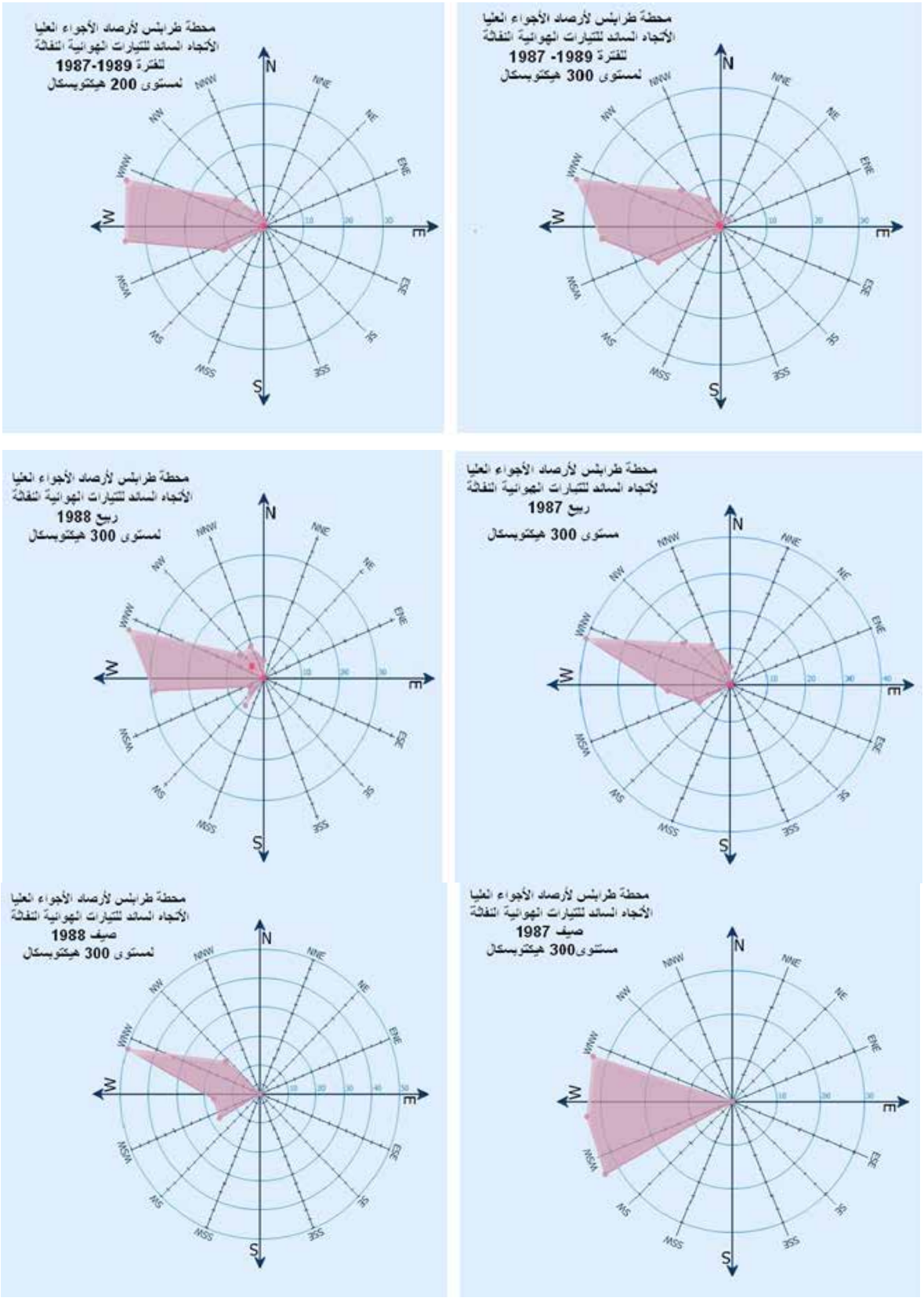
تجدر الملاحظة أن الجدول 4 يحتوي على القطاعات أو الشعاعات الدالة على الاتجاهات الحقيقية لحركة الرياح النفاثة خلال فترة الدراسة، ولتبسيط الجدول والاختصار في مساحته فقد تم حذف القطاعات الأخرى التي لم تكن هناك أية رياح تحركت من خلالها، والنسب المئوية هي عبارة عن تكرار اتجاهات الرياح التي لم تقل سرعتها عن 60 عقدة كحد أدنى وهي السرعة التي عندما تبلغها الرياح يتم تسميتها بالرياح النفاثة، أي أن الجدول يتضمن الرياح النفاثة التي تأثرت بها المنطقة والتي بلغت سرعتها 60 عقدة أو أعلى من ذلك.

