



جامعة جازان
نيابة الدراسات العليا والبحث العلمي
كلية الآداب
قسم الجغرافيا

الإشعاع الشمسي والرياح ودورهما في إنتاج الطاقة في الجمهورية اليمنية

دراسة في الجغرافيا الاقتصادية

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في الآداب من قسم الجغرافيا

إعداد

مقبل محمد علي الحياسي

إشراف الأستاذ الدكتور/

مارش أحمد سعيد العديني

أستاذ الجغرافيا الاقتصادية بالكلية

أغسطس ٢٠١١ م

رمضان ١٤٣٢ هـ



No :

Date :

إقرار المشرف

أشهد بأن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ «**الاشعاع الشمسي والرياح ودورهما في إنتاج الطاقة في الجمهورية اليمنية - دراسة في الجغرافيا الاقتصادية**»

المقدمة من «**مقبل محمد علي الحياصي**» جرى تحت اشرافي في جامعة ذمار/ كلية الآداب قسم الجغرافيا، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في الجغرافيا .

وبناءً على تفويض لجنة المناقشة أقر بأن الطالب قد أنهى إجراء التعديلات .

رئيس قسم الجغرافيا الدكتور

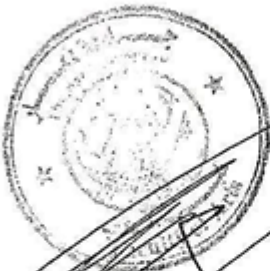
المشرف الأستاذ الدكتور

عبد البراق

مارش أحمد سعيد العديني

د. ٢٠١٥

١٤٣٥



يعتمد عميد الكلية

الأستاذ الدكتور

محمد حزام العماري



الرقم:
التاريخ: ٢٠٠٠ / ١ / ١

**تقرير لجنة مناقشة رسالة
ماجستير**

بناءً على مصادقة مجلس الدراسات العليا والبحث العلمي في قراره رقم (٧٢) الصادر في دورة اجتماعه/ الثامن - لعام: ٢٠١١ م بتاريخ: ٢٠١١/٨/٧ م بتشكيل لجنة مناقشة رسالة الماجستير للطلاب/ مقبل محمد علي العيادي كلية/ الاداب
قسم/ الجغرافيا - تخصص/ جغرافيا

الموسومة بـ/ (اللغة العربية): الأشعاع الشمسي والرياح ودورها في إنتاج الطاقة في الجمهورية اليمنية - دراسة في الجغرافيا الاقتصادية.

(اللغة الإنجليزية):

اجتمعت اللجنة المؤلفة بهذا القرار من:

- ١- أ.د. مارش احمد سعيد رئيساً ومشرفاً
- ٢- أ.م.د. محمد عبد العزيز سعيد مناقشاً خارجياً
- ٣- أ.م.د. محمد حزام العماري مناقشاً داخلياً

يوم/ الاثنين الموافق: ٢٠١١/١٠/١٠ م . بعد مناقشة الرسالة لرسالة الطالب أعلاه قررت
١- قبول الرسالة ومنح الشهادة) جامعة ذمار

٢- قبول الرسالة مع إجراء بعض التعديلات (الدراسات العليا والبحث العلمي) في الرسالة
وتفويض الدكتور/ هادي محمد سعيد (الدراسات العليا والبحث العلمي) للتحقق من صحة التعديلات خلال
ثلاثة أشهر من تاريخ المناقشة .

٣- استكمال أوجه نقص الرسالة وإعداد مناقشتها

خلال

م	الاسم	المهنة	اللقب العلمي	التوقيع
١	أ.د. مارش احمد سعيد	رئيساً ومشرفاً	استاذ دكتور	
٢	أ.م.د. محمد عبد العزيز سعيد	مناقشاً خارجياً	استاذ مشارك	
٣	أ.م.د. محمد حزام العماري	مناقشاً داخلياً	استاذ مشارك	

ملاحظة: ١- وتم اختيار واحد من الاختيارات الثلاثة عند صدور قرار لجنة المناقشة.

٢- عدم إعلان التقدير النهائي للمناقشة .

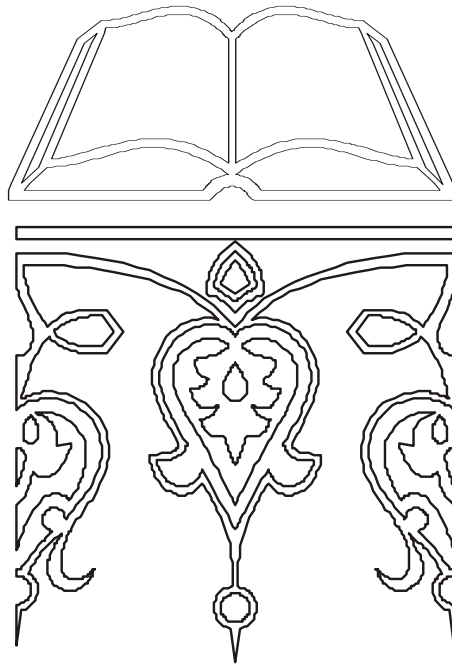
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

{اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا

مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُّورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ { سورة النور الآية ٣٥ .

وقال تعالى ((وَمِنْ آيَاتِهِ أَنْ يُرْسِلَ الرِّيَّاحَ مُبَشِّرَاتٍ وَلِيَذِيقَكُمْ مِنْ رَحْمَتِهِ وَلِتَجْرِيَ الْفُلُكُ بِأَمْرِهِ وَلِتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ وَلِعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ)) سورة الروم الآية ٤٦

صدق الله العظيم



الإهداء

إلى معلمي الأول والدي حفظه الله

إلى بحر الحنان والدتي العزيزة

إلى أعز أحبتي زوجتي وبناتي وولدي

إلى كل أفراد عائلتي الكريمة

أهدي رسالتي

الباحث

شكر وعرفان

إن الحمد لله، أحمده حمد عباده الشاكرين، حمداً كثيراً طيباً..... وبعد
لا يسعني وأنا أنتهي من كتابة رسالتي هذه إلا أن أتوجه بخالص الشكر والعرفان إلى **الأستاذ الدكتور مارش أحمد سعيد العديني** الذي تفضل بالإشراف على الرسالة، وكان لتوجيهاته وآرائه السديدة خير عون للباحث التي لولاها ما كان البحث ليصل إلى ما هو عليه الآن، فجزاه الله من العلم خير الجزاء وكتب له طول البقاء.

كذلك أخص بالشكر الجزيل **أساتذة قسم الجغرافية في كلية الآداب** الذين شعرت معهم بجمال التلمذة وجل الأستاذية، وأخص منهم **الأستاذ الدكتور محمد حزام العماري عميد الكلية والأستاذ الدكتور قصي عبد المجيد السامرائي** الذي تكرم بمراجعة البحث والأستاذ **الدكتور عبد الجليل الصوفي**، و **الدكتور عبد القادر عساج**، و **الدكتور فهمي علي سعيد** أستاذ الجغرافيا الطبيعية بجامعة صنعاء، و **الدكتور عبد العزيز الذبحاني** رئيس مركز الطاقة الشمسية بجامعة العلوم والتكنولوجيا لما قدمه لي من نصائح ومراجع أفادتني في البحث.

وكذلك شكري الخاص إلى زملائي لما بذلوا من جهد لمساعدتي في البحث عن مصادر ومنهم **الأستاذ علي أحمد ضيف الله والأستاذ محمد الشامي والأستاذ نبيل خشافه والأستاذة منيرة العزي**، ولا أنسى أن أشكر الأخ **الأستاذ مختار الحسانين** من جمهورية مصر مؤسس منتدى الجغرافيون العرب والذي اعجز عن شكره لما قدمه لي من مصادر تضمنت موضوعات ومعلومات مفيدة في بحثي.

وكذلك أتقدم بشكري وامتناني إلى الأخوة العاملين في هيئة البحوث الزراعية بدمار وأخص منهم بالذكر الأخ **الأستاذ محمد عبد الواحد الخرساني** مختص المناخ لما قدم لي من بيانات مناخية لكثير من محطات الدراسة و **الأستاذ أحمد شخب مختص gis** لما بذله من جهد معي لإخراج الخرائط بهذه الصورة، وأخيراً أتقدم بوافر الشكر والعرفان **لأفراد أسرتي** على ما قدموه من عون ومثابرة أثناء مراحل البحث، وأسأل الله عز وجل أن أكون قد وفقت في إنجاز هذه الرسالة.

فجزى الله الجميع خيراً

مستخلص الدراسة

تبرز أهمية هذه الدراسة من موضوعها المتمثل في دراسة الطاقة المتجددة (الإشعاع الشمسي والرياح) من منظور جغرافي كونه فرع من فروع الجغرافية الاقتصادية، ولم يتم بحثه حتى اليوم في الجمهورية اليمنية.

هدفت هذه الدراسة إلى إيجاد معالجات لمشكلة نقص الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية عن طريق إظهار إمكانية توليد الكهرباء بمصادر الطاقة المتجددة والمتمثلة بطاقتي الإشعاع الشمسي والرياح وما يمكن توليده بواسطتهما عن طريق الخلايا الشمسية وتربينات الرياح، واعتمدت على المنهج التاريخي في دراسة مصادر الطاقة في الجمهورية اليمنية (النفط والغاز والكهرباء) والمنهج الوصفي التحليلي الذي يقوم على وصف البيانات المناخية الخاصة بالدراسة وتحليلها واستخدام المنهج الكمي والأساليب الرياضية والكارتوغرافية في مناقشة إمكانية توليدها عن طريق تقسيم الجمهورية اليمنية إلى أربعة أقاليم جغرافية ومع تحليل أثر العوامل الجغرافية في الإشعاع الشمسي والرياح بغرض عمل خارطة تحتوي على أفضل الأماكن لإنشاء المزارع الخاصة بتوليد الطاقة سواء الشمسية أو الريحية.

وتكونت الدراسة من خمسة فصول قسمت إلى عشرة مباحث، وتضمن الفصل الأول مبحثين الأول يحتوي على المنهجية العلمية للدراسة والثاني خصص للإطار النظري، أما الفصل الثاني فقد تناول مفهوم الإشعاع الشمسي والرياح والعوامل المؤثرة فيهما وقسم إلى مبحثين الأول تناول مفهوم الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة فيه ورتبت على درجة تأثيرها والثاني مفهوم الرياح والعوامل المؤثرة فيها ورتبت بحسب التأثير أيضاً، أما الفصل الثالث فقد خصص لمبحثه الأول للتوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي ومبحثه الثاني للتوزيع الجغرافي لحركة الرياح، كونهما القاعدة الأساس التي عليها يمكن معرفة مدى إمكانية التوليد، وفي الفصل الرابع تم في المبحث الأول تناول التحليل الجغرافي لإمكانية توليد الطاقة من الإشعاع الشمسي وفي المبحث الثاني تناول إمكانية توليد الطاقة من الرياح ومعرفة جدواهما الاقتصادية، في الفصل الخامس تناولت الدراسة واقع ومستقبل الكهرباء في الجمهورية اليمنية، واستعرض نصيب الفرد في الجمهورية اليمنية ومقارنته بنصيب الفرد العالمي وبعض الدول، ثم تناولت في المبحث الثاني الاستخدامات المستقبلية للطاقة الشمسية والريحية، واختتمت الدراسة بأهم النتائج والمقترحات التي يمكن الاستفادة منها في المستقبل ، إضافة إلى عدد من الملاحق المهمة.

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع
أ	الآية القرآنية
ب	الإهداء
ج	الشكر وعرفان
د	مستخلص الدراسة
هـ - ي	قائمة المحتويات
ك - ل	قائمة الجداول
م - ن	قائمة الخرائط
س	قائمة الأشكال
١ - ٤٢	الفصل الأول منهجية الدراسة وإطارها النظري
٣	المبحث الأول: منهجية الدراسة:
٣	المقدمة
٤	أولاً: مشكلة الدراسة
٥	ثانياً: أهمية الدراسة
٥	ثالثاً: مبررات الدراسة
٦	رابعاً: أهداف الدراسة
٦	خامساً: فرضيات الدراسة
٧	سادساً: المنهج العلمي المتبع في الدراسة
٧	سابعاً: حدود الدراسة
١٠	ثامناً: الدراسات السابقة
١٣	المبحث الثاني: الإطار النظري للدراسة:
١٣	أولاً: مفهوم الطاقة وأقسامها ومصادرها:
١٣	١- مفهوم الطاقة
١٣	٢- أنواع الطاقة
١٤	أ- الطاقة غير المتجددة (المؤقتة أو الناضبة)
١٤	ب- الطاقة المتجددة
٢١	ثانياً: مصادر الطاقة في الجمهورية اليمنية
٢١	١- النفط
٢٨	٢- الغاز الطبيعي
٣٣	٣- الطاقة الكهربائية
٣٨	أ- مصادر توليد الطاقة الكهربائية
٤٠	ب- المشاكل التي تواجه قطاع الكهرباء في الجمهورية اليمنية

تابع قائمة المحتويات

٨٣ - ٤٣	الفصل الثاني الإشعاع الشمسي والرياح والعوامل المؤثرة فيهما
٤٥	المبحث الأول: الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة فيه
٤٥	أولاً: مفهوم الإشعاع الشمسي وأهميته:
٤٥	ثانياً: الثابت الشمسي
٤٧	ثالثاً: مكونات الإشعاع الشمسي
٤٨	رابعاً: أهمية الإشعاع الشمسي
٤٩	خامساً: وظائف الإشعاع الشمسي
٥٠	سادساً: وسائل انتقال طاقة الإشعاع الشمسي
٥٠	سابعاً: الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية والعوامل المؤثرة فيه
٥١	١- زاوية سقوط الأشعة الشمسية
٦٢	٢- طول النهار
٦٤	٣- صفاء السماء
٦٦	٤- التضاريس
٦٩	المبحث الثاني: الرياح والعوامل المؤثرة فيها
٦٩	أولاً: مفهوم الرياح وأهميتها
٦٩	ثانياً: الرياح السائدة في الجمهورية اليمنية
٧١	ثالثاً: سرعة الرياح في الجمهورية اليمنية
٧٢	رابعاً: العوامل المؤثرة على حركة الرياح في الجمهورية اليمنية
٧٢	١- قوة انحدار الضغط
٧٨	٢- قوة الاحتكاك

تابع قائمة المحتويات

١١٨ - ٨٤	الفصل الثالث التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي وحركة الرياح
٨٦	المبحث الأول: التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي:
٨٦	أولاً: التوزيع الجغرافي لساعات السطوع الشمسي:.....
٨٦	١- السطوع الشمسي في إقليم المنخفضات الوسطى
٨٨	٢- السطوع الشمسي في إقليم الهضبة الشرقية
٩١	٣- السطوع الشمسي في إقليم السهول الساحلية
٩٣	٤- السطوع الشمسي في إقليم المرتفعات الجبلية
٩٤	ثانياً: التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي.....
٩٥	١- الإشعاع الشمسي في إقليم الهضبة الشرقية
١٠١	٢- الإشعاع الشمسي في إقليم المنخفضات الوسطى
١٠٢	٣- الإشعاع الشمسي في إقليم السهول الساحلية
١٠٤	٤- الإشعاع الشمسي في إقليم المرتفعات الجبلية
١٠٨	المبحث الثاني: التوزيع الجغرافي لحركة الرياح:
١٠٨	أولاً التوزيع الجغرافي لاتجاه الرياح
١٠٨	١- اتجاه الرياح في إقليم السهول الساحلية
١١٠	٢- اتجاه الرياح في إقليم المرتفعات الجبلية
١١٠	٣- اتجاه الرياح في إقليم المنخفضات الوسطى
١١١	٤- اتجاه الرياح في إقليم الهضبة الشرقية
١١١	ثانياً: التوزيع الجغرافي لسرعة الرياح.....
١١٢	١- سرعة الرياح في إقليم السهول الساحلية
١١٣	٢- سرعة الرياح في إقليم الهضبة الشرقية
١١٥	٣- سرعة الرياح في إقليم المنخفضات الوسطى
١١٦	٤- سرعة الرياح في إقليم المرتفعات الجبلية

تابع قائمة المحتويات

١٦٢ - ١١٩	الفصل الرابع التحليل الجغرافي لتوليد الطاقة الكهربائية بحسب الأقاليم الطبيعية
١٢١	المبحث الأول: التحليل الجغرافي لتوليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي:
١٢١	أولاً: التحليل الجغرافي للطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية:
١٢١	١- الطاقة الشمسية في إقليم الهضبة الشرقية.....
١٢٧	٢- الطاقة الشمسية في إقليم المنخفضات الوسطى.....
١٣١	٣- الطاقة الشمسية في إقليم السهول الساحلية.....
١٣٣	٤- الطاقة الشمسية في إقليم المرتفعات الجبلية.....
١٣٥	ثانياً: التحليل الجغرافي للطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها من الطاقة الشمسية:
١٣٦	١- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم المنخفضات الوسطى.....
١٣٩	٢- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم الهضبة الشرقية.....
١٤٠	٣- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم المرتفعات الجبلية.....
١٤٠	٤- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم السهول الساحلية.....
١٤٥	المبحث الثاني: التحليل الجغرافي لإمكانية توليد الطاقة الكهربائية من الرياح:
١٤٥	١- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم السهول الساحلية.....
١٥١	٢- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم المنخفضات الوسطى.....
١٥٢	٣- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم الهضبة الشرقية.....
١٥٤	٤- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم المرتفعات الجبلية.....

تابع قائمة المحتويات

١٦٣ - ١٩٤	الفصل الخامس واقع الطاقة الكهربائية ومستقبلها واستخداماتها في الجمهورية اليمنية
١٦٥	المبحث الأول: واقع توليد الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية ومستقبلها:
١٦٥	أولاً: محطات توليد الكهرباء في الجمهورية اليمنية
١٧٣	ثانياً: واقع إنتاج الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية
١٧٥	ثالثاً: معدل استهلاك الفرد من الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية
١٧٨	رابعاً: حجم الطلب على الطاقة الكهربائية حتى عام ٢٠٢٤م
١٨٢	المبحث الثاني: الاستخدامات المستقبلية للطاقة الشمسية والريحية في الجمهورية اليمنية:
١٨٢	أولاً: الاستخدامات المستقبلية للطاقة الشمسية:
١٩١	ثانياً: الاستخدامات المستقبلية لطاقة الرياح:
١٩٥ - ٢٠١	النتائج والتوصيات
١٩٦	أولاً: النتائج
١٩٩	ثانياً: التوصيات.....
٢٠٢ - ٢١٢	المصادر
٢٠٣	- المصادر العربية
٢١٢	- المصادر الأجنبية

تابع قائمة المحتويات

٢٣٦ - ٢١٣	الملاحق
٢١٤	١- معدلات ساعات السطوع الفعلية لمحطات الدراسة
٢١٧	٢- المعدلات الشهرية والسنوية لكمية الإشعاع الشمسي (ميغا جول/م ^٢ /يوم)
٢٢٠	٣- كمية الإشعاع الشمسي الشهرية والسنوية في محطات الدراسة (ميغا جول/م ^٢ /شهر)
٢٢٣	٤- اتجاهات الرياح لمحطات الدراسة المناخية في الجمهورية اليمنية
٢٢٦	٥- معدل الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية (كيلو واط ساعة/م ^٢ /يوم)
٢٢٩	٦- كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واط/م ^٢ /٣ ساعة
٢٣٣	٧- كمية طاقة الرياح الشهرية والسنوية في الجمهورية اليمنية (كيلو واط ساعة/م ^٢ /٣)
٢٣٧	ملخص الرسالة باللغة الإنجليزية.

قائمة الجداول

م	الموضوع	الصفحة
١	التوزيع الجغرافي لإنتاج لنفط الخام بحسب القطاعات في الجمهورية اليمنية للمدة من ١٩٨٦-٢٠٠٨م (بالبرميل)	٢٥
٢	استهلاك النفط بحسب مشتقاته في الجمهورية اليمنية لعامي ٢٠٠٧ و٢٠٠٨م	٢٨
٣	كمية الاحتياطي الغازي المؤكد في القطاعات المنتجة حتى نهاية ديسمبر ٢٠٠٨م	٣٠
٤	إنتاج الغاز الطبيعي في الجمهورية اليمنية خلال الفترة من ٢٠٠١-٢٠٠٩م (ألف طن)	٣٠
٥	الشركات المساهمة في إنتاج الغاز في مشروع تسييل الغاز بمنطقة بلحاف	٣١
٦	استهلاك الغاز في الجمهورية اليمنية للفترة من ١٩٩٩-٢٠٠٨م (طن متري)	٣٢
٧	إنتاج الكهرباء في الجمهورية اليمنية خلال الفترة من ١٩٩١-٢٠٠٩م (جيجا واط/ساعة)	٣٨
٨	الأشعة الضوئية حسب أطوال موجاتها (ميكرون)	٤٨
٩	زوايا ارتفاع الأشعة الشمسية الشهرية والفصلية وسط النهار على الجمهورية اليمنية	٥٣
١٠	اختلاف طول النهار عند دوائر العرض المختلفة في فصل الصيف الشمالي (ساعة/يوم)	٦٢
١١	معدلات ساعات السطوع الشمسي الشهرية في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٣-٢٠٠٧م (ساعة/يوم)	٦٣
١٢	ساعات السطوع الشمسي النظري والفعلي في الجمهورية اليمنية (ساعة/يوم)	٦٥
١٣	التوزيع الجغرافي لمعدلات ساعات السطوع الشمسي في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٣-٢٠٠٧م (ساعة/يوم)	٨٧
١٤	التوزيع الجغرافي لمعدلات الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٥-٢٠٠٧م (ميجا جول/م ^٢ /يوم)	٩٦
١٥	التوزيع الجغرافي لكمية الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٥-٢٠٠٧م (ميجا جول/م ^٢ /شهر)	٩٩
١٦	التوزيع الجغرافي لاتجاهات الرياح السائدة في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٦م	١٠٩

تابع قائمة الجداول

م	الموضوع	الصفحة
١٧	التوزيع الجغرافي لمعدلات سرعة الرياح في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٦ م (م/ث)	١١٤
١٨	التوزيع الجغرافي لمعدلات الطاقة الشمسية وانحرافها المعياري في الجمهورية اليمنية (كيلو واط ساعة/م ^٢ /يوم)	١٢٢
١٩	المعدل السنوي للطاقة الشمسية وانحرافها المعياري في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٥-٢٠٠٧ م	١٢٩
٢٠	التوزيع الجغرافي لمعدلات الطاقة الكهربائية الممكن توليدها من الطاقة الشمسية في الجمهورية (واط ساعة/م ^٢ /يوم)	١٣٧
٢١	التوزيع الجغرافي لمعدلات طاقة الرياح في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٦ م (واط/م ^٣ /ساعة)	١٤٦
٢٢	كمية طاقة الرياح الشهرية في الجمهورية اليمنية (كيلو واط/م ^٣ /شهر)	١٥٣
٢٣	سرعة الرياح ونوعية الطاقة الكهربائية الناتجة عنها	١٥٧
٢٤	بيانات محطات إنتاج الكهرباء في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٥-٢٠٠٩ م	١٦٩

قائمة الخرائط

م	الموضوع	الصفحة
١	الموقع الجغرافي للجمهورية اليمنية وأقاليمها الطبيعية	٨
٢	التوزيع الجغرافي لمواقع المحطات المناخية بحسب الارتفاعات	٩
٣	زوايا ارتفاع الأشعة الشمسية في الجمهورية اليمنية	٥٦
٤	خطوط معدل درجات الحرارة المتساوية في الجمهورية اليمنية	٦٨
٥	امتداد المرتفع السيبيري إلى الجمهورية اليمنية والرياح المرافقة له خلال فصل الشتاء(ديسمبر)	٧٣
٦	التوزيع الجغرافي للضغط الجوي لشهر ابريل (الربيع)	٧٤
٧	التوزيع الجغرافي للضغط الجوي وحركة الرياح في فصل الصيف(يوليو)	٧٦
٨	التوزيع الجغرافي لمعدلات ساعات السطوع الشمسي في الجمهورية اليمنية بحسب الأقاليم التضاريسية	٨٩
٩	التوزيع الجغرافي لساعات السطوع الفعلية في الجمهورية اليمنية بحسب المحطات المختارة	٩٠
١٠	التوزيع الجغرافي لمعدلات الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية بحسب الأقاليم التضاريسية	٩٧
١١	التوزيع الجغرافي لمعدلات الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية بحسب المحطات المختارة	١٠٠
١٢	التوزيع الجغرافي لمعدلات الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية بحسب الأقاليم التضاريسية	١٢٤
١٣	التوزيع الجغرافي لمعدلات الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية بحسب المحطات المختارة	١٢٦
١٤	التوزيع الجغرافي لمعدلات الطاقة الكهربائية المتوقع توليدها من الطاقة الشمسية في الجمهورية	١٣٨
١٥	التوزيع الجغرافي لطاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب الأقاليم التضاريسية	١٤٧

تابع قائمة الخرائط

م	الموضوع	الصفحة
١٦	التوزيع الجغرافي لمعدلات طاقة الرياح في الجمهورية اليمنية بحسب المحطات المختارة	١٥٠
١٧	التوزيع الجغرافي لما يتوقع توليده من كهرباء عبر طاقة الرياح في الجمهورية اليمنية	١٥٨
١٨	التوزيع الجغرافي لمحطات توليد الكهرباء في الجمهورية اليمنية	١٦٦

قائمة الأشكال

م	الموضوع	الصفحة
١	معدل الإنتاج اليومي للنفط الخام في جميع قطاعات الإنتاج في الجمهورية اليمنية منذ بدء الإنتاج حتى ٢٠٠٨	٢٦
٢	إنتاج الغاز الطبيعي في الجمهورية اليمنية خلال الفترة من ٢٠٠١ - ٢٠٠٩	٣١
٣	إنتاج الكهرباء في الجمهورية اليمنية خلال الفترة من ١٩٩١ - ٢٠٠٩ م (جيجا واط/ساعة)	٣٨
٤	المسافة بين الأرض والشمس في النصف الشمالي	٤٦
٥	زاوية ارتفاع الشمس	٥٢
٦	مقارنة بين المساحة التي يسقط عليها الإشعاع العمودي والمائل على سطح مستوي	٥٢
٧	تحديد اتجاهات الرياح	٧١
٨	العلاقة بين زاوية السقوط وكمية الإشعاع الشمسي	١٠٧
٩	الانحراف المعياري لمعدلات الطاقة الشمسية عن المتوسط للمحطات المختارة	١٢٨
١٠	الانحراف المعياري السنوي لمعدل الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٥ - ٢٠٠٧ م.	١٣٥
١١	العلاقة بين كمية الطاقة الشمسية وما يمكن إنتاجه من طاقة كهربائية في الجمهورية اليمنية	١٤٣
١٢	العلاقة بين سرعة الرياح وما يمكن إنتاجه من طاقة رياح	١٥٦
١٣	مخطط تفصيلي للأجهزة الممكن تشغيلها بالطاقة الشمسية	١٨٤
١٤	إنارة أسوار الهيئات الحكومية بالخلايا الشمسية	١٨٦
١٥	المجففات الشمسية الحديثة	١٨٩

الفصل الأول منهجية الدراسة وإطارها النظري

المبحث الأول: منهجية الدراسة
المبحث الثاني: الإطار النظري

مدخل:

حظيت مصادر الطاقة باهتمام الكثير من الباحثين ويعود ذلك لأهمية الدور الذي تقدمه للإنسان في جميع مجالات الحياة، ولقد أصبح في الوقت الحاضر قياس مدى تقدم الدول اقتصادياً واجتماعياً بما تنتجه وتستهلكه من طاقة، لذلك تعمل كثير من الدول على التعرف على مصادر الطاقة المتاحة فيها بهدف التخطيط لتوفير حاجاتها من الطاقة.

وتهتم الجغرافية الاقتصادية بحصر جميع الموارد الاقتصادية (الطبيعية والبشرية)، وأهمها مصادر الطاقة وذلك من خلال حصر جميع بيانات كل عنصر سواء كان مصدراً ناضباً أو متجدداً وتوزيعه الجغرافي، ولذلك ظهرت جغرافية الطاقة(*) التي تدرس التوزيع الجغرافي لتلك المصادر وتحديد مدى جدواها الاقتصادية حيث تعد هذه البيانات العمود الفقري لعمليات التخطيط والتنمية الشاملة في جميع المجالات الاقتصادية والاجتماعية.

ونظراً لهذه الأهمية فإن جميع دول العالم تقوم بإجراء مسوحات لهذه المصادر وتضع البرامج الأساسية لتنفيذها بما يلبي حاجاتها في توفير قاعدة معلوماتية عن هذه المصادر وخصائصها وتوزيعها الجغرافي ومن ثم معرفة أيها أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية لسد حاجاتها من الطاقة.

ويهدف هذا الفصل إلى تحديد المنهجية العلمية للدراسة والى التعريف بمفهوم الطاقة وأنواعها ومعرفة ما يعنيه كل نوع من أنواع الطاقة واستعراض تطور احتياطي وإنتاج واستهلاك الطاقة في الجمهورية اليمنية، وينقسم إلى بحثين هما:

١ - منهجية الدراسة

٢ - الإطار النظري للدراسة

(*) جغرافية الطاقة تعد من أحدث فروع الجغرافيا الاقتصادية، يقترب عمرها من نصف قرن من الزمان، وتهتم بدراسة إنتاج ونقل وتوزيع واستهلاك الطاقة بحسب مصادرها المختلفة.
(الشيخ، محمد عزت محمد، كهربية الريف بمركز المنصورة- محافظة الدقهلية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة كفر الشيخ، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، ٢٠٠٩م. ص ١).

المبحث الأول: منهجية الدراسة

المقدمة

تزداد أهمية الطاقة في العالم يوماً بعد يوم تبعاً لتعدد وتزايد مجالات استعمالها وارتفاع حاجة الإنسان إليها، لذا فإن الطاقة أصبحت تشكل عنصراً هاماً تترتب عليه تقدم الشعوب.

ولقد حظي الوطن العربي (من الله سبحانه وتعالى) بنعمة كبرى، حيث يخترن وينتج الجزء الأعظم من الطاقة التقليدية المستخدمة في العالم والمتمثلة بالنفط والغاز الطبيعي، وعلى الرغم من ذلك فإن إنتاج الوطن العربي من الطاقة الكهربائية منخفض جداً بالنسبة لحجم سكانه، وترتب على ذلك انخفاض متوسط نصيب الفرد والذي يعادل فقط ٤٥% من متوسط نصيب الفرد العالمي، وهنالك تفاوت كبير في نصيب الفرد من دولة عربية لأخرى، فالدول النفطية صاحبة النصيب الأكبر، ولا شك بأن العلاقة ايجابية بين الطاقة المنتجة والمستخدم في أي بلد وبين التنمية الاقتصادية فيه^(١) وعليه فإن مصادر الطاقة المتجددة ستكون في المستقبل القريب من أهم مصادر الطاقة^(٢)، لذلك فإن القضية الرئيسية التي تدور حولها الدراسة هي مصادر الطاقة البديلة (الإشعاع الشمسي والرياح) في الجمهورية اليمنية، فالإشعاع الشمسي يعد المصدر الوحيد للطاقة المسؤولة عن جميع العمليات في الغلاف الجوي^(٣)، فالشمس هي أكبر مصادر الطاقة الدائمة للأرض^(*)، فقد بلغ إجمالي الطاقة التي تستقبلها الأرض من الشمس ١٧٠ ترليون كيلووات في اليوم، وهي كمية تعادل أكثر من ٥٠٠ مره الطاقة المنتجة من جميع المصادر المعروفة للطاقة على سطح الأرض^(٤) وقد برزت في الآونة الأخيرة من هذا القرن الاهتمامات الواسعة بالإشعاع الشمسي كأهم بدائل الطاقة، غير أنها تكاد تقتصر إلى حد كبير على العالم

(١) الطرزي، عبد الله، جغرافية الطاقة الكهربائية في الوطن العربي في عقد التسعينات، مجلة كلية الآداب، جامعة صنعاء، العدد ١٦، ١٩٩٤م. ص ٢٨٣ و ٢٨٤

(٢) رمضان، محمد رأفت إسماعيل، وعلي جمعان الشكيل، الطاقة المتجددة، ط ٢، دار الشروق، القاهرة، ١٩٨٨م. ص ١٦.

(٣) نعمان، شحادة، علم المناخ، عمان، مطبعة النور النموذجية، ١٩٨٣م. ص ٦١.

(*) هنالك مصدر ثان للطاقة وهو حرارة باطن الأرض، ولكنه لا يقارن بطاقة الشمس.

(٤) حشمت، عامر أمين، عالم الطاقة الشمسية، دمشق، دار الفكر العربي، ١٩٨١م. ص ٤٩.

المتقدم^(١) ونتيجة لموقع الجمهورية اليمنية بين دائرتي عرض (١٢° و ١٩.٥°) شمال خط الاستواء ضمن النطاق المداري ، فإن الشمس تتعامد عليه مرتين في السنة، حيث لا يقل معدل زاوية سقوط الأشعة عن ٨٦° في الجنوب وتزيد عن ٨٩° في الشمال، ولوقوعها تحت تأثير منطقة الضغط المرتفع المداري خلال فصل الشتاء جعلها تحظى بصفاء السماء وقلة الغيوم ، ولهذا فإن أكثر من ٧٠% من المساحة تقل فيها نسبة التغييم عن ٣٠%، وتمتاز بسماء صافية معظم أيام السنة، وهذا الموقع جعل طول النهار متقارب خلال الفصل الواحد في السنة، فلا يقل طول النهار عن ١١ ساعة في جميع أشهر الخريف والشتاء ولا يزيد عن ١٣ ساعة في جميع أشهر الربيع والصيف، ولا يقل معدل عدد ساعات السطوع السنوي عن (٣٢٥٠) ساعة^(٢) أما بالنسبة للرياح فإن استخدام طاقتها ليست فكرة جديدة، فلقد كانت السفن الشراعية في جميع العصور وسيلة لنقل السلع والناس واكتشاف الأراضي الجديدة ونقل الجيوش إلى الشواطئ البعيدة.

كما عرف الإنسان طواحين الهواء وهي آلات تسخر طاقة الرياح لتؤدي أعمالاً ميكانيكية متنوعة^(٣) وعليه فقد تطورت في الآونة الأخيرة وبشكل متسارع استخدامات مراوح الهواء المولدة للطاقة الكهربائية.

أولاً: مشكلة الدراسة:

نظراً لما تعانيه الجمهورية اليمنية من مشكلات حادة في نقص الطاقة التقليدية (خاصة الكهربائية) الكافية لجميع الاستخدامات المجتمعية فقد أصبح لزاماً على الباحثين والجهات ذات العلاقة ممثلة بالمؤسسات الحكومية وغير الحكومية التفكير بإيجاد الحلول المناسبة لهذه المشكلة، من خلال الدراسات العلمية واستثمار التكنولوجيا المعاصرة لصناعة الطاقة المتجددة المتاحة، علماً بأن الجمهورية اليمنية لا تمتلك احتياطياً كبيراً من مصادر الطاقة الناضبة (٤ مليار برميل)، لذا ستحاول هذه الدراسة الإجابة على التساؤلات الآتية:-

(١) موسى، علي، أساسيات علم المناخ، دار الفكر المعاصر، لبنان، ١٩٩٤م. ص ٢٠.
(٢) محمد، عبد القادر عساج ، مناخ اليمن- دراسة في الجغرافية المناخية، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ١٩٩٦م. ص ٤٨ و ٥١.
(٣) فلاتين، كريستوفر، طاقة الرياح نقطة تحول ، ترجمة سيد رمضان هدار ، الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية، القاهرة، ١٩٩٣م. ص ١٢٣.

- ١ - ما تأثير العوامل الجغرافية المؤثرة على إنتاج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ؟
- ٢ - ما هي المناطق الملائمة والمفضلة لإنتاج الطاقة من الشمس والرياح ؟
- ٣ - ما أسباب تباين التوزيع الجغرافي لمناطق مصادر الطاقة الشمسية و الريحية في الجمهورية اليمنية ؟
- ٤ - ما حجم الطاقة الكهربائية الممكن توليدها باستغلال الشمس والرياح؟

ثانياً: أهمية الدراسة:-

تكمن أهمية هذه الدراسة من أهمية الطاقة الكهربائية التي تؤدي الدور الأهم في التطور الاقتصادي والاجتماعي باعتبارها أحد أهم عناصر البنية التحتية، فهي من أهم المستلزمات للقطاعات الاقتصادية المختلفة وركيزة أساسية من ركائز التطور الاجتماعي وارتفاع مستوى الحياة، فعلاقة الطاقة الكهربائية بالقطاعات الاقتصادية المختلفة وبالحياة العامة هي علاقة تكاملية مترابطة، فهي تتأثر بمستويات التطور في المجالات المختلفة، كما تؤثر إيجابياً في حال وفرتها، وسلبياً في حال نقصانها أو تدني مواصفاتها، وعليه فإن التنمية الاقتصادية المنشودة ينبغي أن يواكبها أو يسبقها تنمية للطاقة الكهربائية، بحيث يلبي الطلب على الطاقة الكهربائية وتطوره كمّاً ونوعاً لكافة القطاعات الاقتصادية والاجتماعية، وإن إغفال تنمية قطاع الكهرباء لا تتناسب مع التطورات المرتقبة للقطاعات الأخرى، ونتيجة لكون الجمهورية اليمنية تشهد عجزاً فيها لكونها تعتمد في التوليد على الوقود الأحفوري (النفط والغاز) المحدود لذلك ينبغي البحث عن مصادر توليد طاقة متاحة وخصوصاً مصادر الطاقة المتجددة كالإشعاع الشمسي والرياح لتكون بديلاً للطاقة التقليدية وتساهم في تلبية حاجة الجمهورية اليمنية من الطاقة ولاسيما في الأقاليم التي تتوفر فيها مقومات إنشاء محطات للطاقة الشمسية أو الريحية.

ثالثاً: مبررات إجراء الدراسة:-

- ١ - ندرة الدراسات في جغرافية الطاقة المتجددة في الجمهورية اليمنية حتى الوقت الحاضر أو عدم وجودها بحسب علم الباحث .

- ٢- افتقار المكتبة العربية لمثل هذه الدراسات وانعدامها في المكتبة اليمنية .
- ٣- المساهمة في إيجاد الحلول لمشكلة ندرة الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية.

رابعاً: أهداف الدراسة:- هدف الدراسة لتحقيق ما يأتي:

- ١- تحديد المقومات الجغرافية لتوليد الطاقة الشمسية و الريحية في الجمهورية اليمنية.
- ٢- المساهمة في البحث العلمي الهادف لحل مشكلة الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية باقتراح الحلول والمعالجات اللازمة لذلك.
- ٣- المقارنة بين إنتاج الطاقة الشمسية وطاقة الرياح للتوصل إلى أفضل نوع يمكن استخدامه.
- ٤- إعداد خريطة لتوزيع الإشعاع الشمسي والرياح في الجمهورية اليمنية وإسقاط محطات التوليد عليها، وتحديد الأقاليم المرشحة لتوليد الطاقة من المصادر المتجددة.

خامساً: فرضيات الدراسة:-

هي عبارة عن حدس أو تخمين الإجابات الأولية لمشكلة الدراسة، ولتحقيق ذلك فقد وضعت الفرضيات الآتية:-

- ١- تؤثر العوامل الجغرافية ايجابية على الطاقة المتجددة في الجمهورية اليمنية.
- ٢- إمكانية توليد الطاقة الشمسية في المناطق الصحراوية أكثر جدوى اقتصادية من المناطق الأخرى وذلك بسبب الجفاف الذي ينتج عنه صفاء السماء.
- ٣- إمكانية توليد الطاقة الريحية في المناطق الساحلية أكثر جدوى اقتصادية من المناطق الأخرى وذلك بتأثير نسيم البر والبحر.
- ٤- تمتاز الجمهورية اليمنية بكونها من أفضل المناطق في العالم لإمكانية توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية، لوقوعها ضمن منطقة الحزام الشمسي الذي يحظى بأعلى كمية إشعاع شمسي.

سادساً: المنهج العلمي المتبع في الدراسة:-

تم إتباع المنهج التاريخي في دراسة تطور الطاقة في الجمهورية اليمنية (النفط والغاز والكهرباء) والمنهج الوصفي التحليلي في دراسة بيانات الإشعاع الشمسي وحركة الرياح وتحليل العوامل الجغرافية المؤثرة فيهما والتوزيعات الجغرافية لكلا العنصرين ومدى إمكانية مساهمتهما في توليد الطاقة من إجمالي الطاقة الكهربائية التي تحتاجها الجمهورية اليمنية، والاستفادة من استخدام الأساليب الإحصائية الكمية والتحليلات الكارتوجرافية للجداول الإحصائية والخرائط والأشكال البيانية.