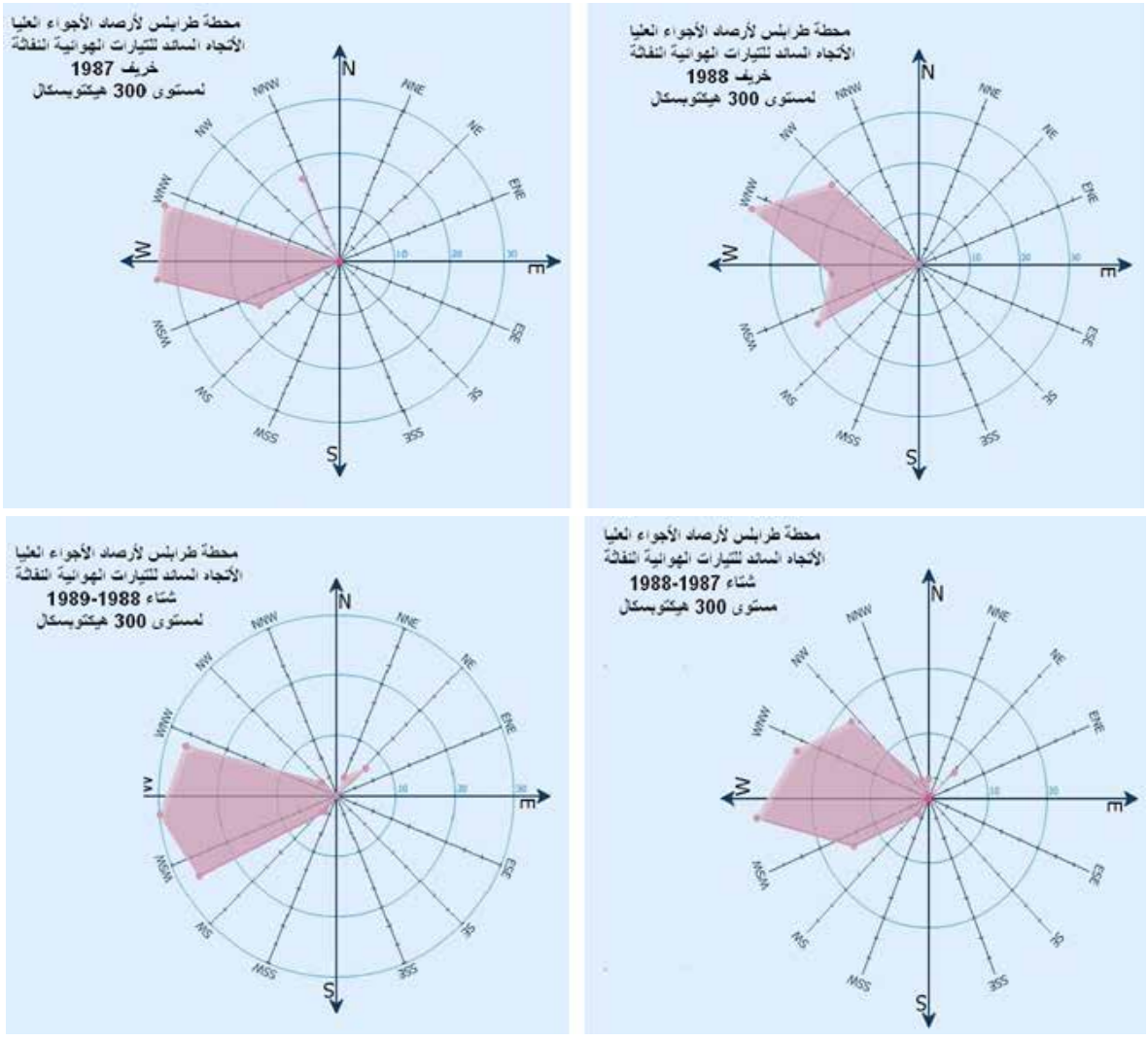
يقدر متوسط كثافة القدرة الذي يمكن توفيره بواسطة التوربينات الريحية المعلقة على مناطق شمال ووسط ليبيا بنحو 4 كيلوواط لكل متر مربع على ارتفاع يبدأ من 15000 قدم (4600 متر) فوق مستوى سطح البحر، ويزداد هذا المتوسط تدريجيا بازدياد الارتفاع حتى يصل أعلى قيمة له والتي تبلغ نحو 19 كيلوواط لكل متر مربع عند ارتفاع 12,000 متر وذلك داخل النطاق الجوي المحيط بدائرة عرض 30 درجة شمالا، عرض هذا النطاق 1,000 كيلو متر تقريبا [3، 11، 6]. وبالتالي فإن المناطق الليبية الواقعة داخل هذا النطاق تعتبر مناطق مرشحة كمجال حقلي مؤهل لاحتضان مزارع التوربينات الريحية المعلقة، ونعني بذلك أن مصدر طاقة التيارات الهوائية النفاثة متوفر ومتاح.