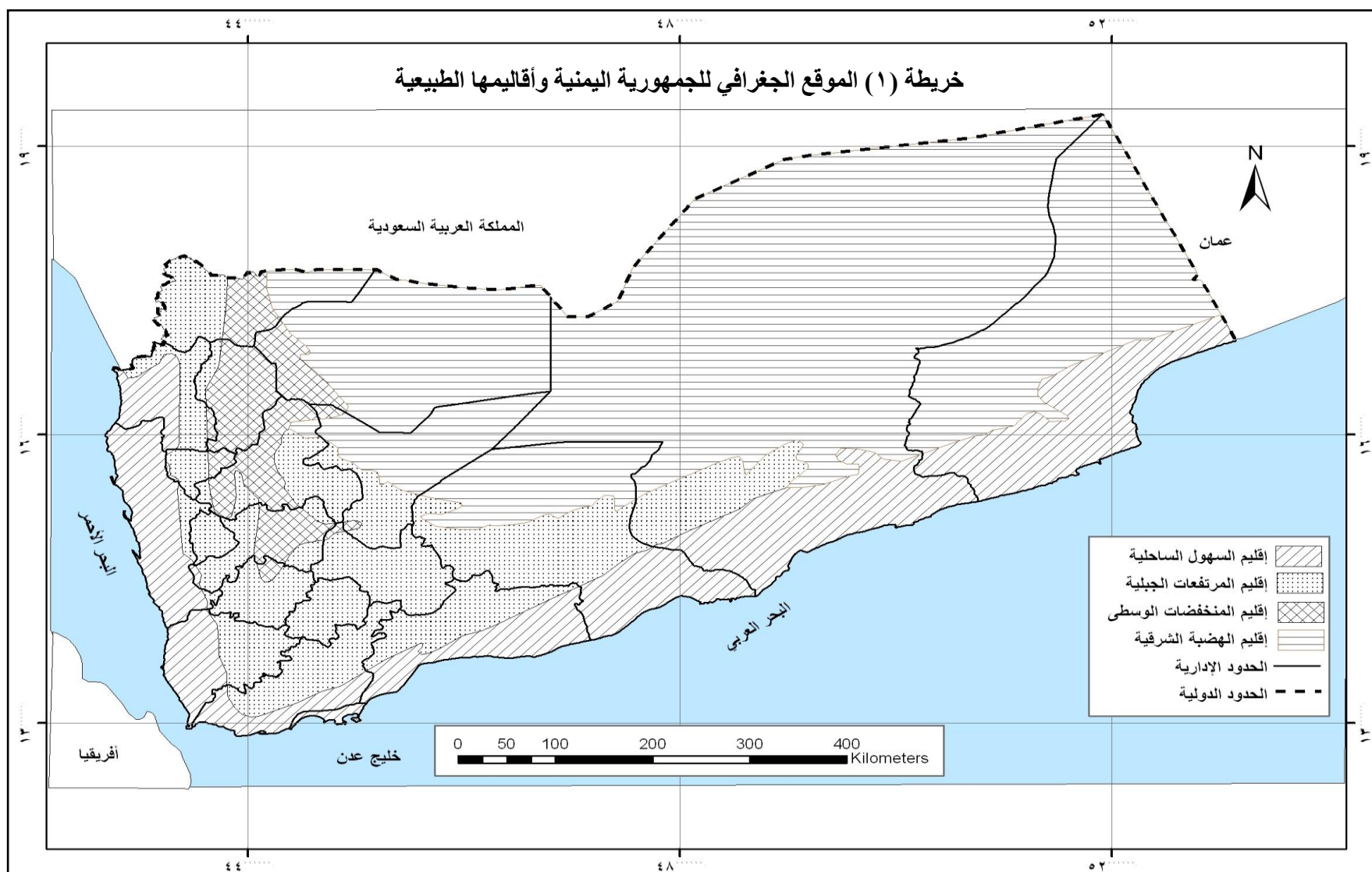
سابعاً: حدود الدراسة:-

تشمل منطقة الدراسة كامل مساحة الجمهورية اليمنية والتي تحتل الركن الجنوبي الغربي من شبه الجزيرة العربية، وتقع بين درجتي عرض ١٢° و ١٩.٥° شمالاً، وبين خطي طول ٤١° و ٥٤° شرقاً الخريطة (١)، والتي تبلغ مساحتها ٥٢٧ ألف كيلو متر مربع^(١) وتتبعها العديد من الجزر في البحر العربي و البحر الأحمر، وكون الجمهورية اليمنية متنوعة الأقاليم الطبيعية فهذا بدوره يؤثر على كمية الطاقة الشمسية وحركة الرياح من حيث السرعة والاتجاه، وعليه فقد شملت الدراسة ١١ محطة مناخية.

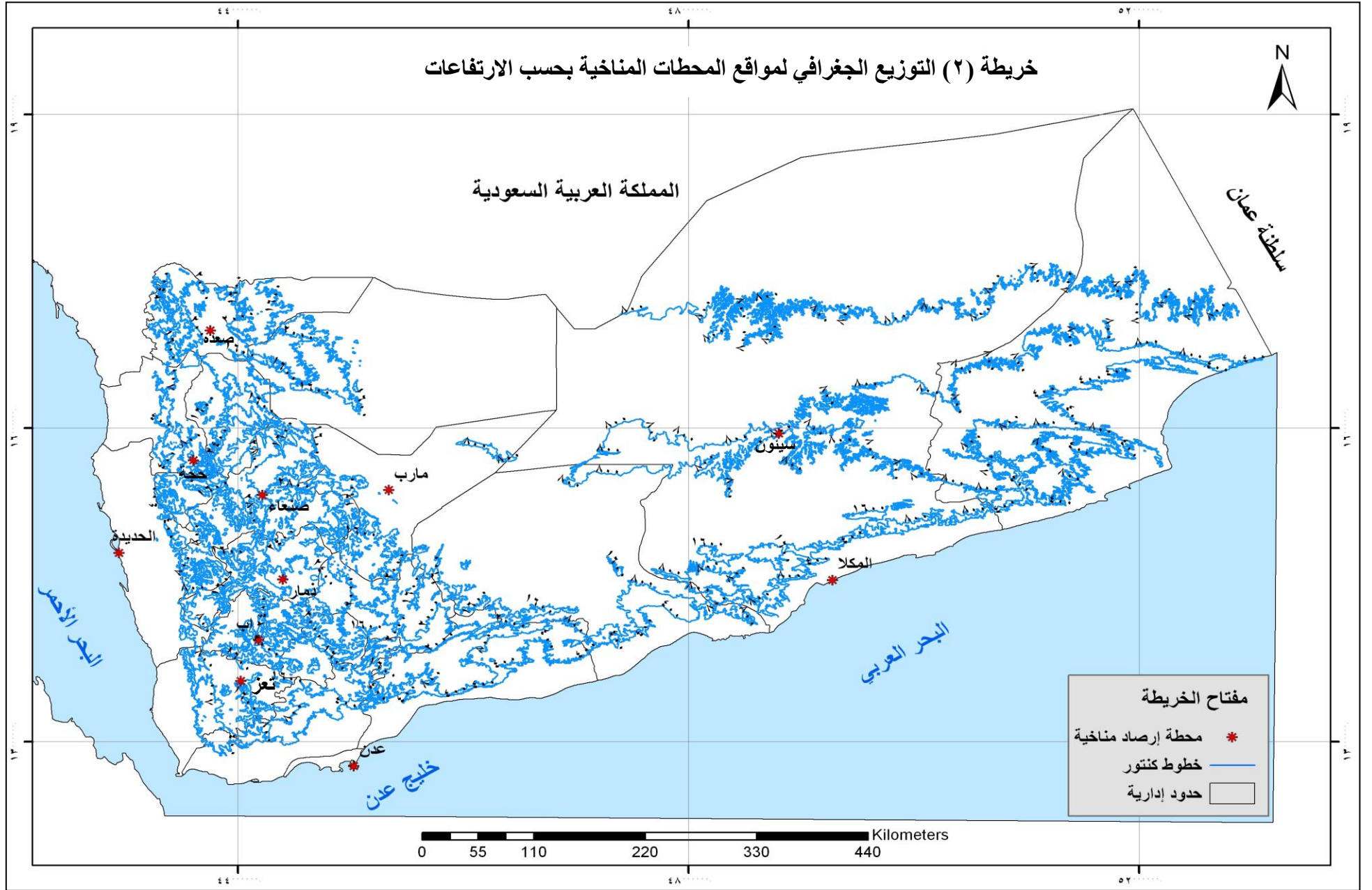
وقد تم اختيار المحطات الواردة في الخريطة (٢) لسببين هما:

- ١- توفر البيانات الخاصة بهذه المحطات بشكل كامل لسنوات الدراسة.
- ٢- أنها موزعة على الأقاليم الأربعة للجمهورية اليمنية (خريطة ٢).

^(١) وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجمهورية اليمنية ١٥ عام من البناء والتطوير (١٩٩٠ - ٢٠٠٥ م)، مطابع دائرة التوجيه المعنوي، صنعاء، ٢٠٠٥ م. ص ١٩.



المصدر: الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، قسم نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ذمار، ٢٠١٠م.



المصدر: الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة ، قسم نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ذمار، ٢٠١٠م .

ثامناً: الدراسات السابقة:-

أهتم عدد من الباحثين بدراسة الطاقة على المستوى العربي والعالمي إلا أن الدراسات اليمنية بهذا الموضوع نادرة وإن وجدت بعض الأبحاث والدراسات فإن معظمها في الفروع العلمية غير الجغرافية، ومن خلال البحث المكتبي أمكن التوصل إلى العديد من تلك الدراسات والتي تناولت الطاقة بشكل عام والمتجددة بشكل خاص، مثل دراسة طاقة الرياح في مصر، والطاقة الشمسية في سوريا، فضلاً عن وجود العديد من الدراسات التي تناولت عنصري الإشعاع الشمسي والرياح ضمن دراسات مناخية شاملة، أو ضمن دراسة علاقة المناخ بظواهر جغرافية مختلفة، وما أطلع عليه الباحث من دراسات يمكن الاستفادة منها في هذه الرسالة وستشكل مراجع جيدة لها وفي ما يأتي عرض موجز لأهم هذه الدراسات :

١- الكتب المنشورة في مجال الطاقة ومنها:

- أ- **تكنولوجيا الطاقة البديلة**، للدكتور سعود يوسف عياش، وقد تحدث في هذا الكتاب عن نشأة استخدام الطاقة ثم تكلم عن أنواع الطاقة المتجددة كالطاقة المائية والريحية وطاقة الحرارة الجوفية والطاقة الشمسية وطاقة البحار والمحيطات مع ذكر خصائصها ومراحل تطور كل نوع.
- ب- **الطاقة ضرورة حياتية**، تأليف بيارماتيه، ومارتين كاسيت-كاري، وترجمة سهيل عماشي، وجاء في هذا الكتاب توضيح مفاهيم الطاقة منذ بداية استخدامها بدءاً من استخدام الإنسان لعضلاته ثم طاقة العبيد والحيوان حتى استخدام المصادر الناضبة والمتجددة مع تناول تطورها التاريخي.
- ج- **الطاقة المتجددة**، للدكتورين علي الشكيل ومحمد رمضان، وجاء في هذا الكتاب توضيح أنواع الطاقة المختلفة وخصوصاً أنواع الطاقة المتجددة وتوضيح مكانة الوطن العربي من حيث احتوائه على مقومات هذه الطاقات المتجددة.
- د- **الطاقة البديلة ومنظومة الأمن القومي لدولة الكويت ودول الخليج العربي: دراسة تحليلية تقويمية**، للدكتور زين الدين عبد المقصود غنيمي، وجاء في هذا الكتاب توضيح

أنواع الطاقة المتجددة ومميزاتها لتظهر مدى الفرق بين هذه الأنواع من حيث كمية الطاقة الناتجة لنفس الكمية من المادة وتوضيح دورها البارز في الأمن القومي لدول الخليج.

هـ- الطاقة وتلوث البيئة، للدكتور عبد علي الخفاف، وتحدث هذا الكتاب الاستخدام التاريخي للطاقة، وما ينجم عن هذا التطور من تلوث بيئي، ثم تناول بعض أنواع الطاقة النظيفة والمتجددة كالطاقة الشمسية والريحية والمائية.

و- آلاف السنين من الطاقة، تأليف فلاديمير كارتسيف وبيوتر خازانوفسكي، وترجمة محمد غياث الزيات، وتحدث الكتاب عن تعرف الإنسان على الطاقة منذ القدم، وبداية استخدامه لطاقته العضلية ثم انتقاله إلى استخدام طاقة العبيد ثم استخدامه لطاقة الحيوان وتوصله إلى استخدام طاقة الرياح لدفع القوارب والسفن الشراعية التي أدت لكشف مناطق جديدة من العالم ثم تطوره إلى استخدام طاقة البخار والطاقة الكهربائية ثم الطاقة النووية.

٢- الدراسات الإقليمية عن الطاقة:

أ- الطاقة الشمسية في العراق، للدكتور عبد العزيز محمد حبيب العبادي، بحث منشور في مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، وتناولت الدراسة أهمية إحلال الطاقة الشمسية محل الطاقة الأحفورية، وكذلك تناولت مدى توفر الطاقة الشمسية في العراق وتوزيعها الجغرافي والعوامل المؤثرة في هذا التوزيع، وتوصلت الدراسة إلى أنه كلما ازداد سطوع الشمس ساعة واحدة ازداد عدد الساعات الواصلة إلى المحطات بمقدار ٣٣.٦ ساعة لكل سنتيمتر مربع في اليوم، وكذلك كلما ازداد صفاء السماء بمقدار يوم واحد ازداد عدد الساعات الواصلة إلى المحطات بمقدار ٤٢.٧٥ ساعته لكل سنتيمتر مربع في اليوم .

ب- الطاقة الشمسية ومدى وفرتها في سوريا، للدكتور أمين طربوش، بحث منشور في المجلة الجغرافية السورية، تناولت الدراسة ضرورة الاهتمام بتأمين الطاقة للمستقبل من خلال الطاقة الشمسية لان الطاقة الأحفورية في طريقها إلى النفاذ ، ثم تناولت الدراسة العوامل المؤثرة على الطاقة الشمسية، وباستخدام المعادلة الرياضية استخرجت كمية الإشعاع الشهرية واتضح أن شهر يوليو اشد الأشهر إشعاعاً، حيث

وصلت الكمية إلى ٢٢ كيلو سعره /سم^٢، ثم ظهرت مدى الاختلاف بين كمية الطاقة الشمسية الواصلة إلى المحطات الذي يرجع إلى اختلاف موقع المحطات بالنسبة لدوائر العرض، وأخيرا أنتجت خارطية لسوريا موضح عليها كمية الإشعاع الشمسي السنوية كيلو سعر/سم^٢ .

ج- **طاقة الرياح في مصر دراسة في المناخ التطبيقي**، للدكتور إيملي محمد حلمي حمادة، بحث منشور في المجلة الجغرافية العربية، وتناولت الدراسة مشكلة الطاقة الإحفورية المهددة بالنضوب ودراسة جدوى قوة الرياح في توليد الطاقة وفق المعطيات الجغرافية لأقاليم مصر، وتوصلت الدراسة إلى نتائج تؤكد الإمكانات الواعدة لطاقة الرياح في الساحل الشرقي والشمالي وصعيد مصر.

د- **التباين المكاني والزمني لسرعة الرياح في الأردن**، للدكتور علي أحمد غانم، بحث منشور في مجلة العلوم الاجتماعية، وتناولت الدراسة حركة الرياح اليومية والشهرية والفصلية والسنوية كونها القاعدة الأساسية لإنتاج الطاقة الريحية، وعليه توصلت إلى أن إنتاج الطاقة من الرياح ممكن في بعض الأماكن (وتميزت بأن أفضل المناطق سرعة للرياح تقع في المدن الرئيسية أو القريبة منها، عمّان، أربد، المفرق، ومعان)، وأن أفضل الأوقات لإنتاج الطاقة في معظم الأماكن أثناء النهار والصيف.

المبحث الثاني: الإطار النظري

أولاً: مفهوم الطاقة وأقسامها ومصادرها:

١ - مفهوم الطاقة: يقصد بالطاقة بصفة عامة أي مصدر من مصادر الحركة (الشغل) المؤدية إلى تحريك وتشغيل الآلات والمعدات والأجهزة العلمية والمنزلية فضلاً عن أعمال الإنارة^(١) ويرتبط المفهوم العلمي للطاقة بأنه القدرة على إنجاز شغل ما^(٢)، فأياً كان العمل فكرياً أو عضلياً يتطلب لإنجازه كمية ملائمة من الطاقة، وتطورت مصادر الطاقة مع تطور وسائل العمل التي ابتكرها الإنسان لسد احتياجاته المختلفة (المادية والمعنوية) على مدى تاريخه الطويل.

أما مفهوم الطاقة لغة: إن كلمة طاقة تقابلها في الانجليزية Energy تعود إلى أصل يوناني وهي كلمة Energos التي تتكون من مقطعين هما En وتعني في و Ergos وتعني شغل، وبذلك يصبح المعنى التركيبي لها القدرة على أداء عمل، وأما معناها الفيزيائي فهي: الوجود في حالة التغير والتغيير وهي المادة ذاتها في حالة الحركة والانتقال بغض النظر عن سرعة هذه الحركة وسرعة هذا التحول والانتقال^(٣).

وقد أجمع الباحثون على أن الطاقة هي كل ما يمدنا بالنور ويعطينا الدفء وينقلنا من مكان إلى آخر، ويتيح استخراج طعامنا من الأرض وتحضيره ويضع الماء بين أيدينا ويدير عجلة الآلات التي نخدمنا.

٢ - أنواع الطاقة: تنقسم الطاقة من حيث الاستمرارية^(*) إلى قسمين هما:

(١) غنيمي، زين الدين عبد المقصود، الطاقة البديلة ومنظومة الأمن القومي لدولة الكويت ودول الخليج العربي: دراسة تحليلية تقويمية، مركز البحوث والدراسات الكويتية، ٢٠٠٨م. ص ٢٢.

(٢) قدوره، ليلي، مدخل إلى العلوم الطبيعية، دار حامد للنشر والتوزيع، عمان، ٢٠٠٤م. ص ٧٠.

(٣) بدران، إبراهيم، وشاكر مقبل، وعبد القادر عابد، الطاقة أنواعها ومصادرها، دار الفرقان للنشر والتوزيع، الأردن. ص ٦٦ و ٦٧.

(*) هنالك عدة تقسيمات للطاقة غير المذكور أعلاه، منها التقسيم من المنظور البيئي إلى مجموعتين: الأولى ملوثة للبيئة وتتمثل أساساً في كل مصادر الطاقة الإحفورية، والتوسع في استخدامها غير مرغوب فيه لما يحدثه من ضرر بالبيئة مثل الاحتباس الحراري والأمطار الحمضية والثانية غير ملوثة للبيئة وتتمثل في كل مصادر الطاقة المتجددة، فهي الطاقة الآمنة بيئياً، والتي لا ينتج عنها ملوثات ضارة والتوسع فيها على حساب الطاقة الملوثة أمر مرغوب فيه لصالح البيئة والبشرية. وهناك التقسيم من الناحية الاستغلالية وهي كذلك مجموعتين: الأولى المستغلة: وتتمثل في الوقود الأحفوري والطاقة المائية والطاقة الحيوية، وأسهمت هذه المجموعة عام ٢٠٠٠م بـ ٩٩.٥% من الطاقة المستغلة عالمياً، والمجموعة الثانية غير المستغلة أو المستغلة على نطاق محدود رغم توفرها في البيئة بكميات هائلة وتتمثل في الطاقة الشمسية والرياح حرارة باطن الأرض، وتبلغ حصة هذه المصادر ٠.٥%، وبذلك يمكن القول أن هذه المصادر ما زالت بكرة، لمزيد من التفاصيل راجع زين الدين عبد المقصود غنيمي، مصدر سابق، ص ٢٥ - ٢٦.