9. هل بإمكان ليبيا الاستفادة من طاقة التيارات الهوائية النفاثة؟

إن ما تستهلكه البشرية من الوقود الأحفوري في عام واحد هو نتاج أمضت الطبيعة في صنعه مليون عام تقريبا [27]، لهذا رأينا في هذا الجزء أن نستعرض بعض المؤشرات والدلائل التي تبين إمكانية استفادة ليبيا من طاقة التيارات الهوائية

النفاثة شبه المدارية والتعويل عليها مستقبلا كرافد أساسي للاقتصاد الوطني الذي يعتمد على طاقة الوقود الأحفوري، ومن أهم تلك المؤشرات المشجعة الآتي:

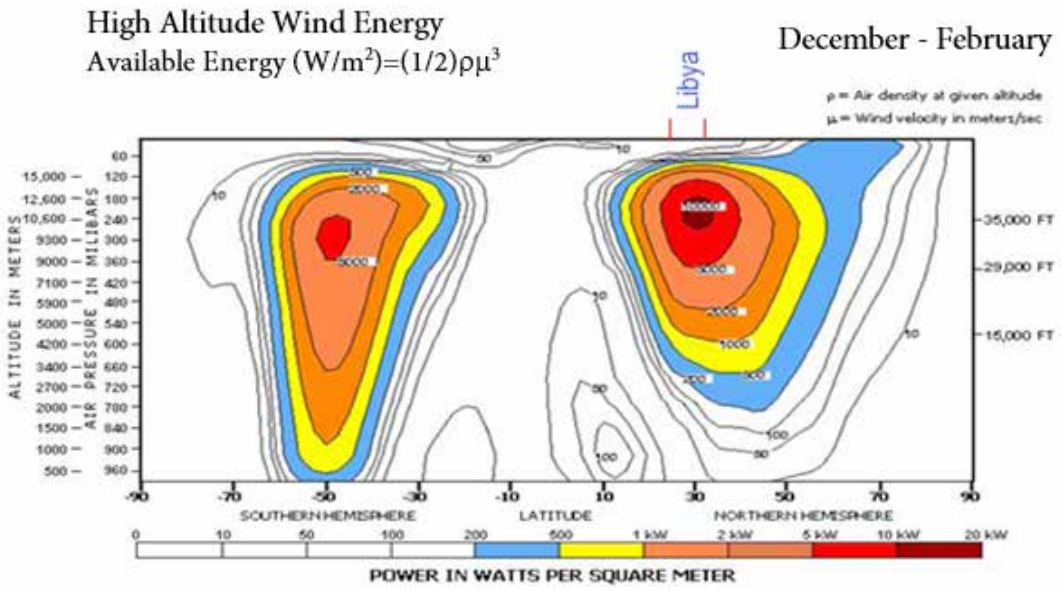




الشكل (13). اتجاهات التيارات الهوائية النفاثة السنوية والفصلية عند ارتفاع 9200 متر فوق مستوى سطح البحر خلال الفترة (من بداية شهر مارس 1987 حتى نهاية شهر فبراير 1989)، محطة طرابلس لأرصاد الأجواء العليا.