أ- الطاقة غير المتجددة (المؤقتة أو الناضبة):

هي الطاقة الموجودة في البيئة الجيولوجية بكميات محدودة سواء كانت كميات كبيرة أو صغيرة تكونت عبر ملايين السنين، ومن ثم فإن تصاعد عمليات الاستخراج لمواكبة زيادة الطلب على الطاقة الناتج عن تزايد عدد السكان وتطور نشاطهم الاقتصادي والاجتماعي يقلل من هذه الكمية مما يصعب تعويضه لذلك فإن هذه الطاقة معرضة للنضوب خلال فترة زمنية معينة، وتتمثل مصادرها في الفحم والنفط والغاز الطبيعي، فضلاً عن الطاقة النووية التي تعتمد على خام اليورانيوم بشكل أساسي الذي يتم تخصيصه واستخدامه لإنتاج الطاقة الكهربائية^(١).

ويعد الوقود الأحفوري المصدر الأول للطاقة في أغلب مجالات التنمية حالياً، حيث أن الطاقة الأحفورية قد ساهمت بشكل أساسي في النهضة الصناعية لكثير من الدول التي حققت التنمية الشاملة ورفاهية شعوبها^(٢).

وسيتم الإشارة بشكل موجز إلى أنواع الطاقة المتجددة.

ب - الطاقة المتجددة :

هي عبارة عن طاقة تتجدد طبيعياً بصورة تلقائية سواء كانت محدودة أو غير محدودة، وتتميز مصادر الطاقة المتجددة بقابلية استغلالها المستمر دون أن يؤدي ذلك إلى استنفاد منابعها، فنحصل عليها من خلال تيارات الطاقة التي يتكرر وجودها في الطبيعة على نحو تلقائي ودوري، كذلك يمكن أن نعني بالطاقة المتجددة الكهرباء التي يتم توليدها من الشمس والرياح والكتلة الحيوية والحرارة الجوفية والمائية^(٣)، وهي نظيفة لا ينتج عن استخدامها تلوث بيئي كبير ومن أهم مزاياها ما يأتي^(٤) :

- تعتبر طاقة محلية وطبيعية متيسرة لكافة الأفراد والشعوب والدول بشكل وفير وبخاصة في المناطق الأقل حظاً من ناحية التطور الحضاري.

(١) غينمي، زين الدين عبد المقصود، مصدر سابق، ص ٢٣.

(٢) النيش، نجاه، الطاقة والبيئة والتنمية المستدامة: آفاق ومستجدات، المعهد العربي للتخطيط، الكويت، ٢٠٠١م. ص ١.

(٣) طالبي، محمد، ومحمد ساحل، أهمية الطاقة المتجددة في حماية البيئة لأجل التنمية المستدامة، مجلة الباحث، العدد ٦، ٢٠٠٨م. ص ٢٠٣.

(٤) النقرش، عبد المطلب، الطاقة- مفاهيمها، أنواعها، مصادرها، وزارة الطاقة والثروة المعدنية، المملكة الأردنية الهاشمية، ٢٠٠٥م. ص ١٣.

- تعتبر نظيفة من الناحية البيئية ولا تتسبب في إصدار غازات تضر بطبقة الأوزون أو تؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة الأرض كغاز ثاني أكسيد الكربون
- تناسب الإمكانيات البشرية والتكنولوجية والاقتصادية لدى الدول النامية .
- لا مركزية وبالتالي تمنح لمستخدميها استقلالية خاصة عن الشبكة المركزية لتوزيع الطاقة.
- ضمان استمرار توافرها وبأسعار مناسبة.

وتقسم الطاقة المتجددة إلى الآتي:

١ - الطاقة الشمسية :

وتعتبر الشمس^(*) المصدر الرئيسي للطاقة المتجددة، وتبذل الدول جهودا كبيرة عن طريق البحوث العلمية لتطوير الطرق الخاصة باستغلالها كطاقة بديلة للوقود الأحفوري، ولذلك توفر الدول المتقدمة التقنيات الشمسية التي تنتج الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي مباشرة عن طريق الأنظمة الفوتوفولطية، وأنظمة تسخين المياه التي تسخن الماء للمساح والبنائيات، وأنظمة تدفئة مركزية شمسية التي تزود البنائيات بالحرارة^(١)، أما من حيث إجمالي الطاقات الفوتوفولطية المركبة في العالم استنادا إلى إحصاءات وكالة الطاقة الدولية فقد بلغت ٧٨٤١ ميغا واط في نهاية عام ٢٠٠٧ مقارنة مع ٥٥٨٤ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٦م، وقد تصدرت ألمانيا قائمة البلدان المستخدمة للخلايا الفوتوفولطية، حيث بلغ إجمالي الطاقات المركبة لديها في عام ٢٠٠٧ حوالي ٣٨٦٢ ميغا واط مقارنة مع ٢٧٢٧ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٦م، واحتلت اليابان المرتبة الثانية بطاقة مركبة إجمالية وصلت إلى ١٩١٨.٩ ميغا واط في عام ٢٠٠٧ مقارنة مع ١٧٠٨.٥ ميغا واط في عام ٢٠٠٦م، وجاءت الولايات المتحدة الأميركية في المرتبة الثالثة بطاقة تصل إلى ٨٣٠.٥ ميغا واط في عام ٢٠٠٧م مقارنة مع ٦٢٤ ميغا واط في عام ٢٠٠٦^(٢)، وعلى الرغم من المزايا التي تمتلكها الجمهورية اليمنية في هذا الجانب إلا أن هذا المصدر لم يستغل حتى اليوم .

(*) تبعد الشمس عنا ١٥٠ مليون كم، ويبلغ قطرها ١.٤ مليون كم، بينما قطر الأرض هو ١٢٨٠٠ كم، أما كتلة الشمس فتوازي ٣٣٠ ألف مرة كتلة الأرض، ويبلغ حجم الشمس مليون مرة حجم الأرض، وكثافتها ثلث كثافة الأرض، لمزيد من المعلومات أنظر محمد، مصطفى نبيل، مصدر سبق ذكره، ص ٧٨-٨١.

(١) الموقع الإلكتروني www.michigan.gov تاريخ التصفح ٢٥/١٠/٢٠٠٩م.

(٢) منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول، تقرير الأمين العام الخامس والثلاثين، الكويت، ٢٠٠٨م. ص ١١٠.

٢ - طاقة الرياح:

ويقصد بها القدرة التي تمتلكها الرياح والتي تمكنها من تحريك الأشياء، أي هي الطاقة الحركية (الميكانيكية) التي يمتلكها الهواء نتيجة الحركة.

وتعتبر طاقة الرياح من أكثر المصادر ملائمة وأقلها كلفة(*) لإنتاج الطاقة الكهربائية والطاقة اللازمة لضخ المياه من قنوات المياه إلى الحقول الزراعية، و قدر المختصون أن ٢% من الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض تتحول إلى طاقة رياح، وإن استغلال طاقة الرياح مرتبط كلياً بسرعتها والذي يلعب دوراً في زيادتها^(١).

وقد تم إنشاء أكبر مجمع في العالم لتوربينات الرياح في بحر الشمال بهورنز ريف، وهو يبعد عن ساحل الدانمارك بنحو ١٤ كم، ويتميز المجمع بسرعة الرياح في البحر وتوفر مساحات شاسعة من الأرض كان من الممكن أن يشغلها الثمانون توربين التي يشملها المجمع، وبعد هذا المكان عن المناطق المأهولة بالسكان مما يجنبهم إزعاج أصوات التوربينات عند دورانها، وفي عام ٢٠٠٢م وفرت هذه التوربينات الطاقة لـ ١٥٠.٠٠٠ منزل، وبذلك تلبى ٤% من استهلاك الكهرباء في الدانمارك^(٢).

وتؤثر في كمية طاقة الرياح أمور الحجم وأطوال الشفرات التوربينية فإنه بقدر ما يمكن أن يستمد التوربين طاقة من الريح بقدر ما يمكن أن يولد الكهرباء وبشكل عام فإن مضاعفة قطر الدوّار ينتج أربعة أضعاف زيادة في ناتج الطاقة، انتشر استخدام طاقة الرياح في العديد من بلدان العالم وإن تركزت أكبر هذه المعدلات في بعض البلدان الأوروبية، فالدنمرك تحصل علي حوالي ١٥% من طاقتها الكهربائية من توربينات الرياح ، وفي مقاطعة بامبيلونا/أسبانيا تمثل نسبة القدرات المركبة من مزارع الرياح المرتبطة بالشبكة ٥٠% من إجمالي القدرات اللازمة للمقاطعة، علماً بأن إجمالي القدرات العالمية من التوربينات قد بلغت ٩٣٨٨١ ميجاوات مطلع عام ٢٠٠٨، أي بزيادة مقدارها ٢٥% عما كانت عام ٢٠٠٦م، وقد أدت الزيادة العالمية في نمو تركيبات توربينات الرياح إلى تشجيع مصانع الإنتاج إلى حد توقيع عقود تنص علي بدء توريد التوربينات بعد عامين علي الأقل من تاريخ

(*) وذلك لكونها تعتمد على مواد خام موجودة بكثرة في كثير من الدول، كما أن تصنيعها أقل تعقيداً من الألواح الشمسية، وأكبر دليل على ذلك أن جمهورية مصر أصبحت تصنع أكثر من ٨٠% من مكونات هذه التوربينات.

(١) الخفاف، عبد علي، وثعبان كاضم خضير، مصدر سابق، ص ٩٥-٩٦.

(٢) ديفيد، جيفرس، الطاقة النظيفة، ترجمة دار الفاروق للاستثمارات الثقافية، دار الفاروق للاستثمارات الثقافية، مصر، ٢٠٠٨م. ص ١٥.

التوقع، في حين أنها لم تكن تستغرق في الماضي سوى شهور معدودة، هذا علي الرغم من ارتفاع أسعار التوربينات بنحو ٣٥ % كنتيجة لزيادة الطلب عليها وأيضا للزيادة العالمية في أسعار المواد الخام والتي انعكست بطبيعة الحال علي أسعار التوربينات الحرارية.

٣- طاقة باطن الأرض :

وهي الحرارة الطبيعية الموجودة في باطن الأرض، وتخرج إلى السطح عندما تصل المياه الجوفية إلى عمق معين، بحيث تحبس في مناطق الصخور الساخنة التي ترفع درجة حرارتها إلى ٤٠٠° مئوية في بعض المناطق، فتصعد إلى السطح على شكل بخار عالي الضغط ، وإذا تم حفر بئر في المكان المناسب يتم الاستفادة منها في توليد الكهرباء هذا^(١) من ناحية، أما من الناحية الأخرى فهي تخفف من الضغط الحاصل في باطن الأرض، وعليه يمكن أن تقلل حدوث البراكين.

وأحيانا لا تكون الحرارة في باطن الأرض عالية بالدرجة الكافية لتحويل المياه الجوفية إلى بخار عالي الضغط يكفي لتوليد الكهرباء، وإنما لمياه ساخنة فقط ، وبالرغم من ذلك يمكن استخدامها مباشرة في تدفئة المنازل وبعض العمليات الصناعية والزراعة المحمية، وما يثبت أن طاقة حرارة الأرض متجددة هو أن المحطة الكهربائية التي تم بنائها في إيطاليا عام ١٩١٣م قرب حقول لارديريللو لا زالت تعمل باستخدام طاقة الحرارة الأرضية، وكذلك المحطة التي بنيت قرب حقول ويراكي في نيوزلندا عام ١٩٥٨م، وأيضا المحطة قرب حقول جيسرز في كاليفورنيا عام ١٩٦٠م، ولكن قد يحدث أن يقل الضغط والإنتاج قليلا، ومع ذلك يتم التخلص من هذه المشكلة عن طريق حقن الماء لهذه الآبار للمحافظة على الضغط^(٢) وقد بدأت بعض الدول تستفيد من هذه الطاقة وبلغ حجم الطاقة المستغلة عام ١٩٧٠ بما يعادل ٥ مليون طن من الفحم، ويتم معظمها في إيطاليا ونيوزلندا والولايات المتحدة ويبلغ حجم الطاقة التي يمكن أن تتولد في الولايات المتحدة في ظل تكنولوجيا

(١) ديفيد، جيفرس ، مصدر سابق، ص١٨.
(٢) عبيد، هاني، مصدر سابق، ص٢١٨-٢١٩.

السبعينات بـ ٣٥٠ مليون طن من الفحم، فمشروع جيسرز الذي نفذ في كاليفورنيا يعطي طاقة تبلغ ١٢٠ مليون طن من الفحم^(١).

ويوجد في الولايات المتحدة عام ٢٠٠٠م ما يزيد عن ٣٥٠٠٠٠ نظام يعمل بواسطة المضخة الحرارية، وهذا يعادل ٣٦٠٠ ميغاوات حراري، أما بالنسبة لإنتاج الطاقة الكهربائية فهناك ثلاث تكنولوجيات معتمدة حسب حالة السائل (بخار أو ماء) وحسب حرارته^(*)، وتقدر الاستطاعة التوليدية المركبة للمحطات التي تستخدم طاقة حرارة الأرض الجوفية في الولايات المتحدة بـ ٢٧٠٠ ميغاوات وهذا يعادل ٥٨ مليون برميل من النفط، وتكفي لتلبية ٣.٧ مليون شخص من الطاقة الكهربائية، وإن تكلفة إنتاج الكيلو وات ساعة من هذه الطاقة تتراوح بين ٤ - ٨ سنتات أمريكية وتبذل جهود لجعل هذه الكلفة ٣ سنتات، ويقدر إنتاج الكهرباء في مثل هذه المحطات في العالم بـ ٤٤ بليون كيلو وات ساعة، وتتمو القدرة التوليدية بمعدل ٩% سنوياً^(٢).

٤ - طاقة الكتلة الحيوية :

تستخرج هذه الطاقة من بقايا النباتات ومخلفات الحيوان عن طريق إحراقها، وأحياناً يتم تحويلها إلى غاز أو وقود سائل، ويعتبر الخشب أقدم مصدر للطاقة المتجددة، وهو نوع من أنواع الوقود الحيوي^(٣)، ويمكن استعمال العديد من المواد الحيوية للإنتاج الطاقة من خلال الحرق، مثل مخلفات الحيوانات والتي تستخدم في التدفئة وتحضير الطعام، كما يستخدم قصب السكر في إنتاج غاز الإيثانول ، وتعتبر البرازيل من الدول ذات الصدارة في استخدام هذا المصدر وذلك لارتفاع تكاليف استيراد النفط ، لذلك عمدت إلى تخصيص ٢% من أراضيها لزراعته، وفي عام ٢٠٠٢م استخدمت وسائل النقل هذا الغاز كوقود وغطى ثلث السيارات في البرازيل البالغ عددها ١٠ مليون سيارة، أما التخمر فهو عملية تحليل الكتلة الحيوية باستخدام بكتريا لا هوائية لتكوين مزيج من الميثان وثاني أكسيد الكربون، ويمكن استخدام هذا الغاز في توليد الكهرباء أو معالجته ونقله في شبكات الغاز المستخدم في

(١) عبد المقصود، زين الدين، أبحاث في مشاكل البيئة، منشأة المعارف بالإسكندرية، (بدون تاريخ)، ص ١٦٥ - ١٦٦.

(*) لمزيد من التفاصيل راجع هاني عبيد، مصدر سابق، ص ٢١٦-٢١٧.

(٢) عبيد، هاني، مصدر سابق، ص ٢١٨.

(٣) ديفيد، جيفرس ، مصدر سابق، ص ٢٠.

المنازل، وتستخدم عملية التخمير اللاهوائية لمعالجة الفضلات في المدن، حيث أن الطن الواحد من الفضلات المحلية يعطي ١٠ ملايين وحدة حرارية، أما إنتاج المواد السائلة فيتم عن طريق التحويل البيولوجي باستخدام مواد سكرية دقيقة وينتج عنها ايثانول، وكذلك يمكن استخدام طريقة الاستخلاص عن طريق ضغط الحبوب المحتوية على زيوت^(١)، وتتميز هذه الطاقة بالآتي^(٢):

أ- الاستفادة من المكونات العضوية في إنتاج الغازات البيولوجية.

ب- استغلال النفايات العضوية بعد الاستفادة منها في إنتاج الغازات وفي إنتاج الأسمدة العضوية المطلوبة في التنمية الزراعية.

ج- التخلص من مشكلة التلوث البيئي بالروائح الكريهة وتلوث المياه الجوفية، بالإضافة إلى تفادي حدوث أي انفجار في مكبات القمامة.

د- التخلص من مشكلة البحث المستمر عن أماكن جديدة لدفن النفايات التي تزداد بصورة مطردة مع تزايد النمو السكاني.

٥- طاقة مياه البحار والمحيطات :-

تغطي المحيطات ٧١% من سطح الأرض، وتحتوي على طاقة يمكن الاستفادة منها وتحويلها إلى طاقة كهربائية، وهناك ثلاثة مصادر يمكن الاستفادة منها في توليد الكهرباء وهي طاقة المد والجزر، وطاقة الأمواج والتيارات، وطاقة فرق درجات الحرارة، وتعتبر طاقة المد والجزر أقدم ما عرفه واستخدمه الإنسان من طاقة المحيطات، وهناك شواهد تدل على وجود طواحين المد والجزر قبل عام ١١٠٠ م على سواحل فرنسا وإسبانيا وبريطانيا، وينتج المد والجزر بسبب الجاذبية بين الشمس والقمر والأرض المتحركة، ويوجد بدرجات مختلفة على السواحل، ويبلغ مدى المد والجزر داخل المحيطات متراً، ويزيد ليبلغ أحياناً ١٢ متراً عند السواحل، ويمكن الاستفادة من هذا المد والجزر لتوليد الكهرباء إذ كان الفرق بينهما ٥ أمتار^(٣).

(١) عبيد، هاني، مصدر سابق، ص ٢٢٠-٢٢٣.

(٢) غنيمي، زين الدين عبد المقصود، مصدر سابق، ص ٧٢-٧٣.

(٣) عبيد، هاني، مصدر سابق، ص ٢٤٢.

وتوجد في فرنسا أكبر محطة طاقة تعتمد على المد والجزر، إذ تم بناء سد عام ١٩٦٦م بارتفاع ٧٥٠ متراً، على نهر رانس، ويوجد بداخل هذه المحطة ٢٤ توربيناً، وهي تقوم بتوليد الطاقة عند تدفق المياه من خلال المد والجزر، فعند ذروة المد تحجز بوابات السد المياه مكونة بحيرة كبيرة، وعند حدوث الجزر يتم فتح البوابات فتتدفق المياه خلال التوربينات فتدورها لتقوم هي بتدوير المولد الموصول بها فتتولد الطاقة الكهربائية نتيجة لذلك بحيث يمكنها تغذية ٢٤٠٠٠٠ منزل بالكهرباء^(١).

وتعتبر درجة حرارة مياه البحار والمحيطات مهمة كمورد طبيعي لاستغلالها كمصدر للطاقة الكهربائية، لذلك ترصد حرارة الطبقات السطحية وحرارة الأعماق لأنها من العوامل الرئيسية التي تؤدي إلى حركة التيارات المائية، وهناك عدة مصادر لحركة المياه ومنها^(٢):

أ- حرارة أشعة الشمس: تعتبر من أهم مصادر الحرارة وخاصة للسطح، ولا تتأثر المسطحات المائية بنفس الدرجة من الإشعاع الشمسي، ولكن المناطق الاستوائية تكون أكثر حرارة من غيرها من المدارات، فيضعف الإشعاع كما ابتعدنا عن هذه المنطقة لأن طوله يكون أكبر، وبالتالي يضعف تأثيره على حرارة المياه.

ب- حرارة باطن الأرض: إن الحرارة المستمدة من باطن الأرض نتيجة للبراكين وتحلل بعض المواد المشعة كالراديوم تعتبر من العوامل التي ترفع درجة حرارة قيعان البحار والمحيطات.

٦- طاقة الهيدروجين:-

تعتبر طاقة الهيدروجين العالق أو المترسب في البحار والمحيطات من مصادر الطاقة الواعدة وذلك لوجود الهيدروجين بكميات كبيرة في الطبيعة (ثلاثة أرباع الغازات في الطبيعة)، ويتميز بالآتي^(٣):

أ- أن الهيدروجين يحتوي على قدر أكبر من الطاقة، فمثلاً القيمة الحرارية لكل كيلو جرام من البنزين تبلغ ٤٧٢٠٠ كيلو جول، وفي الديزل تبلغ ٤٥٨٠٠ كيلو جول، بينما

(١) ديفيد، جيفرس، مصدر سابق، ص ٨.

(٢) الخفاف، عبد علي، وثعبان كاضم خضير، مصدر سابق، ص ٨٦.

(٣) غنيمي، زين الدين عبد المقصود، مصدر سابق، ص ٦٦ و ٦٧.

بالنسبة للهيدروجين تبلغ ١٤٢٠٠٠ كيلو جول، أي ما يعادل ثلاثة أضعاف لكل من البنزين والديزل.

ب- أنه بالإمكان تخزينه في صهاريج أو خزانات كبيرة لفترات طويلة واستعماله عند الحاجة بالمقادير المطلوبة وهذه الميزة لصالح الطاقة الشمسية حيث تمكن الدول من التغلب على مشكلة فترة غياب الشمس في أثناء الليل وفي فصل الشتاء.

ج- يعتبر الهيدروجين مصدر طاقة نظيف حيث لا ينجم عن احتراقه سوى بخار ماء وكميات قليلة جداً من ثاني أكسيد النيتروجين، وهي الميز غاية في الأهمية لمعانات العالم اليوم من مخاطر التلوث البيئي الناجم عن استخدام الوقود الأحفوري.

د- يتمتع الهيدروجين بمزايا الغاز الطبيعي من حيث النقل والتصدير، حيث يمكن نقله وتصديره إلى معظم دول العالم إما بصورته الغازية عبر خطوط الأنابيب أو بصورته المسيلة عبر ناقلات خاصة.

ثانياً: مصادر الطاقة في الجمهورية اليمنية :-

تعد الجمهورية اليمنية من الدول العربية المنتجة للنفط والغاز الطبيعي، ولكن بكميات محدودة مقارنة بغيرها إذ بلغ إنتاجها من الطاقة ٤٥٦ ألف برميل مكافئ نفط /يوم عام ٢٠٠٠م، ثم انخفض إلى ٣٦٨ ألف برميل مكافئ نفط /يوم عام ٢٠٠٥م، ويرجع السبب في ذلك لاعتمادها الكلي على النفط والغاز الطبيعي الذي نتج عنه زيادة استنزاف المخزون الاحتياطي مع قلة الاستكشافات الجديدة، إذ أن الاحتياطي يتأثر صعوداً بالاستكشافات الجديدة ويتأثر هبوطاً بزيادة كميات الإنتاج.

١- النفط:-

يعد النفط أهم مصادر الطاقة المستغلة في الجمهورية اليمنية سواء كان ذلك لتلبية متطلبات السوق المحلية أو التصدير حيث يساهم بـ ٩٣ - ٩٧% من إجمالي قيمة الصادرات، وعلى الرغم من أهمية صادراته التي ترفد خزينة الدولة بالنقد الأجنبي سنوياً، إلا أنه ثروة

غير متجددة وقابل للنضوب^(١) وفيما يأتي استعراض لكمية الاحتياطي والإنتاج والاستهلاك:

أ- تطور احتياطي(*) النفط :

ارتبط تطور احتياطي النفط في الجمهورية اليمنية مع تطور أعمال الاستكشاف والتنقيب عنه وذلك منذ بداية الخمسينات والستينات من قبل بعض الشركات الأجنبية ثم تواصلت الأعمال الاستكشافية خلال السبعينات وبداية الثمانينات أثمرت تلك الأعمال الاستكشافية عن أول اكتشاف تجاري للنفط في الجمهورية اليمنية من قبل شركة هنت الأمريكية في قطاع (مأرب / الجوف) في حقل (ألف) عام ١٩٨٤م وقدر الاحتياطي به ٥٠٠ مليون برميل عام ١٩٨٥م، ومع تطور الاستكشافات ارتفع الاحتياطي إلى مليار برميل عام ١٩٨٧م وتم بناء المنشآت الخاصة باستخراجه وإنشاء خط الأنبوب إلى رأس عيسى على البحر الأحمر لتصديره، كما تم في عام ١٩٨٧م الإعلان عن اكتشاف نفطي جديد في محافظة شبوة من قبل شركة تكنواكسبورت السوفيتية (سابقاً) في ثلاثة حقول هي عياد الغرب وعياد الشرق وأمل بكمية احتياطي تبلغ ٣.٧ مليار برميل^(٢)، وتم استكمال بناء المنشآت السطحية ومد الأنبوب لتصدير النفط من تلك الحقول إلى ميناء بلحاف على البحر العربي، وفي عام ١٩٩١م أعلنت شركة كنديان اوكسي عن اكتشاف جديد في حقل سونا بكمية احتياطي تبلغ ٩١ مليون برميل، وتم بناء المنشآت السطحية ومد خط الأنبوب لتصدير النفط في منطقة الضبه بمحافظة حضرموت على البحر العربي، وهذا الحقل أحد حقول المسيلة البالغ احتياطيهما النفطي ١٠٣٩ مليون برميل، وفي عام ١٩٨٩م تأسست الشركة اليمنية للاستثمارات النفطية والمعدنية وتوصلت إلى اتفاقية مشاركة في الإنتاج مع الشركات العالمية (هنت، أكسون، توتال، كوفبيك، وشركتان روسيتان) ساهمت الشركة اليمنية بنسبة ٢٠%، وتم العمل في قطاع جنة رقم (٥) أثمرت عن اكتشاف النفط في حقلي حليوه والنصر، وتم بناء المنشآت السطحية وربط الإنتاج في هذا القطاع بأنبوب يمتد إلى منطقة امتياز شركة هنت العاملة في قطاع مأرب / الجوف ليتم تصدير الإنتاج عبر أنبوبها الممتد

(١) حيدر، أحمد محمد، الاقتصاد اليمني المأزوم الأسباب والتحديات وآفاق وممكنات التغيير - دراسة تحليلية نقدية، مركز الدراسات والبحوث اليمني، ٢٠٠٥م. ص ١٣٤.

(*) الاحتياطي النفطي: هو كمية المخزون النفطي الموجود في الحقول النفطية المقدر من قبل الشركات الاستكشافية، لمزيد من التفاصيل أنظر محمود علي عاطف، النفط في اليمن- دراسة في جغرافية الطاقة، جامعة عدن ودار الثقافة العربية بالشارقة، ٢٠٠٢م. ص ١٣٦.

(٢) عاطف، محمود علي، النفط في اليمن- دراسة في جغرافية الطاقة، جامعة عدن ودار الثقافة العربية بالشارقة، ٢٠٠٢م. ص ١٣٧- ١٣٨.

إلى البحر الأحمر، وفي عام ١٩٩٨ م تم اكتشاف نفطي جديد من قبل شركة توتال الفرنسية في حقول خريير وعطوف وتاربة وتم ربط الإنتاج في هذا القطاع بقطاع رقم (١٤) الذي تعمل به كنديان اوكسي التي عدل أسماها إلى شركة كنديان نكسن، كما أعلنت شركة DNO النرويجية العاملة في قطاع (٣٢) عن اكتشاف النفط في عام ٢٠٠١ م وبدأت عملية الضخ للإنتاج والتصدير عبر أنبوب المسيلة أيضاً كما تلى ذلك قيام شركة دوف البريطانية بالإعلان التجاري وبدأت عملية الضخ والإنتاج عام ٢٠٠١ م للنفط من القطاع رقم (٥٣) شرق سار، كما أعلنت شركة DNO النرويجية عن اكتشاف النفط في قطاع (٤٣) جنوب حواريم في يوليو ٢٠٠٥ م وكذا قطاع رقم (٩) مالك أغسطس ٢٠٠٥ م من قبل شركة كالفالي^(١).

وبلغ عدد الشركات النفطية العاملة في الجمهورية اليمنية حتى نهاية ٢٠٠٨ م ٢٩ شركة نفطية استكشافية وإنتاجية وحفر تعمل في ٤٣ قطاع جغرافي بعضها يعمل في أكثر من قطاع^(٢)، وفي عام ١٩٩٧ م اتخذت الحكومة سياسة جديدة تمثلت في دخول المؤسسة اليمنية العامة للنفط والغاز كشريك مع الشركات الاستثمارية الراغبة في التنقيب عن النفط بنسب متفاوتة تتراوح بين ٥ - ٢٥% وبذلك ساهمت مع ٢٣ شركة حتى ٢٠٠٥ م^(٣).

ونجد أن كمية الاحتياطي النفطي لليمن عام ١٩٨٥ م لم يتجاوز ٥٠٠ مليون برميل وهي الكمية المكتشفة في حوض ألف، وهذه الكمية نسبتها تبلغ ٠.١٠% من احتياطي الوطن العربي البالغ ٥٠٧.١٩ مليار برميل لنفس العام، ارتفع الاحتياطي المؤكد من النفط في الجمهورية اليمنية ليصل إلى مليار برميل عام ١٩٨٧ م^(٤)، ثم ارتفع ليصل إلى ٤ مليار برميل عام ٢٠٠٠ م، وبمقارنة حجم الاحتياطي اليمني مع الاحتياطي العربي البالغ ٦٤٦.٨ مليار برميل للعام نفسه نجده صغير جداً، وقد ظل الاحتياطي اليمني المؤكد ٤ مليار برميل حتى الوقت الحاضر^(٥).

(١) الورقة القطرية للجمهورية اليمنية، مؤتمر الطاقة العربي الثامن، عمان، ١١-١٧ مايو ٢٠٠٦ م. ص ٢.

(٢) الجمهورية اليمنية، وزارة النفط والمعادن، إحصاءات النفط والغاز والمعادن ٢٠٠٨، النشرة الإحصائية ٢٠٠٨، العدد ٨، ص ١٢.

(٣) الورقة القطرية للجمهورية اليمنية، مؤتمر الطاقة العربي الثامن، مصدر سابق، ص ٣.

(٤) عاطف، محمود علي، مصدر سابق، ص ١٣٤ و ١٤٠.

(٥) لطفي، علي، الطاقة والتنمية في الدول العربية، منشورات المنظمة العربية للتنمية الإدارية، القاهرة، ٢٠٠٨ م. ص ٢٧٩.

ب- تطور إنتاج النفط:-

بدأ إنتاج النفط في الجمهورية اليمنية عام ١٩٨٦م من حقل ألف شمال شرق محافظة مأرب على بعد ٦٥ كم شرق مدينة مأرب بكمية بلغت ٢.٦٤٧.٨٨٥ برميل بمعدل إنتاج ٧٢٥٤ برميل/يوم، وفي عام ١٩٩٠م بلغت كمية الإنتاج ٦٢.٤٦٠.٠٥٠ برميل بمعدل إنتاج ١٨٩.١٧٩ برميل/يوم، أنظر الجدول (١) والشكل (١)، ثم ارتفع الإنتاج بعد ذلك حتى وصل عام ١٩٩٥م ١٢٥.٤٤٢.٥٧٧ برميل بمعدل ٣٤٣.٦٧٨ برميل/يوم، نتيجة الاستكشافات الجديدة، وفي عام ٢٠٠٠م وصل الإنتاج إلى ١٥٩.٧٥٩.٥٦٣ برميل بمعدل ٤٣٦.٥٠٢ برميل/يوم وهذه تعتبر من أعلى كميات الإنتاج التي أنتجتها الجمهورية، أما عام ٢٠٠٥م فقد انخفض الإنتاج إلى ١٤٦.٠٩١.٨٥٠ برميل بمعدل ٤٠٠.٢٥٢ برميل/يوم، وبالرغم من ذلك إلا أن استمرار ارتفاع أسعار النفط في الأسواق العالمية أدى إلى ارتفاع المتوسط السنوي لأسعار النفط اليمني المصدر من ٢٧.٩ دولار/برميل عام ٢٠٠٣ إلى ٥١.٥ دولار/برميل عام ٢٠٠٥، على الرغم من تراجع الإنتاج السنوي من النفط الخام من ١٥٧.٣ مليون برميل عام ٢٠٠٣ إلى ١٤٨.٨ مليون برميل عام ٢٠٠٥^(١)، وبذلك يكون القطاع النفطي أكبر القطاعات المساهمة في الناتج المحلي الإجمالي بنصيب ١٢.٤ % عام ٢٠٠٥م، ومثلت عوائد النفط ٧٠.٤ % من الإيرادات العامة للدولة في المتوسط خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٠٥م نتيجة ارتفاع أسعار النفط في الأسواق العالمية، وهذا ما جعل الصادرات النفطية تشكل ٩٢.٩ % من قيمة الصادرات عام ٢٠٠٥^(٢)، ثم ارتفع سعر البرميل إلى ٦٣.٠ دولار في عام ٢٠٠٦م وبالتالي ارتفاع قيمة صادرات النفط اليمني من ٣.١ مليار دولار إلى ٤.٠ مليار دولار خلال الفترة نفسها^(٣)، ثم انخفض الإنتاج أيضا إلى ١٠٧.٤١٥.٩٣٤ برميل بمعدل ٢٩٣.٤٨٦ برميل/يوم عام ٢٠٠٨م، ويعود سبب التراجع إلى :

❖ ضعف الاهتمام بتنفيذ برامج الصيانة الدورية والوقائية للوحدات الإنتاجية، والذي

يضمن استمرار عمل المعدات بكامل طاقتها وسلامتها.

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، التقرير الاقتصادي السنوي ٢٠٠٦م. ص ٣٦.

(٢) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، خطة التنمية الاقتصادية والاجتماعية الثالثة للتخفيف من الفقر ٢٠٠٦-٢٠١٠، ٢٠٠٦م. ص ٧٦.

(٣) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، التقرير الاقتصادي النصف سنوي ٢٠٠٧ للتطورات الاقتصادية الدولية والإقليمية وانعكاساتها على الاقتصاد اليمني، العدد الثاني، ٢٠٠٨م. ص ١.

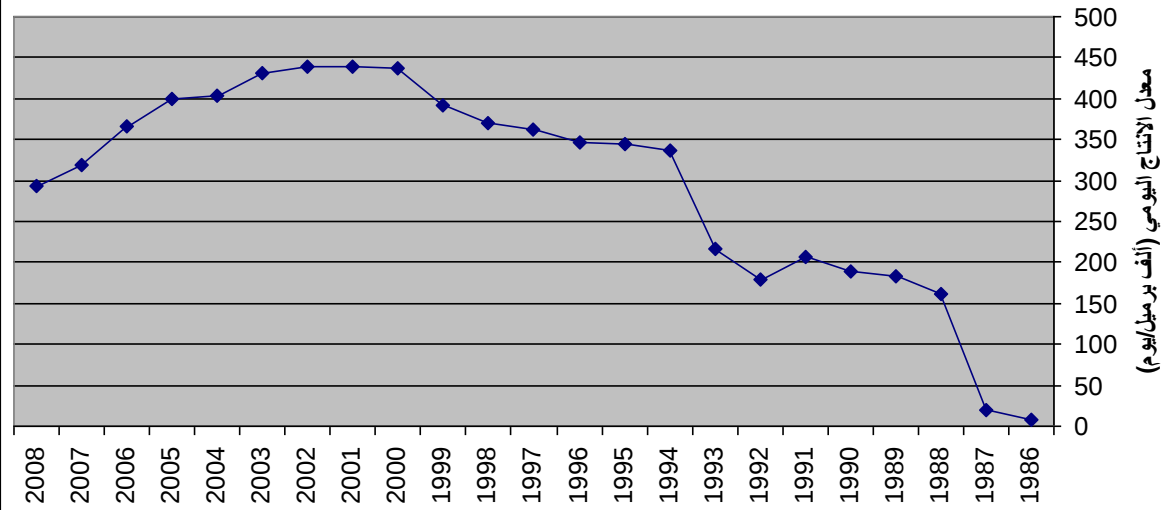
جدول (١) التوزيع الجغرافي لإنتاج النفط الخام بحسب القطاعات في الجمهورية اليمنية للمدة من ١٩٨٦ - ٢٠٠٨ م (بالبرميل)

السنة	القطاعات المنتجة												الإجمالي السنوي	معدل الإنتاج اليومي
	مأرب/الجوف	غرب عياد	المسيلة	جنة	شرق شبوة	حواريم	شرق سار	دامس	شرق حجر	جنوب حواريم	مالك	العقلة		
١٩٨٦	٢,٦٤٧,٨٨٥	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٢,٦٤٧,٨٨٥	٧,٢٥٤
١٩٨٧	٦,٩١٨,١٠٣	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٦,٩١٨,١٠٣	١٨,٩٥٤
١٩٨٨	٥٩,١٤٨,٦٠٣	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٥٩,١٤٨,٦٠٣	١٦١,٦٠٨
١٩٨٩	٦٦,٦٢٥,٣٧٦	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٦٦,٦٢٥,٣٧٦	١٨٢,٥٣٥
١٩٩٠	٦٩,٠٥٠,٤٦٢	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٦٩,٠٥٠,٤٦٢	١٨٩,١٧٩
١٩٩١	٧٢,٠٥٩,٦٩٩	٣,٥٦٨,٠٠٠	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٧٥,٦٢٧,٦٩٩	٢٠٧,١٩٩
١٩٩٢	٦٤,٣٥٦,٧٥١	٩١٦,١٦١	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٦٥,٢٧٢,٩١٢	١٧٨,٣٤١
١٩٩٣	٦٣,٦٥٨,٧٦١	٢,١٤٢,٢٣٨	١٣,١٦٠,٠٠٠	-	-	-	-	-	-	-	-	-	٧٨,٩٦٠,٩٩٩	٢١٦,٣٣٢
١٩٩٤	٦٧,٧٦٨,٣٩٧	٥١٧,٢٢٦	٥٤,٨٥١,٩٦٠	-	-	-	-	-	-	-	-	-	١٢٣,١٣٧,٥٨٣	٣٣٧,٣٦٣
١٩٩٥	٦١,٧١٠,٨٢٩	٠	٦٣,٧٣١,٧٤٨	-	-	-	-	-	-	-	-	-	١٢٥,٤٤٢,٥٧٧	٣٤٣,٦٧٨
١٩٩٦	٥٩,٦٤٢,٧٣٥	٢٣٢,٨٢٤	٦٥,٣٣٤,٢١٦	١,٣٧٠,٤٧٧	-	-	-	-	-	-	-	-	١٢٦,٥٨٠,٢٥٢	٣٤٦,٧٩٥
١٩٩٧	٥٤,٦٠٣,٣٧٣	٤٠٠,٩٤٥	٦٩,٧١٠,٦٧٩	٧,٤٤٤,٣٣٩	١٤٧,٩٤٣	-	-	-	-	-	-	-	١٣٢,٣٠٧,٢٧٩	٣٦٢,٤٨٦
١٩٩٨	٤٧,٤٦١,٧٣٥	٤٣١,٠٤	٧٤,٠٠٧,٧٧٧	٦,٩٠٠,٠٠٢	٥,٩٦٤,٤٣٥	-	-	-	-	-	-	-	١٣٤,٧٦٤,٩٨٩	٣٦٩,٢١٩
١٩٩٩	٤٢,٦٢٢,٨٠٢	٣٣٢,٥٢٨	٧٦,٣٣٠,٤٠٩	١٧,٧٥٦,٣١٧	٦,١٩٣,٧٥٠	-	-	-	-	-	-	-	١٤٣,٢٣٥,٨٠٦	٣٩٢,٤٢٧
٢٠٠٠	٤٥,٢٥٧,٨٢٠	٢٥٣,٧٣٨	٧٩,٥٧٦,٠٤٤	٢٣,٨٨٥,٨٣٣	١٠,٣٩٧,١٥٧	٣٨٨,٩٧١	-	-	-	-	-	-	١٥٩,٧٥٩,٥٦٣	٤٣٦,٥٠٢
٢٠٠١	٤١,٨٥٢,٣٥٧	١٩٤,٣٩٤	٨٤,٢١١,٦٣٦	٢٠,٧٢٠,٨٨٤	١٠,٠٢١,٦٠١	٢,٩٨٣,٣٨٠	٦٨,٩٢٦	-	-	-	-	-	١٦٠,٠٥٣,١٧٨	٤٣٨,٥٠٢
٢٠٠٢	٣٩,٥٠٢,٢٦٢	١٠٩,٠٤٤	٨٤,٢٩٣,٦٠٣	١٥,٣٨٥,٤٥٦	٩,١٧٠,٨١٧	٤,٠٩٤,١٠٧	٧,٣٦٨,٣٠٧	-	-	-	-	-	١٥٩,٩٢٣,٥٩٦	٤٣٨,١٤٧
٢٠٠٣	٣٦,٣٢٨,١٦٦	٧٩,٠١٩	٨٣,٦٦٧,٢٥٠	١٥,٥٣٠,٢٥٠	٨,٥٤٦,٣٧٣	٦,٢٧٢,٧٠٠	٦,٩٢٣,٩٧٦	-	-	-	-	-	١٥٧,٣٤٧,٧٣٤	٤٣١,٠٩
٢٠٠٤	٣٢,٠٣٢,٩٨٤	٦٨,١٥٨	٧٦,٨٧٦,١١٠	١٥,١٢٤,٦٤٤	٨,٦٢٩,٩٠١	٦,٥١٨,٢٦٤	٦,٧١٣,٤٤٧	١,١٠٦,٤٥٧	٤٢٥,٠٤٤	-	-	-	١٤٧,٤٩٥,٠٠٩	٤٠٢,٩٩٢
٢٠٠٥	٢٧,٨١٩,٣٨٠	٦٥,٠٦١	٦٣,٤٨٥,٥٤١	١٧,١٩٧,٨٨٠	١٢,٠٢٢,١١٤	٥,١١٠,٩٥٥	٦,٧٣٨,٨٧٣	٣,٢٢٥,٠٢٧	٩,٣٢٩,٩٨٠	١,٠٥٩,٨٥٣	٣٧,١٤١	-	١٤٦,٠٩١,٨٥٠	٤٠٠,٢٥٢
٢٠٠٦	٢٥,٠٦٤,٧٥٢	٤٦,٥١٣	٥١,٦٥٤,٣٤٤	١٦,٦١٧,٥٩٨	١٤,٧١٢,٨٠٤	٣,٩٢٢,٠٢٢	٤,٢٣١,٧٧٧	٣,٩٠٠,٤٧٠	٨,٤٦٤,٤٥٥	٣,٣٠٦,٧٦٣	١,٥٦٣,١٤٨	٢,٧٦٣	١٣٣,٤٨٧,٤٠٩	٣٦٥,٧١٩
٢٠٠٧	٢٢,٢٠٩,١٨٥	٤١,٥٥٣	٤٢,٣٣٩,٢٤٧	١٥,٦٨٩,٢١٥	١٣,٧٢٢,٢٧٥	٣,٣٤٥,٦١٨	٣,٩٥٤,٩٣٩	٣,٨٦٥,٨٢٠	٥,٥٣٣,٥٧٩	٢,٥٦٣,٥١٤	١,٩٢٦,٤٨٤	١,٤٧٦,٠٣٩	١١٦,٦٦٧,٤٦٨	٣١٩,٦٣٧
٢٠٠٨	٢٠,٣٣٦,٠٣٠	٣٨,٦٤١	٣٤,٦٦٢,٩١٤	١٥,٨٧٩,٨٨٥	١٥,٦٦٧,٠٢٧	٢,٧٤٢,٠٨٩	٣,٤٠٢,٩٥٠	٤,١٥٠,٦٨٤	٤,١٨٥,٦٨٢	١,٩١٩,١٨٨	١,٦٥٥,٢٤١	٢,٨٢٠,٦٠٣	١٠٧,٤١٥,٩٣٤	٢٩٣,٤٨٦