- وقوع السماء الليبية تحت تأثيراتها في أغلب الأوقات، حيث إن أهم المناطق التي توجد فيها التيارات النفاثة هي المنطقة الواقعة بين درجتي عرض 28 – 35 درجة شمالا.
- تمتاز الرياح في طبقات الجو العليا بالرتابة وثبات الاتجاه بشكل عام أي أن لهذه التيارات الهوائية النفاثة مسالك واتجاهات تكاد تكون شبه ثابتة، وهي تحدث بصورة مستمرة طوال أيام السنة، فقد أوضح الأستاذ تريوارثا بأنه لا يوجد أي تغير فصلي في مسالك أو اتجاهات الدورة العامة للتيارات النفاثة العلوية، اذ تبين أن نظام مسالكها يكاد يكون ثابتا طول أيام السنة على الرغم من تزحزح نطاقها شمالا وجنوبا مع الحركة الظاهرية للشمس [28]، وهذا ما تم التأكد منه بواسطة هذه الورقة وذلك من خلال تحديد الاتجاه السنوي والاتجاهات الفصلية للرياح النفاثة التي تم الحصول عليها بعد تجميع ومعالجة وتحليل البيانات اليومية التي سجلتها محطة طرابلس لأرصاد الأجواء العليا والمتمثلة في سرعة واتجاه التيارات الهوائية النفاثة.
- تتزحزح مواقع التيارات الهوائية النفاثة شبه المدارية نحو الجنوب في الشتاء ونحو الشمال في فصل الصيف، كما ان التيارات النفاثة شبه المدارية أقوى في الشتاء

منها في الصيف ولعل ذلك يرتبط بمدى الفرق في درجة الحرارة بين المناطق المدارية والقطبية، والذي يزيد عنه في الصيف، وتعمل هذه الخاصية على منح مناطق شمال ووسط ليبيا فرصة جيدة للاستثمار في الطاقات المتجددة حيث إنه في الصيف بالإمكان الاستفادة من الطاقة الشمسية، وعندما يحل الشتاء وتغشى السحب سماء المنطقة يكون هناك بديل جيد عن طريق الاستفادة من طاقة التيارات النفاثة.



الشكل (14). كثافة الطاقة كدالة في الارتفاع ودوائر خطوط العرض [26].

- تزداد سرعة الرياح بالارتفاع وذلك بسبب تناقص معامل خشونة سطح الأرض، وتستمر في الزيادة حتى ارتفاع أربعة كيلومترات تقريبا حيث يتلاشى نهائيا أي تأثير لعامل الاحتكاك، ولهذا يمكن اعتبار مستوى أربعة إلى خمسة كيلومترات كارتفاع مناسب للتوربينات الريحية المعلقة، أي أن الجزء السفلي من التيار النفاث يبدأ عند هذا المستوى وهو المستوى الذي تتوفر به السرعة الآمنة للتوربينه، حيث إن بؤرة التيار النفاث التي توجد عند ارتفاع 12 كم تعتبر منطقة يجب تفاديها من أجل سلامة المعدات التي قد تتعرض للتلف بسبب السرعة الشديدة للرياح.
- نظرا لاتساع رقعة مساحة ليبيا الجغرافية فإن ذلك يزيد من توفر فرصة الحصول على الحقول المناسبة لإقامة مشاريع التوربينات الريحية المعلقة وذلك باختيار مواقع مناسبة بضواحي المدن والقرى الشمالية والوسطى.

10. التوصيـــــات

يغذي مورد النفط ميزانية ليبيا بقسط كبير جدا ويساهم في بناء الاحتياط النقدي ايضا، وتكتسب أسعاره المجزية الدور المتميز في الاقتصاد الوطني، وبه تزداد فرص نمو هذا الاقتصاد لتحسين معيشة المجتمع، إلا أن النفط يعتبر ثروة ناضبة، وبالنظر للحاجة الماسة إلى بذل المساعي والمبادرات الجادة لتحويل الوعي بهذه الحقيقة إلى خطط وسياسات وأعمال وبحوث علمية في ميدان البدائل الاقتصادية اعتمادا على الطاقات المتجددة، فإننا نوصي بالعمل على تنفيذ مشروع وطني تجريبي (R and D National Proto-Type Project)، خلال فترة زمنية تمتد لخمس سنوات، يهدف هذا المشروع بشكل محدد إلى تطبيق تقنيات التوربينات الريحية المعلقة لغرض توليد الطاقة الكهربية من التيارات الهوائية النفاثة المتوفرة بالأجواء الليبية، وتتألف البنية المقترحة لهذا المشروع من المكونات الأساسية الآتية:

- عدد أربع توربينات ريحية معلقة، (مولدات كهربية محمولة جوا).
- أسلاك ألومنيوم موصلة للكهرباء تستخدم لربط التوربينات وفي نفس الوقت تستخدم لنقل الطاقة

الكهربية من التوربينات إلى المحطة الأرضية ومن ثم إلى شبكة التوزيع.

- محولات لتوصيل المولدات الكهربية المحمولة جوا بشبكة الكهرباء الأرضية.
- أكشاك للمراقبة والصيانة، وملحقات التشغيل والتجهيز.
- حقل تجريبي دائري يبلغ قطره نحو 10 كيلومترات لتوفير حيز كافٍ لإبقاء الأجهزة متباعدة عن بعضها مسافة كيلومتر وهو هامش هبوط آمن في حالة الطوارىء.
- نظام خاص لحفظ وأرشفة البيانات والمعلومات الخاصة بالمشروع.
- فريق عمل تنفيذي يضم عددًا من الخبراء والمهندسين والفنيين.
- هيئة إشرافية.

يطمح هذا المشروع إلى تحقيق رزمة من الأهداف المحددة تتلخص في الآتي:

- تسجيل الرصدات المعلوماتية طوال فترة التجربة بخطوة زمنية قدرها ساعة واحدة.
- تجميع ومعالجة وتحليل البيانات المرصودة.
- تحديد القيمة الحدية المحلية للعوامل البيئية التي تتلاءم مع النموذج المثالي.
- تحديد المواصفات الفنية للنموذج الاقتصادي.
- تقدير مؤشرات الانعكاسات الاقتصادية والبيئية.
- التحقق من مزايا وعيوب التقنية.
- التحقق من كفاءة التشغيل والسلامة والأداء.
- التحقق من متطلبات التشييد والصيانة اللازمة لتنفيذ مشروع استثماري كبير مستقبلا.
- التحقق من قدرة الأيادي والخبرات الوطنية على التعامل مع التقنية.
- التحقق من المنافع الاقتصادية والبيئية للتقنية.
- تحديد الفوائد والعوائد المحتملة على الصعيدين المحلي والدولي.
- استنباط توصيات خاصة موجهة لاتخاذ قرار بشأن تحديد مدى التوسع في استخدام واقتناء التقنية للانتقال من طور التجريب إلى طور الاستثمار.

11- النتائج المتوقعة للمشروع

في حالة نجاح المشروع والتمكن من تنفيذه بطريقة مثلى ومتقنة فإننا نتوقع منه تحقيق عدد من الفوائد والتي من بينها الآتي:

- تخفيف الحمل عن الشبكة الوطنية للكهرباء وتخفيف الضرر اللاحق بالبيئة من جراء استخدام محطات توليد الطاقة الكهربية التي تعمل بالوقود الأحفوري.
- تخفيض معدلات استهلاك الطاقة التقليدية والمحافظة عليها كاحتياطي استراتيجي للأجيال القادمة.
- توفير آلاف الوظائف الجديدة والمتنوعة.
- رفد الاقتصاد الوطني ومساعدته على الخروج من الركود إلى عصر جديد من النمو.
- المساهمة في تنمية الأماكن النائية ورفع المستوى المعيشي لساكنيها.
- تبؤ المنزلة المستقبلية المرموقة في السوق العالمية للطاقة المتجددة.