المصدر: الجمهورية اليمنية، وزارة النفط والمعادن، إحصاءات النفط والغاز والمعادن ٢٠٠٨، النشرة الإحصائية ٢٠٠٨، العدد ٨، ص ٢٥.

= المحطات لم تبدأ الإنتاج بعد

شكل (١) معدل الإنتاج اليومي للنفط الخام في جميع قطاعات الإنتاج في الجمهورية اليمنية منذ بدء الإنتاج حتى ٢٠٠٨م



المصدر: الباحث اعتماداً على الجدول (١)

- ❖ استمرار الاستنزاف للمخزون الاحتياطي مع ضعف الاستكشافات في هذا المجال.
 - ❖ عدم إجراء توسعات ذات أهمية في مجال التكرير أو إدخال تقنيات متطورة جديدة.
- وعلى الرغم من قلة الإنتاج إلا أن النفط أصبح من أهم الثروات المعدنية في البلاد التي يعول عليها كثيراً في مسيرة التنمية.

ج- تطور استهلاك النفط:

نتيجة لتطور عمليات الإنتاج المذكورة أعلاه فقد تطور الاستهلاك أيضاً نتيجة للنمو المتسارع للسكان وذلك لتلبية متطلباتهم من الطاقة لسد حاجاتهم المختلفة حتى تراوحت كمية الاستهلاك محلياً من المشتقات النفطية بين ٤.٦٦٩ إلى ٥.٦٧٢ مليون لتر سنوياً بمعدل نمو سنوي ٦%، مع معدل نمو أعلى لاستهلاك الديزل بسبب الدعم الحكومي لهذه المادة حتى ٢٠٠٥م وقد بدأ التراجع عن هذا الدعم حالياً، ومع أن صناعة تكرير النفط في بداياتها، وتعتمد هذه الصناعة على مصفاتي عدن ومأرب، وقد بلغت الكميات المسلمة للمصفايتين من حصة الحكومة من النفط الخام نحو ٣٨.٣ مليون برميل عام ٢٠٠٥، وتتراوح الطاقة الحالية لمصفاة عدن تكرير بين ١١٠-١٢٠ ألف برميل يومياً، في حين تبلغ طاقة مصفاة مأرب

التكريرية ١٠ آلاف برميل يومياً، ونظراً لضعف الطاقة التكريرية من جهة، وتزايد الطلب من جهة أخرى، تم في عام ٢٠٠٤ استيراد مادة الديزل بقيمة ٦٣.٧ مليار ريال، أو ما نسبته ٨.٦٥ % من إجمالي الواردات، لتتأس هذه المادة بذلك أكبر حصة من الواردات، كما تم أيضاً استيراد مادة المازوت بقيمة ١٧.٤ مليار ريال ونسبة ٢.٣٦ % من إجمالي الواردات^(١).

وارتفع الاستهلاك المحلي للنفط من ١٥٣٠١٦٠٠ برميل عام ٢٠٠٤م^(٢) إلى ٤٤.١٣٢.٩٠٢ برميل عام ٢٠٠٨م، وللمقارنة بين استهلاك النفط بحسب مشتقاته أنظر الجدول (٢) والذي يتضح من خلاله أن الاستهلاك اليومي لعام ٢٠٠٨م من البنزين قد زاد ٣٧٢.٩٨١ لتر عن عام ٢٠٠٧م، في حين تراجع الاستهلاك اليومي للكيروسين النقي (وقود الطائرات) بكمية نقص بلغت ٥٦.٢٤٠ لتر عام ٢٠٠٨م عن عام ٢٠٠٧م، بينما زاد الاستهلاك اليومي للكيروسين العادي عام ٢٠٠٨م عن عام ٢٠٠٧م بكمية بلغت ٢٨.٨٨٣ لتر، في حين تباين الاستهلاك اليومي من الوقود الثقيل فكان استهلاك الديزل عام ٢٠٠٨م أكبر بكمية ٧٢١.٠٥٨ لتر عن عام ٢٠٠٧م، في حين ازدادت كمية الاستهلاك للمازوت عام ٢٠٠٨م عن عام ٢٠٠٧م بكمية بلغت ١٦١.٩١٦ لتر.

أما من حيث الاستهلاك السنوي لمشتقات النفط فقد زاد استهلاك البنزين ١٤١.٣٧٨.٧٢١ لتر عام ٢٠٠٨م عن عام ٢٠٠٧م، وتراجع استهلاك الكيروسين النقي ٢٠.١٣٨.٨٥٧ لتر عام ٢٠٠٨م عن عام ٢٠٠٧م، وازداد الاستهلاك السنوي للكيروسين العادي ١٠.٨٩٨.٦٦٤ لتر عام ٢٠٠٨م عن عام ٢٠٠٧م، وارتفع الاستهلاك السنوي للوقود الثقيل فكانت الزيادة ٢٧٣.٢١٤.٣٤٠ لتر من الديزل عام ٢٠٠٨م عن عام ٢٠٠٧م، وازداد الاستهلاك السنوي للمازوت عام ٢٠٠٨م بكمية ٦٢.٢٥٦.٥٨٩ لتر عن عام ٢٠٠٧م.

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، خطة التنمية الاقتصادية والاجتماعية الثالثة للتخفيف من الفقر ٢٠٠٦-٢٠١٠، مصدر سابق، ص ٧٦.

(٢) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، قطاع الدراسات والتوقعات الاقتصادية، العدد ٢، ٢٠٠٥م. ص ٣.

جدول (٢) استهلاك النفط بحسب مشتقاته في الجمهورية اليمنية لعامي ٢٠٠٧ و ٢٠٠٨ م

العام	البيان	وقود خفيف			وقود ثقيل	
		بنزين	وقود الطائرات (كيروسين)	كيروسين	ديزل	مازوت
٢٠٠٧	الاستهلاك اليومي بالتر	٤.٨٦٧.٧٨٦	٤٤٥.٠٠٦	٣٢٧.٤١٦	٩.٣٠٧.٠١٣	٢.٩٩٥.٢١٤
	الاستهلاك السنوي بالتر	١.٧٧٦.٧٤١.٩٦٤	١٦٢.٤٢٧.٢٦٩	١١٩.٥٠٦.٨٨٥	٣.٣٩٧.٠٥٩.٥٦٥	١.٠٩٣.٢٥٣.٠٣٢
	الاستهلاك السنوي باليرميل	١١.١٧٤.٤٧٨	١.٠٢١.٥٥٥	٧٥١.٦١٦	٢١.٣٦٥.١٥٤	٦.٨٧٥.٨٠٥
٢٠٠٨	الاستهلاك اليومي بالتر	٥.٢٤٠.٧٦٧	٣٨٨.٧٦٦	٣٥٦.٢٩٩	١٠.٠٢٨.٠٧١	٣.١٥٧.١٣٠
	الاستهلاك السنوي بالتر	١.٩١٨.١٢٠.٦٨٥	١٤٢.٢٨٨.٤١٢	١٣٠.٤٠٥.٥٤٩	٣.٦٧٠.٢٧٣.٩٠٥	١.١٥٥.٥٠٩.٦٢١
	الاستهلاك السنوي باليرميل	١٢.٠٦٣.٦٥٢	٨٩٤.٨٩٦	٨٢٠.١٦١	٢٣.٠٨٣.٤٨٤	٧.٢٦٧.٣٥٦

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على الجمهورية اليمنية، وزارة النفط والمعادن، إحصاءات النفط والغاز والمعادن ٢٠٠٨، النشرة الإحصائية ٢٠٠٨، العدد ٨، ص ٧١ - ٧٢.

ومن خلال العرض السابق يتضح لنا مدى تطور الاستهلاك المحلي كون الجمهورية اليمنية بدأت مرحلة النمو الاقتصادي والاجتماعي سواء في مجال الزراعة والصناعة ووسائل النقل بمختلف الأنواع والأشكال وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة الاستهلاك للمشتقات النفطية، ومن جانب آخر يتضح لنا مدى تعرض هذا المورد للاستنزاف سواء الاستهلاك المحلي أو التصدير خصوصا أن الجمهورية اليمنية لا تمتلك احتياطي كبير لذلك وجب البحث عن مصادر أخرى للطاقة وذلك للمحافظة على هذا المورد لأطول فترة ممكنه ومواكبة التنمية المستدامة في شتى النواحي الاقتصادية الاجتماعية.

٢- الغاز الطبيعي:

يعد الغاز الطبيعي ثاني أهم مصادر الطاقة المستغلة في الجمهورية اليمنية سواء كان ذلك لتلبية متطلبات السوق المحلية أو التصدير، وعلى الرغم من أهمية صادراته التي ترفد خزينة الدولة بالعوائد السنوية من العملة الصعبة خصوصا عائدات مشروع تسهيل الغاز في بلحاف إلا أنه ثروة غير متجددة أيضا وقابل للنضوب وفيما يأتي استعراض لكمية الاحتياطي والإنتاج والاستهلاك :

أ- تطور احتياطي الغاز الطبيعي:

بدأ اكتشاف الغاز الطبيعي في اليمن مواكباً للاستكشافات النفطية في عام ١٩٨٤م في القطاع (١٨) حوض مأرب/ الجوف النفطي- بنوعيه المصاحب للنفط والحر (الجاف). ومع استمرار العمليات الاستكشافية في العديد من القطاعات والتوسع في تطوير الحقول، تعززت القدرات في مجال الطاقة من خلال تزايد كمية المخزون الاحتياطي النفطي والغازي نتيجة الاستكشافات الجديدة في قطاعات عديدة في الجمهورية، حيث يقدر المخزون الغازي المكتشف حتى ٢٠٠٦م بـ ١٦.٣ تريليون قدم مكعب^(١).

يأتي الغاز في المرتبة الثانية من حيث الأهمية بعد النفط، وتمتلك الجمهورية اليمنية كمية احتياطي بلغت عام ٢٠٠٠م ٣٦٩ مليار متر مكعب، أي ما نسبته ١% من الاحتياطي العربي للغاز الطبيعي البالغ ٣٦٩١٩ مليار متر مكعب، ثم ارتفعت كمية الاحتياطي عام ٢٠٠٢م لتصل إلى ٤٥٣ مليار متر مكعب، أي أن ما نسبته ٠.٨% من الاحتياطي العربي، وانخفضت النسبة نتيجة لارتفاع الاحتياطي العربي حتى بلغ ٥٢٩٣٥ مليار متر مكعب، ثم ارتفعت كمية الاحتياطي إلى ٤٧٩ مليار متر مكعب عام ٢٠٠٣م، وظلت كمية الاحتياطي ثابتة حتى عام ٢٠٠٥م^(٢) ثم ارتفعت كمية احتياطي حتى بلغت ١٨٢١٥ تريليون قدم مكعب نهاية ٢٠٠٨م، وتتوزع هذه الكمية بنسب متفاوتة بين القطاعات كما تظهر من خلال الجدول (٣) والذي يتضح منه أن القطاع مأرب- ١٨ يحتوي على ٨١.٢٠% من إجمالي الاحتياطي بكمية مخزونة بلغت ١٤٧٩٠ تريليون قدم مكعب، أما قطاع جنة - ٥ فكمية الاحتياطي به ١.٢٨٢ تريليون قدم مكعب بنسبة ٧.٦٤% من الإجمالي، ويبلغ احتياطي قطاع دامس - ١ ٠.٦٠٦ تريليون قدم مكعب بنسبة ٣.٣٣%، بعد ذلك قطاع العقلة - ٢ باحتياطي يبلغ ٠.٥٤٨ تريليون قدم مكعب بنسبة ٣.٠١%، ثم شرق شبوة - ١٠ باحتياطي ٠.٤٤٩ تريليون قدم مكعب بنسبة ٢.٤٧%، أما قطاع مالك - ٩ فيبلغ احتياطي ٠.٢٢٩ تريليون قدم مكعب بنسبة ١.٢٦%، بعد ذلك قطاع المسيلة - ١٤ باحتياطي ٠.٢١٣ تريليون قدم مكعب بنسبة ١.١٧%، ثم شرق حجر - ٥١ باحتياطي ٠.٠٥٣ تريليون قدم مكعب بنسبة ٠.٢٩%، ثم

(١) الطيري، نبيل محمد، تقييم أداء السياسات الحكومية في قطاع الطاقة وآفاقها المستقبلية خلال الفترة من ١٩٩٥-٢٠٠٨، ورقة عمل مقدمة إلى المؤتمر الدولي حول أمن الطاقة والتنمية في اليمن صنعاء من ٢ - ٣ يونيو، ٢٠٠٩م. ص ١١.
(٢) لطفي، علي، الطاقة والتنمية في الدول العربية، مصدر سابق، ص ٢٨١.

قطاع جنوب حواريم - ٤٣ باحتياطي ٠.٠٢٨ تريليون قدم مكعب بنسبة ٠.١٥%، ثم حواريم - ٣٢ باحتياطي ٠.٠١٤ تريليون قدم مكعب، أخيراً شرق صعر - ٥٣ باحتياطي ٠.٠٠٣ تريليون قدم مكعب بنسبة ٠.٠٢% من إجمالي الاحتياطي.

جدول (٣) كمية الاحتياطي الغازي المؤكد في القطاعات المنتجة حتى نهاية ديسمبر ٢٠٠٨م

القطاع	كمية الاحتياطي المؤكد (تريليون قدم مكعب)	نسبة مساهمة كل قطاع في المخزون
مأرب - ١٨	١٤.٧٩٠	٨١.٢٠%
جدة - ٥	١.٢٨٢	٧.٦٤%
دامس - ٥١	٠.٦٠٦	٣.٣٣%
شرق الحجر - ٥١	٠.٠٥٣	٠.٢٩%
العقلة - ٥٢	٠.٥٤٨	٣.٠١%
جنوب حواريم - ٤٣	٠.٠٢٨	٠.١٥%
شرق شبوة - ١٠	٠.٤٤٩	٢.٤٧%
حواريم - ٣٢	٠.٠١٤	٠.٠٨%
مالك - ٩	٠.٢٢٩	١.٢٦%
شرق صعر - ٥٣	٠.٠٠٣	٠.٠٢%
المسيلة - ١٤	٠.٢١٣	١.١٧%
المجموع	١٨.٢١٥	١٠٠%

المصدر: الجمهورية اليمنية، وزارة الكهرباء والطاقة، المؤسسة العامة للكهرباء، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، ص١٩.

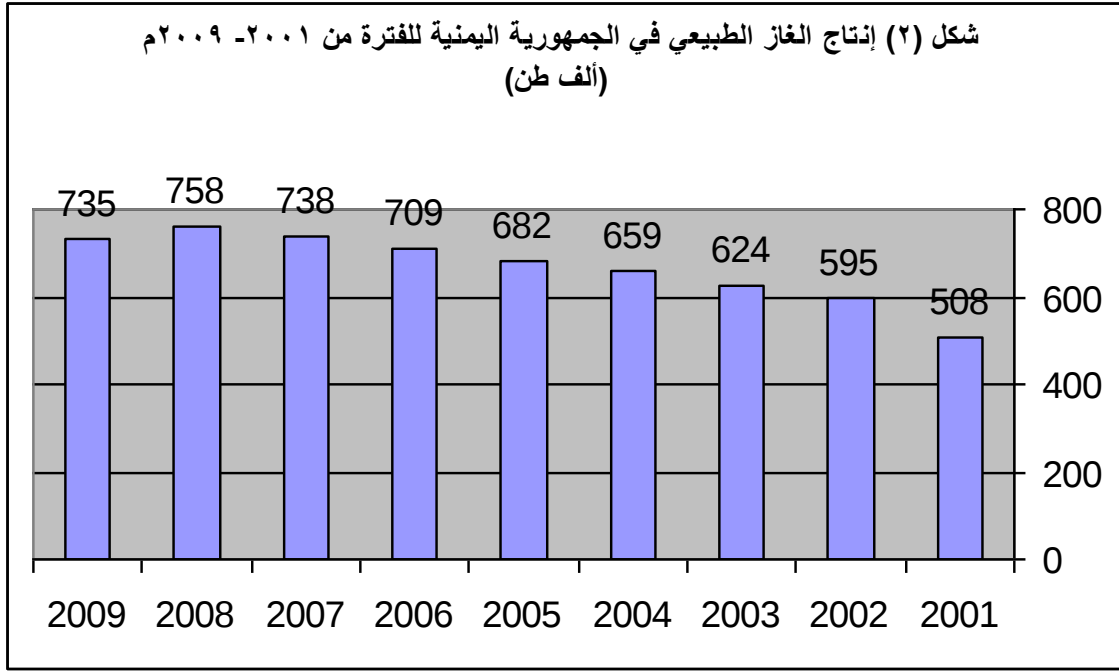
ب- تطور إنتاج الغاز الطبيعي:

شهد إنتاج الغاز الطبيعي عدد من التطورات وذلك لمواكبة احتياجات السكان المتنامية لهذا المصدر من الطاقة فبلغ الإنتاج عام ١٩٨٨م ٠.٧٥٩ مليون قدم مكعب، وازدادت هذه الكمية حتى بلغت عام ٢٠٠١م ٥٠٨ ألف طن، أنظر الجدول (٤) والشكل (٢)، ثم ارتفع الإنتاج إلى ٦٥٩ ألف طن عام ٢٠٠٤م، ثم ارتفع إلى ٧٥٨ ألف طن عام ٢٠٠٨م، وتراجعت لعام ٢٠٠٩م إلى ٧٣٥ ألف طن.