12- الخلاصـــــــة

تعتبر التيارات الهوائية النفاثة بمثابة خزان ضخم للطاقة، وهي متوفرة ومتاحة بالأجواء الليبية، ويقدر متوسط كثافة القدرة الذي يمكن توفيره منها بمناطق شمال ووسط ليبيا بنحو 4 إلى 19 كيلوواط لكل متر مربع ويتوقف ذلك على الارتفاع الذي يتراوح بين 4,000 إلى 12,000 متر فوق مستوى سطح البحر، وبالتالي يجب النظر إليها كمورد طبيعي استثماري يمكن أن يحقق مكاسب هامة لأجيال المستقبل، كما يجب النظر إلى تقنيات التوربينات الريحية المعلقة نظرة جادة واعتبارها أداة حقيقية بالإمكان الاعتماد عليها لإنزال الطاقة من السماء إلى الأرض، ويمكن تحقيق ذلك بواسطة الدعم الجاد لمؤسسات البحث العلمي

والتطوير التقني من أجل تأمين الخبرات العلمية والتقنية الفعالة وتحفيزها للقيام بدور التطوير والابتكار. لذا نأمل من فئات الباحثين والمتخصصين ومخططي ومنفذي السياسات الاقتصادية والبيئية والتنموية بالمؤسسات الوطنية وصناع القرار الذين يهتمون بمجالات الطاقة المتجددة دراسة هذا الموضوع بشكل أشمل من كافة جوانبه وإدراجه ضمن سلم الأولويات بهدف استكشاف وتشخيص مدى إمكانية الاستفادة الليبية الذاتية من طاقة التيارات الهوائية النفاثة الكامنة بطبقات الجو العليا. ولتبسيط الدخول في هذا المجال نقترح العمل على تصميم وتنفيذ مشروع تجريبي وطني يكون هدفه الأساسي البحث والتطوير تمهيدا للدخول في تجربة استثمارية واعدة خلال المستقبل.

جدول (5). برنامج خطة العمل المقترحة للمشروع

المرحلة	الفترة الزمنية	النشاطات المستهدفة	إجراءات إدارية وفنية
الأولى	6 أشهر	• حصر وتوفير المواد الخام ومصادرها وتحديد كيفية التعامل معها. • تهيئة المؤسسات ذات العلاقة وتحديد مستوى الأداء المطلوب منها وفق الحاجة إليها. • تحديد الموقع المستهدف للمشروع. • تحديد الميزانية المالية اللازمة لتنفيذ المشروع.	– اختيار عناصر الهيئة الإشرافية وتحديد مهامها. – البحث عن مصادر التمويل اللازمة لتأمين ميزانية المشروع. – التفاوض الرسمي مع المؤسسات ذات العلاقة.
الثانية	6 أشهر	• إعداد التصاميم والمواصفات لمكونات المشروع. • تهيئة الموقع المستهدف للمشروع. • تنفيذ بعض البرامج التدريبية والتأهيلية للعناصر التي ستعمل في مجالات التشغيل والتركيب والصيانة والمتابعة.	– اختيار عناصر الفريق الفني التنفيذي.
الثالثة	6 أشهر	• الشروع في بناء وتركيب مكونات المشروع.	– متابعة التنفيذ إدارياً وفنياً.
الرابعة	36 شهرًا	• التشغيل التجريبي للمشروع. • حفظ وأرشفة المعلومات والبيانات أولا بأول. • كتابة التقارير حول المراحل المنفذة من المشروع.	– متابعة العناصر القائمة على تسيير المشروع وإعداد التقارير.
الخامسة	6 أشهر	• الاستمرار في التشغيل ورصد وحفظ البيانات. • تحليل وتفسير البيانات والمعلومات المسجلة. • مناقشة نتائج الفترة التجريبية. • كتابة وطباعة التقرير النهائي للمشروع. • تقديم التقرير النهائي لبرنامج عمل ونتائج المشروع. • عقد مؤتمر صحفي والإعلان عن الانتهاء من تنفيذ المشروع وعرض النتائج التي تم التوصل إليها.	– تجميع التقارير المنجزة. – استخلاص تقرير عام موحد من خلال التقارير المنجزة. – مناقشة النتائج و الملاحظات المبدئية. – تقييم جدوى ومستوى الأداء بالمشروع.

13ـ المراجـــــــــــع

[1]-Al Bayan. Ae (2001): Airborne Wind Turbine, Al Bayan Newspaper.

[2]- http: en.wikipedia.org/wiki/talk:Airborne-wind-turbine.

[3]-J. D. Atkinson et al. (1979): The use of

Transactions on Energy Conversion, vol. 22, No. 1.pp. 1-10.