جدول (٤) إنتاج الغاز الطبيعي في الجمهورية اليمنية خلال الفترة من ٢٠٠١ - ٢٠٠٩م (ألف طن)

السنة	٢٠٠١	٢٠٠٢	٢٠٠٣	٢٠٠٤	٢٠٠٥	٢٠٠٦	٢٠٠٧	٢٠٠٨	٢٠٠٩
الإنتاج	٥٠٨	٥٩٥	٦٢٤	٦٥٩	٦٨٢	٧٠٩	٧٣٨	٧٥٨	٧٣٥

المصدر: اعتماداً على: إحصاءات الجهاز المركزي للإحصاء، كتب الإحصاء السنوي للسنوات ٢٠٠٣ - ٢٠٠٩م.



المصدر: اعتمادا على الجدول (٤)

وباعتبار أن الغاز يمثل ثروة كبيرة للبلاد في ظل محدودية إنتاج الجمهورية من النفط وبهدف استغلال وتنمية وتطوير هذه الثروة فقد تم توقيع اتفاقية تطوير الغاز ليشكل رافدا سنويا لخزينة الدولة بـ ٥٠٠ مليون دولار سنويا مع الشركاء الموضحين في الجدول (٥).

جدول (٥) الشركات المساهمة في إنتاج الغاز في مشروع تسهيل الغاز بمنطقة بلحاف

الشركة	نسبة المساهمة
توتال الفرنسية	(٣٩,٦%)
الشركة اليمنية للغاز	(١٦,٧٣%)
الهيئة العامة للتأمينات والمعاشات (اليمنية)	(٥,٠٠%)
شركة هنت الأمريكية	(١٧,٢٢%)
شركة اس آي الكورية	(٩,٥٥%)
شركة هيونداي الكورية	(٥,٠٠%)
شركة كوجاز الكورية	(٦,٠٠%)

المصدر: الجمهورية اليمنية، ورقة الحكومة اليمنية المقدمة لمؤتمر الطاقة العربي الثامن، عمان،

١١-١٧ مايو ٢٠٠٦ م. ص ٢.

وذلك عبر مشروع تسهيل الغاز بمنطقة بلحاف^(*) حيث يمد بالغاز الطبيعي من القطاع

(*) يقع الميناء على بعد ٢٠٠ كم جنوب غرب المكلا وحوالي ٣٢٠ كم عن حقول الإنتاج، ومقاسات رصيفه البحري تسمح باستيعاب ناقلات تتراوح سعتها بين ٧٠٠٠ و ٣٢٠٥٠٠ م^٣، ويحتوي على خزانين سعة كل منهما ١٤٠٠٠ م^٣، تعمل به أربع ناقلات عملاقة يابانية الصنع وهي الناقلات مارب بسعة ٣١٦٥٠٠ م^٣ والناقلات أروى بسعة ٣١٦٥٠٠ م^٣ والناقلات بلحاف بسعة ٣١٥٧٠٠ م^٣ والناقلات بلقيس بسعة ٣١٥٧٠٠ م^٣.

(١٨) مآرب والذي تكون كمية الاحتياطي المؤكدة فيه ٩.١٥ تريليون قدم ٣، إضافة إلى ٠.٧ تريليون قدم ٣ كمية محتملة، خصص منها ١ تريليون قدم ٣ للسوق المحلية، ويتكون المشروع من خطي إنتاج وتبلغ قدرته الإنتاجية المؤكدة ٦.٧ مليون طن متري في السنة، ووقعت ثلاثة عقود تصدير طويلة الأمد لصالح شركات (سويس- كو غاز- توتال للغاز والطاقة) وبكمية إجمالية ٦.٧ مليون طن متري في السنة.

ج- تطور الاستهلاك المحلي للغاز:

تطور استهلاك الغاز بشكل واضح كما يتضح من خلال الجدول (٦) والشكل (٣) حيث كان الاستهلاك في عام ١٩٩٩ م ٤١٢.٨٩٤ طن متري معتمدا على الشركة اليمنية للغاز من خلال تسويق غاز صافر، ظل الاستهلاك في تزايد ومعتمدا على هذه الشركة حتى ٢٠٠١ م بكمية بلغت ٥٠٩.٢٢١ طن متري، ودخلت شركة مصافي عدن منذ عام ٢٠٠٢ م لتغطية العجز في الاستهلاك للغاز بكمية بلغت ٩٦٨ طن متري، إلى جانب ٩٢.٩٤٤ طن متري من

جدول (٦) استهلاك الغاز في الجمهورية اليمنية للفترة من ١٩٩٩ - ٢٠٠٨ م (طن متري)

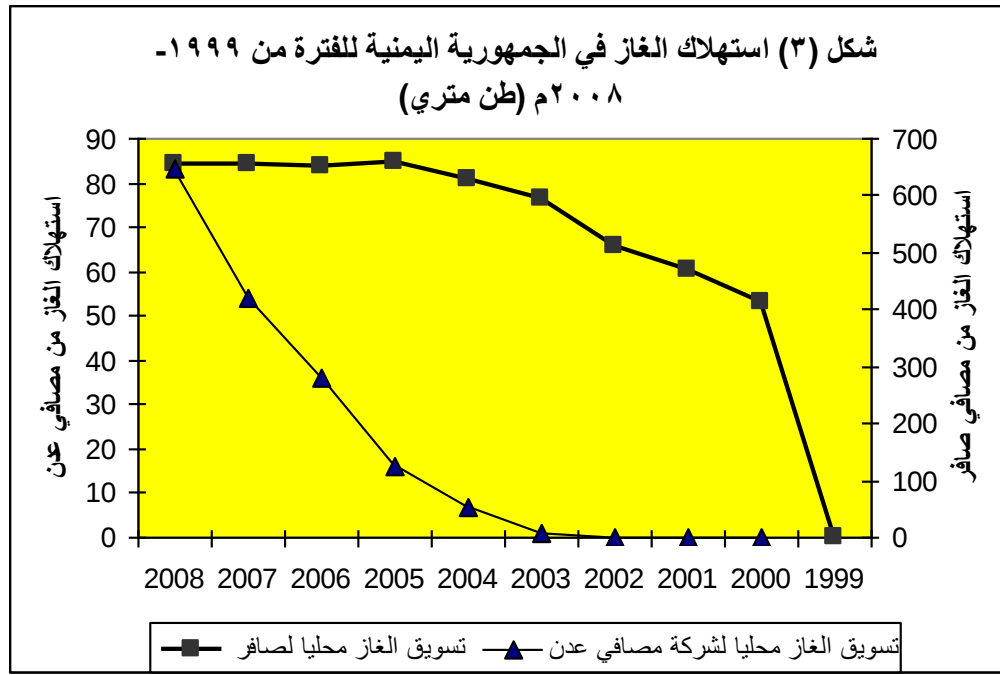
السنة	تسويق الغاز محليا لصافر (الشركة اليمنية للغاز)	تسويق الغاز محليا لشركة مصافي عدن	الإجمالي
١٩٩٩	٤١٢.٨٩٤	٠	٤١٢.٨٩٤
٢٠٠٠	٤٦٧.٣١١	٠	٤٦٧.٣١١
٢٠٠١	٥٠٩.٢٢١	٠	٥٠٩.٢٢١
٢٠٠٢	٥٩٢.٩٤٤	٩٦٨	٥٩٣.٩١٢
٢٠٠٣	٦٢٧.٢٨	٦.٨٣٦	٦٣٤.١١٦
٢٠٠٤	٦٥٨.٧٦٨	١٦.١٥٧	٦٧٤.٩٢٥
٢٠٠٥	٦٥٠.٢٨٥	٣٦.٠٠٠	٧٠٦.٢٨٥
٢٠٠٦	٦٥٤.٩٦٤	٥٤.٢٢٣	٧٠٩.١٨٧
٢٠٠٧	٦٥٣.٧٩٤	٨٢.٩٧٤	٧٣٦.٧٦٨
٢٠٠٨	٦٧٢.٣٦٦	٨٥.١٩٢	٧٥٧.٥٥٨

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على

إحصاءات وزارة النفط والمعادن، إحصاءات النفط والغاز والمعادن لعام ٢٠٠٨، النشرة الإحصائية ٢٠٠٨، العدد ٨، ص ٨١.

الشركة اليمنية للغاز ليصبح إجمالي الاستهلاك ٥٩٣.٩١٢ طن متري، وظل الاستهلاك في تزايد حتى وصل إلى ٧٠٦.٢٨٥ طن متري عام ٢٠٠٥ م منها ٦٥٠.٢٨٥ طن متري شراء من الشركة اليمنية للغاز و ٣٦.٠٠٠ طن متري شراء من شركة مصافي عدن، ثم ارتفع إلى

٧٥٧.٥٥٨ طن متري عام ٢٠٠٨ م منها ٦٧٢.٣٦٦ طن متري شراء من الشركة اليمنية للغاز و٨٥.١٩٢ طن متري شراء من شركة مصافي عدن، وترجع الزيادة في الاستهلاك إلى النمو السكاني الكبير وتزايد الهجرة من الريف إلى المدن وبذلك يحتاجون إلى الغاز لتلبية متطلباتهم من الطاقة بدلاً من الوقود الحيوي الذي كانوا يعتمدون عليه (مخلفات النبات والحيوان).



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الجدول (٦)

٣- الطاقة الكهربائية:

أصبح قطاع الكهرباء أهم القطاعات الاقتصادية في العالم، ليس فقط لغرض الصناعة وتوفير الرفاهية بل لتلبية المتطلبات الأساسية اللازمة لاستمرار الحياة^(١)، وهو من القطاعات التي تؤدي دوراً بارزاً، وهاما في عملية التنمية في الجمهورية اليمنية، لأنه يسهم في توفير فرص العمل، سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة، كما يوفر الطاقة اللازمة لكافة القطاعات الاقتصادية الأخرى الإنتاجية أو الخدمية، ولتتبع التطور التاريخي لإنتاج الكهرباء في الجمهورية اليمنية ستقسم مراحل التطور إلى مرحلتين أساسيتين، مرحلة قبل الوحدة ومرحلة بعد الوحدة.

(١) لطفي، علي، الطاقة والتنمية في الدول العربية، القاهرة، المنظمة العربية للتنمية الإدارية، ٢٠٠٨ م. ص ١٣١.

١- مرحلة قبل الوحدة: شهدت هذه المرحلة دخول الطاقة الكهربائية إلى الجمهورية اليمنية وإن كانت كمية الطاقة المنتجة بسيطة، ويمكن تقسيم هذه المرحلة إلى قسمين هما:

أ- تطور الطاقة الكهربائية في الشطر الجنوبي:

عرف الشطر الجنوبي الكهرباء عام ١٩٢٦م ابتداءً من مدينة عدن إذ تم إنشاء أول محطة بخارية بطاقة ٣ ميغا واط(*)/ ساعة لخدمة مراكز الإدارة البريطانية(**) ومعسكراتها^(١)، ونتيجة لزيادة الأحمال المتزايدة للقاعدة البريطانية فقد تم بناء ثاني محطة بنفس المنطقة أيضاً عام ١٩٣٠م ولكنها تعمل بوقود الديزل، بطاقة واحد ميغا واط واعتبرت محطة احتياطية تعمل في ساعات الذروة، وفي عام ١٩٥٢م أنشأت ثاني محطة بخارية لتغطية متطلبات مصفاة الزيت التي أنشأتها شركة الزيت البريطانية (BP) بمنطقة البريقة، إضافة إلى تغطية متطلبات السكان من الكهرباء، وهي بقدرة ٢١ ميغا واط ولا زالت تعمل حتى اليوم، وفي عام ١٩٥٣م أنشأت ثالث محطة بخارية بمنطقة حفيف بالمعلا لمواجهة زيادة الطلب على الكهرباء نتيجة لكون المدينة شهدت نشاطاً عمرانياً متزايداً تمثل في بناء الوحدات السكنية لإيواء عائلات الضباط والجنود البريطانيين، وفي عام ١٩٦٠م أنشأت ثاني محطة تعمل بالديزل في منطقة التواهي بمدينة عدن، بقدرة ٦ ميغا واط، وفرت هذه المحطة الكهرباء للمنطقة والميناء الذي برز دوره ونشاطه كميناء عالمي، حيث كان يعتبر ثالث ميناء بعد مينائي نيويورك وليفربول وقتها، حيث كان عدد السفن التي تدخله ٨ ألف سفينة سنوياً، وفي عام ١٩٦١م تم إنشاء ثالث محطة تعمل بوقود الديزل بمنطقة خور مكسر بقدرة ٤.٥ ميغا واط، بهدف تغطية احتياجات القاعدة الجوية البريطانية في المنطقة ومطار عدن الدولي واحتياجات السكان، وفي عام ١٩٦٦م أنشأت هيئة الكهرباء العدنية أول محطة غازية بقدرة ١٣ ميغا واط بمنطقة حفيف بالمعلا، وخلال الفترة ١٩٦٧ - ١٩٧٤م لم يطرأ أي تطور أو نمو لقطاع الكهرباء بسبب انشغال الدولة بترتيب أوضاعها الداخلية بعد الاستقلال، وفي عام ١٩٧٥م أنشئت محطة تعمل بالديزل بقدرة ٢٠ ميغا واط بموقع المحطة السابقة التي

(*) تقاس القدرة الكهربائية الفعالة لمحطات التوليد بالوحدات الآتية:

الواط = جول/ثانية ، الكيلو واط (ك و) = ١٠٠٠ واط ، الميغا واط (م و) = ١٠٠٠ كيلو واط ، الجيجا واط (ج و) = ١٠٠٠ ميغا واط.
(الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة والكهرباء والطاقة، المؤسسة العامة للكهرباء، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، صنعاء، ٢٠١٠م، ص ٦.)

(**) نتيجة لكون مدينة عدن حينذاك مستعمرة بريطانية.

(١) المؤسسة العامة للكهرباء، أنظر الموقع الإلكتروني

<http://www.pecye.net/index.php?mod=contents&do=view&cid=٣&id=٥١> تاريخ التصفح ٢٠١١/٢/١٠م

بنيت عام ١٩٦١، وسميت محطة خور مكسر، وعززت عام ١٩٨١م بإضافة ٨ ميغا واط لمواجهة زيادة الطلب على الكهرباء في المدينة، وفي عام ١٩٨٢م أنشئت محطة توليد المنصورة بقدرة ٦٤ ميغا واط، وفي عام ١٩٨٦م بدأ تشغيل أول مولد من محطة الحسوة البخارية بقدرة ٢٥ ميغا واط، ثم تم تشغيل المولد الثاني عام ١٩٨٧م، وتم تركيب المولدات الخمسة للمحطة بنفس القدرة عام ١٩٩١م (بعد الوحدة)، وبذلك تكون أكبر محطة في منظومة عدن الكهربائية ليكون إجمالي منظومة عدن الكهربائية قد بلغ ٢١٧ ميغا واط عام ١٩٩٠/١٩٩١م^(١).

ب- تطور الطاقة الكهربائية في الشطر الشمالي:

لم يعرف الشطر الشمالي الطاقة الكهربائية إلا عام ١٩٥٠م بعد استيراد مولدات الديزل من قبل بعض التجار، وهي مولدات محدودة القدرة، إذ لا تتجاوز قدرة الواحد منها ١٥٠ كيلو واط، وفي عام ١٩٥٢م تأسست أول شركة أهلية للكهرباء في الحديدة، سميت بشركة كهرباء ومياه الحديدة، وتم بناء محطة توليد صغيرة الحجم بمنطقة الكورنيش بقدرة ٣٠٠ كيلو واط، وفي عام ١٩٥٥م تأسست ثاني شركة أهلية في سميت شركة تعز الأهلية، وأنشئت محطة بمولدات صغيرة لخدمة المرافق الخاصة بالإمام، قدرتها ٩٥٠ كيلو واط^(٢).

وفي عام ١٩٥٨م تأسست أول شركة أهلية بصنعاء سميت بالشركة الأهلية للكهرباء والمياه، وهي الشركة الأهلية الثالثة، وأنشأت محطة توليد صغيرة أيضاً، بقدرة ٣١٥ كيلو واط، وبلغ إجمالي القدرة الإنتاجية للمحطات قبل ثورة ٢٦ سبتمبر عام ١٩٦٢م ١.٦ ميغا واط، وبلغ عدد المستفيدين في الثلاث المدن (الحديدة، تعز، صنعاء) ١٠ ألف مشترك، ونظراً لأهمية الكهرباء فقد استمر التوسع في تقديم خدمة الكهرباء بعد قيام الثورة لتشمل عدداً أكبر من المواطنين حيث وصلت إلى مدن أخرى ومنها إب وذمار والبيضاء وغيرها، وفي ١٩٧٥/٧/١م صدر القانون رقم (١٢) لسنة ١٩٧٥م بدمج شركات الكهرباء الأهلية الثلاث في مؤسسة الكهرباء التي تبنت إنشاء محطات جديدة للكهرباء لمواجهة الاحتياج المتنامي للطاقة الكهربائية، حيث تم تعزيز قدرات محطة صنعاء القديمة والتي بنيت عام ١٩٥٨م

(١) محمد، زكي أحمد مرشد، منظومة الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية، أطروحة دكتوراه، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، معهد العلوم والدراسات العربية، ٢٠٠٣م. ص ٢٦ - ٢٨.

(٢) المؤسسة العامة للكهرباء، أنظر الموقع الإلكتروني

<http://www.pecye.net/index.php?mod=contents&do=view&cid=٣&id=٥١> تاريخ التصفح ٢٠١١/٢/١٠م

ورفعت قدرتها من ٠.٣ ميغا واط إلى ١٥ ميغا واط وبصورة تدريجية من عام ١٩٧٨م حتى عام ١٩٨٩م، كما تم إنشاء محطتي ذهبان في صنعاء بقدرة ١٨ ميغا واط وعصيفره في تعز بقدرة ١٦ ميغا واط عام ١٩٧٩م، وفي الحديدة أنشئت محطة توليد الكورنيش عام ١٩٨٠م بقدرة ٧.٥ ميغا واط، وأنشئت محطة الحالي في الحديدة عام ١٩٨١م وبقدرة توليدية ١٦ ميغا واط^(١)، ونتيجة لزيادة الطلب على الكهرباء لمواكبة النمو المستمر في مختلف مجالات الحياة استدعى بناء محطات التوليد البخارية الكبيرة وتطوير شبكات التوزيع للاستفادة من تلك الطاقة المولدة التي أنتجتها محطة رأس كتيب البخارية التي افتتحت في عام ١٩٨٤م وكانت قدرتها التوليدية ١٥٠ ميغا واط ومحطة المخاء البخارية التي افتتحت في عام ١٩٨٧م وبقدرة توليدية مقدارها ١٦٠ ميغا واط، وبهذا تكون قدرة المنظومة الكهربائية قد ارتفعت إلى ٣٨٣ ميغا واط، وبذلك غطت الاحتياج للكهرباء في المدن الرئيسية الواقعة في المثلث صنعاء - تعز - الحديدة، بالإضافة إلى عمران وتزويد مصنعي الإسمنت في كل من باجل وعمران بالطاقة، كما أنشأت العديد من محطات الديزل في عدد من المدن في المحافظات الأخرى لتغطية الاحتياج من الكهرباء^(٢).

٢- مرحلة الوحدة اليمنية: ١٩٩٠ حتى ٢٠٠٩م :

تعد الوحدة اليمنية أعظم إنجاز في تاريخ الشعب اليمني، فبالوحدة تحقق توحيد الأرض والإنسان والإمكانات والموارد، ووضعت البرامج والخطط لتطوير وتعزيز قدرات محطات التوليد الكهربائية وبناء محطات جديدة، حيث أقيمت محطة حجة بقدرة توليد ٣.٢٣ ميغاواط عام ١٩٩٣م، وفي عام ١٩٩٩م تم تعزيز محطة صنعاء بقدرة توليد إضافية ٣ ميغاواط لترتفع قدرتها إلى ١٨.٥ ميغاواط، وفي عام ٢٠٠٠م تم بناء محطة ذهبان ٢ في صنعاء وتعمل بالديزل بقدرة ٣٠ ميغا واط، وفي العام نفسه تم تعزيز محطة ذهبان الأولى بوحدة ديزل بلغت قدرتها ٣ ميغاواط، وبذلك ارتفعت قدرات التوليد في المنظومة الوطنية من ٦٠٧.٤ ميغاوات عام ١٩٩١/٩٠م إلى ٦٤٦.٦٣ ميغاواط عام ٢٠٠٠م^(٣)، أما التوسعات

(١) محمد، زكي أحمد مرشد، مصدر سابق، ص ٨.