[12]-Bryan W. Roberts and D. H. Shepards (2003): Unmanned Rotorcraft to Generate Electricity Using Upper Atmospheric Winds, Proceedings of the Tenth Australian International Aerospace Congress, Engineers Australian Brisbane, Australia, Paper AIAC 2003-098.

[13]-GWEC (2006): Global Energy Outlook 2006, Global Wind Energy Council. p. 9.

[14]-GWEC (2006): Global Wind Energy 2006 Report, Global Wind Energy. Council. p 8

[15]- عبد العظيم ن. م.(1998): علم المناخ المعاصر، قسم الأراضي والمياه، كلية الزراعة، جامعة الإسكندرية ص 265–272

[16]-Lorenz E. N. (1967): The nature and theory of the general circulation of the atmosphere. pp. 59–78

[17]- السامرائي ق. م. (2005): المناخ والأقاليم المناخية. دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع ص 106 – 115

[18]-Krishnamurti, T. N. (1961): The Subtropical Jet Stream of winter, Journal of Meteorology, Volume 18, pp. 172–190.

[19]-Newton, C. W. and Persson, A. V. (1962): Structural characteristics of the subtropical jet stream and certain lower – Stratospheric wind system, Tellus XIV,2 pp. 222–240.

[20]-Lamb. H, and others (1957): Jet Streams over North Africa and the Central Mediterranean in January and February, 1954, The Meteorological Magazine, vol. 86, No1,018 pp. 97-111.

[21]-Bargman D. J. (1960): Tropical Meteorology in Africa, Munitalp Foundation Nairobi, pp. 86-96.

[22]-Cole F. W. (1980): Introduction to Australian upper wind data in the design of an electrical generating platform," Chas. Kolling Res. Lab., Unv. of Sydney, Sydney, Australia, TN D-17, pp. 1-19.

[4]-R. J. O'Doherty and B. W. Roberts (1982): Application of upper wind data in one design of tethered wind energy system, Solar Energy Res. Inst., Golden, CO, Tech. Rep. TR-211-1400, pp. 1-127.

[5]-Rezaey, A. and D. Safari-Doust, (2012): Feasibility Study of 10 GW High Altitude wind Energy generation station in New York State; Journal of Basic and Applied Scientific Research. Semnan University, Iran. PP. 6119-6126.

[6]- Fagians, L. and Lanesc (2012): Airborne wind energy: an overview, 2012 American Control Conference, Fairmount Queen Elizabeth, Montréal Canada.pp. 3132–3142.

[7]-Fletcher, C. A. J. and B. W. Roberts, (1979): Electricity Generation from Jet-Stream Winds, Journal of Energy, Vol. 3. pp. 241-249.

[8]-Bryan W. Roberts and J. Blackller (1980): Various systems for generation of electricity using upper atmospheric winds, in Proceeding of the 2nd Wind Energy Innov. Syst. Conf, Solar Energy Res. Inst., Colorado Springs, CO, pp. 67-80.

[9]-Bryan W. Roberts (2012): Cost and Security of Electricity Generated by High Altitude Winds. Associate Paper, Future Directions International, Independent Strategic Analysis of Australia's Global Interests, pp. 136-144.

[10]-http://www.Skywindpower.com/ww/index.

[11]-Bryan W. Roberts, and others (2007): Harnessing High-Altitude Wind Power, IEEE

Meteorology, 3rd Edition, pp. 238-243.

[23]-Karamitsu, M. and Others (2002): NCEPDOE AMIP-II Reanalysis (R-2) Bulletin of American Meteorological Society 83, pp. 1631–1643.

[24]-Archer, C. L. and K. Caldeira, (2009): Global Assessment of High – Altitude wind power, Energies, Vol. 2. pp. 307-309.

[25]- قاعدة بيانات المركز الوطني للأرصاد الجوية، طرابلس – ليبيا

[26]-Ken Caldeira: High Altitude Wind Energy, based on ECMWF 1978-1994 Seasonal mean wind and temperature, (Lawrence Livermore National Laboratory).

[27]- كيبونز ج. *(1990):* استراتيجيات لاستخدام الطاقة، مجلة العلوم المجلد *7* – العدد *3*.ص *76– 85*

[28]-Trewartha G. T. (1954): An Introduction to Climate. p. 90.