(٢) المؤسسة العامة للكهرباء، أنظر الموقع الإلكتروني

(٣) محمد، زكي أحمد مرشد، مصدر سابق، ص ٦١. <http://www.pecye.net/index.php?mod=contents&do=view&cid=٣&id=٥١> تاريخ التصفح ٢٠١١/٢/١٠م

الكهربائية بحسب المشتركين فكانت متباينة حيث شملت ٤٨٦ ألف مشترك عام ١٩٩١م، أما عام ١٩٩٥م فقد وصل عدد المشتركين إلى ٥٤٧ ألف مشترك، ثم ارتفع عدد المشتركين إلى ٨٠٩ ألف مشترك عام ٢٠٠٠م، وفي عام ٢٠٠٣م وصل عدد المشتركين إلى ٩٩٦ ألف مشترك^(١)، ثم ارتفع عدد المشتركين إلى ١١٢٢ ألف مشترك عام ٢٠٠٥م، وفي عام ٢٠٠٧م وصل عدد المشتركين إلى ١٣٤٢ ألف مشترك، أما في عام ٢٠٠٨م فقد وصل عدد المشتركين إلى ١٤٥٠ ألف مشترك^(٢).

ويلاحظ أن قطاع الكهرباء لا يزال عاجزا عن تلبية الحاجة للمجتمع اليمني وذلك نتيجة للتوزيع الجغرافي للسكان الذي يمتاز بتجمعات سكانية (قرى) متباعدة تشكل ٧٥% من سكان البلاد، وعجز ميزانية الدولة وعدم قدرتها على تحمل أعباء مشاريع كبيرة وجديد بسبب استنزاف المال العام خلال فترة تقاسم السلطة بعد الوحدة وازداد العجز كثيرا بعد أحداث ١٩٩٤م، هذا بالإضافة إلى التكلفة العالية لتشغيل المحطات، والذي يعود سببه إلى الاعتماد على مشتقات النفط في التوليد الحراري، وافتقار اليمن لمصادر التوليد الرخيصة، كالأنهار والشلالات وغيرها.

وبمقارنة إنتاج الطاقة الكهربائية عام ١٩٩١م فقد كان ١٩٧٠ جيجا واط/ساعة منها ١٤٧٢ جيجا واط/ساعة من المحطات البخارية و٤٩٨ جيجا واط/ساعة من محطات الديزل، ثم ارتفع الإنتاج إلى ٢٤٢٢ جيجا واط/ساعة عام ١٩٩٥م منها ١٨٦٧ جيجا واط/ساعة من المحطات البخارية و٥٥٥ جيجا واط/ساعة من محطات الديزل^(٣)، وفي عام ٢٠٠١م وصل الإنتاج إلى ٣٦٤١ جيجا واط/ساعة منها ٢٧٦٠ من المحطات البخارية و٨٨١ جيجا واط/ساعة من محطات الديزل، انظر الجدول (٧) والشكل (٤)، ثم ارتفع الإنتاج إلى ٤٣٦٩ جيجا واط/ساعة عام ٢٠٠٥م، أما في عام ٢٠٠٩م فقد وصل الإنتاج إلى ٦٧٤٨.٩ جيجا واط/ساعة منها ٢٦٣٢.٣ جيجا واط/ساعة من المحطات البخارية و٢٣٥٨ جيجا واط/ساعة من محطات الديزل وفي هذا العام دخلت محطات إنتاج الكهرباء بالغاز حيث أنتجت ٣.٥٢ جيجا واط/ساعة، ومع أن هذه النسبة بلغت الحد الأقصى لها إلا أنها لا تلبى حاجة

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء، كتاب الإحصاء السنوي ٢٠٠٣، صنعاء، ٢٠٠٤م، ص ١١٦.

(٢) الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة والكهرباء والطاقة، المؤسسة العامة للكهرباء، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، صنعاء، ٢٠١٠م، ص ١٨.

(٣) الجمهورية اليمنية، كتاب الإحصاء السنوي ٢٠٠٣، مصدر سابق، ص ١١٦.

المشتركين، ولطاقة الكهربائية دوراً مهماً في التطور الاجتماعي من خلال رفع دخل العاملين في هذه المؤسسة وبلغ عدد الموظفين الرسميين ١٥٠٢٤ موظف عام ٢٠٠٩م، إضافة إلى إيجاد فرص عمل كثيرة في شتى النواحي الاقتصادية معتمدة على هذه الطاقة^(١).

جدول (٧) إنتاج الكهرباء في الجمهورية اليمنية خلال الفترة من ١٩٩١ - ٢٠٠٩م (جيجا واط/ساعة)

السنة	١٩٩١	١٩٩٥	٢٠٠١	٢٠٠٥	٢٠٠٩
الإنتاج	١٩٧٠	٢٤٢٢	٣٦٤١	٤٣٦٩	٦٧٤٨.٩

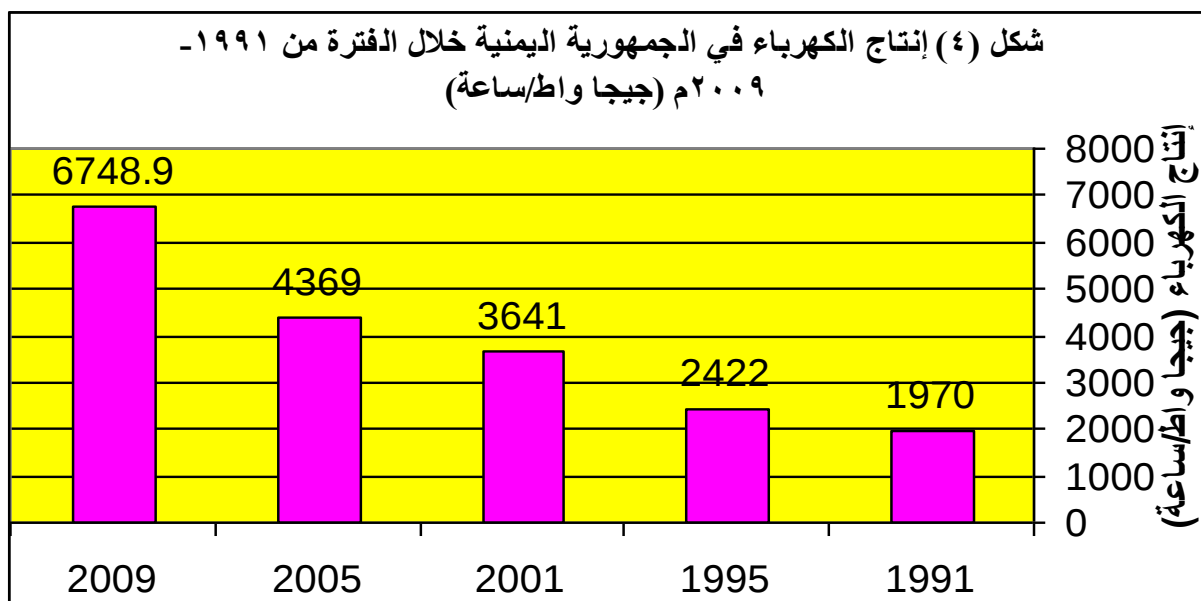
المصدر: اعتماداً على:

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء،

كتب الإحصاء السنوي لسنوات من ٢٠٠٣ - ٢٠٠٩م.

(٢) الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة والكهرباء والطاقة، المؤسسة العامة للكهرباء، التقرير السنوي لعام

٢٠٠٩م، صنعاء، ٢٠١٠م. ص ٥٨.



المصدر من عمل الباحث اعتماداً على الجدول (٧)

أ- مصادر توليد الطاقة الكهربائية:

إن عملية توليد أو إنتاج الطاقة الكهربائية هي عملية تحويل الطاقة من شكل إلى آخر حسب مصادر الطاقة المتوفرة في مراكز الطلب على الطاقة الكهربائية وحسب الكميات المطلوبة لهذه الطاقة، الأمر الذي يحدد أنواع محطات التوليد وكذلك أنواع الاستهلاك وأنواع

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء، كتاب الإحصاء السنوي ٢٠٠٩م. ص ٧٣.

الوقود ومصادره كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وطاقتها، ومن هذه المصادر ما هو مستغل في توليد الكهرباء ومنها ما يمكن استغلاله ولم يستغل بعد، ومحطات التوليد الحرارية هي المستعملة في بلادنا، ويمكن تقسيمها إلى الآتي:

١ - **محطات المازوت والديزل^(*)**: بلغ استهلاك هذه المحطات من الوقود عام ١٩٩١م ٥٥٣ مليون لتر منها ٥٣٦ مليون لتر من المازوت و ١٧ مليون لتر من الديزل، وارتفع الاستهلاك عام ١٩٩٥م إلى ٧٩٦ مليون لتر منها ٦٩٢ مليون لتر من المازوت و ١٠٤ لتر من الديزل ثم ارتفع الاستهلاك عام ٢٠٠٠م إلى ١١٠٢ مليون لتر منها ٩٧٠ مليون لتر من المازوت و ١٣٢ مليون لتر من الديزل^(١)، ثم ارتفع الاستهلاك عام ٢٠٠٥م إلى ١٤١٦.٤ مليون لتر منها ٩٣٥.٤ مليون لتر من المازوت و ٤٨١ مليون لتر من الديزل^(٢)، ثم ارتفع الاستهلاك عام ٢٠٠٩م حتى وصل الاستهلاك إلى ١٩٧٦ مليون لتر منها ١٠٨٠ مليون لتر من المازوت و ٨٩٦ مليون لتر من الديزل^(٣).

٢ - **المحطات الغازية** : تعتبر محطات توليد الكهرباء العاملة بالتوربينات الغازية حديثة العهد نسبياً، وهي ذات ساعات وأحجام مختلفة من ١ ميغا واط إلى ٢٥٠ ميغا واط، وتمتاز مولدات هذه المحطات ببساطتها وسرعة تركيبها وسهولة صيانتها وهي لا تحتاج إلى مياه كثيرة للتبريد، كما تتمتاز بإمكانية استعمال العديد من أنواع الوقود (البترول الخام النقي - الغاز الطبيعي - الغاز الثقيل) وتمتاز كذلك بسرعة التشغيل وسرعة الإيقاف^(٤)، وهي محطات أنشأت حديثاً في الجمهورية اليمنية^(*) كمحطة مأرب الغازية بقدرة توليد تبلغ ٣٤١ ميغا وات ومحطة حضرموت الغازية بقدرة ٢٥ ميغا وات وأنشأت من قبل القطاع الخاص،

(*) محطات الطاقة ذات الاحتراق الداخلي هي عبارة عن آلات تستخدم الوقود السائل حيث يحترق داخل غرف احتراق بعد مزجها بالهواء بنسب معينة، فتتولد نواتج الاحتراق وهي عبارة عن غازات على ضغط مرتفع تستطيع تحريك المكبس كما في حالة ماكينات الديزل أو تستطيع تدوير التوربينات حركة دورانية كما في حالة التوربينات الغازية، أما محطات التوليد البخارية فتعتبر محولا للطاقة فهي تستعمل أنواع مختلفة من الوقود حسب الأنواع المتوفرة مثل الفحم الحجري أو البترول السائل أو الغاز الطبيعي أو الصناعي، وتمتاز المحطات البخارية بكون حجمها ورخص تكاليفها بالنسبة لإمكاناتها الضخمة كما تتمتاز بإمكانية استعمالها لتحلية المياه المالحة، الأمر الذي يجعلها ثنائية الإنتاج خاصة في البلاد التي تقل فيها مصادر المياه العذبة.

(١) الجمهورية اليمنية، كتاب الإحصاء السنوي ٢٠٠٣، مصدر سابق، ص ١١٨.

(٢) الجهمي، فارس، إحصاءات الطاقة في اليمن، ورقة عمل مقدمة إلى اجتماع فريق الخبراء بشأن جمع وتحليل إحصاءات ومؤشرات الطاقة، بيروت، ٣-٥ مارس، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، ٢٠٠٩م. ص ٥.

(٣) الجمهورية اليمنية، وزارة الكهرباء والطاقة، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، مصدر سابق، ص ١٩.

(٤) طرق توليد الطاقة الكهربائية، أنظر الموقع <http://www.khayma.com/madina/power.htm> ، تاريخ التصفح ١٧/٣/٢٠١١م.

(**) نعتي بذلك المحطات ذات الإنتاج المعول عليه لسد متطلبات السكان بشكل كبير، أما المحطات الغازية البسيطة الإنتاج فقد دخلت الجمهورية اليمنية منذ عهد الاحتلال البريطاني.

ونتيجة لكون هذه المحطات بدأت العمل في الربع الأخير من عام ٢٠٠٩م فإن بيانات استهلاكها للوقود غير منشورة .

ب- المشاكل التي تواجه قطاع الكهرباء في الجمهورية اليمنية:

يواجه قطاع الكهرباء عديداً من المشاكل يتمثل أبرزها في الآتي:

(١) **رأس المال اللازم للاستثمار في المنشآت الكهربائية:** تواجه الجمهورية اليمنية مشكلة واضحة في نقص رأس المال اللازم لبناء منشآت جديدة أو تطوير المنشآت العاملة وذلك بدليل أن بناء المحطات الكهربائية الجديدة أو تطوير المحطات القائمة يستمر العمل به لسنوات كثيرة، كما أن الانتقال من مرحلة إلى أخرى في المحطة الواحدة لا يتم إلا بعد فترة زمنية طويلة.

(٢) **تسعيرة الطاقة الكهربائية:** تتفاوت التعرفة الكهربائية بحسب أنواع المستهلكين، فتبلغ التعرفة لصغار المستهلكين ١٠.٥٤ ريال/ك و س وهذه التعرفة ظلت ثابتة من ٢٠٠٥م حتى اليوم، أما التعرفة لكبار المستهلكين فبلغت ١٦.٨٦ ريال/ك و س عام ٢٠٠٥م، ارتفعت هذه التعرفة حتى وصلت إلى ٣٠ ريال/ك و س عام ٢٠٠٩م، أما القطاع الحكومي فبلغت التعرفة به ١٨.٦٨ ريال/ك و س عام ٢٠٠٥م، ارتفعت التعرفة حتى وصلت إلى ٣٠ ريال/ك و س عام ٢٠٠٩م، وعليه يكون معدل سعر الكيلو و ات ساعة لجميع المستهلكين ١٢.٧٣ ريال عام ٢٠٠٥م، وارتفعت إلى ١٤ ريال عام ٢٠٠٩م^(١) ومن خلال العرض السابق نلاحظ أنه مع ارتفاع تسعيرة الطاقة الكهربائية إلا أن انخفاض سعر الريال اليمني جعل المؤسسة تعاني من مشكلات عدة حيث تحتاج المعدات إلى قطع غيار تسعر بالدولار والذي تزايد سعر الصرف له مؤخراً إلى ٢٢٠ ريال (٢٠١٠م)، وبذلك نلاحظ تدني هذه التسعيرة حيث لا تسمح العائدات بتطوير المحطات أو إقامة محطات جديدة.

(٣) **المشاكل الفنية:** لقد نتج عن النمو في قطاع الكهرباء العديد من المشاكل بعضها ناتج عن قلة الكوادر ذات الخبرات الفنية اللازمة للتخطيط والتصميم والتنفيذ والمتابعة، وكذلك عدم كفاية القوى العاملة المدربة والماهرة والقادرة على استيعاب التكنولوجيا الجديدة حتى تتمكن من تشغيل وصيانة الأجهزة والمنشآت الكهربائية، فيبلغ عدد الموظفين من حملة

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة والكهرباء والطاقة، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، مصدر سابق، ص ٦٢.

الشهادات العليا ٥ دكاترة ومن الماجستير ١٧ ومن الدبلوم بعد الجامعة ٣٩ ومن البكالوريوس ٢٠٨٢ ومن الليسانس ٢٧٤ والدبلوم بعد الثانوية ٩٥٦ والثانوية العامة ٤٥١٤ و ٤٤٨٥ موظف يحملون الشهادة الأساسية فأدنى، إضافة إلى ٢١٨٣ موظف يعرف القراءة والكتابة و ٤٦٩ موظف أُمي^(١)، وعليه يمكن تلخيص المشاكل الفنية القائمة بما يأتي^(٢):

أ- عدم توفير أجهزة تخطيط مناسبة ينعكس عليها إرباكات كثيرة في أنظمة الطاقة الكهربائية ناتجة عن عدم توظيف المعلومات التي تبني عليها خطط التوسع في هذه الأنظمة بشكل سليم.

ب- التأخير في تنفيذ المشاريع بسبب المعوقات الموجودة في قطاع الإنشاءات المدنية المثلث بالأعباء، مع ضعف محطات التوليد وذلك بسبب طول الفترة اللازمة بين صيانات وحدات التوليد وعدم تكرارها بشكل منتظم.

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة والكهرباء والطاقة، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، مصدر سابق، ص ٧٣.

(٢) لطفي، علي، الطاقة والتنمية في الدول العربية، مصدر سابق، ص ١٣٦ - ١٣٨.

خلاصة:

يعد هذا الفصل محور ارتكاز الدراسة فقد تضمن في المبحث الأول المنهجية العلمية للدراسة واشتملت على تساؤلات الدراسة وأهميتها وأهدافها ، أما المبحث الثاني فقد وضع مفهوم الطاقة ومصادر ها وأنواعها وتطورها التاريخي، وظهر من خلال الدراسة العلاقة بين تطور إنتاج واستهلاك مصادر الطاقة والتغيرات المستمرة في خصائص السكان الاجتماعية والاقتصادية المختلفة ولذلك بدا تركيز الدراسات فيها بشكل متباين بين الدول.

كما بينت الدراسة تطور الطاقة في الجمهورية اليمنية من خلال تناول مصادر الطاقة المستغلة فيها، بدأ من اكتشاف احتياطي النفط عام ١٩٨٤م بكمية ٥٠٠ مليون برميل وتطوره حتى ٤ مليار برميل في الوقت الحاضر، ثم أوضحت تطور الإنتاج حيث وصل عام ٢٠٠٢م إلى أعلى المستويات (١٥٩.٩٢٣.٥٩٦ برميل) بعد ذلك تراجع الإنتاج إلى (١٠٧.٤١٥.٩٣٤ برميل) عام ٢٠٠٨م لقدّم الآلات المستخدمة وإهمال صيانتها وعدم تطويرها لتتواكب مع متطلبات العصر، وتناولت الدراسة تطور استهلاك النفط المحلية بحسب مشتقاته حيث بلغ إجمالي الاستهلاك ٤٤.١٣٢.٩٠٢ برميل عام ٢٠٠٨م وما تبقى يصدر للخارج ويشكل ٩٣ - ٩٧% من الصادرات اليمنية، كما بينت الدراسة تطور احتياطي الغاز، وتطور الإنتاج الذي يبشر بعائدات كبيرة يمكن أن تسهم في تنمية البلاد في شتى النواحي الاقتصادية الاجتماعية (٥٠٠ مليون دولار سنوياً من مشروع تسهيل الغاز ببلحاف)، وبينت الدراسة بدا إنتاج الطاقة الكهربائية وتطورها وتوزيع محطات التوليد جغرافياً بحسب مكان إقامتها، ومصادر توليدها حيث بينت الدراسة اعتماداً محطات التوليد على المازوت والديزل (محطات بخارية واحتراق داخلي) ودخول المحطة الغازية في مأرب في الربع الأخير من ٢٠٠٩م، وبينت كمية استهلاك كل نوع من هذه المصادر حيث وصل إجمالي استهلاك الوقود إلى ١٩٧٦ مليون لتر منها ١٠٨٠ مليون لتر مازوت و ٨٩٦ مليون لتر ديزل ، هذا بالإضافة إلى تسليط الضوء على المشكلات التي تواجه قطاع الطاقة الكهربائية في اليمن والتي هي جزء من محور دراستنا.

الفصل الثاني الإشعاع الشمسي والرياح والعوامل المؤثرة فيهما

المبحث الأول: الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة فيه

المبحث الثاني: الرياح والعوامل المؤثرة فيها

مدخل:

بعد أن بينت الدراسة في الفصل الأول مفهوم الطاقة وأنواعها ومصادرها في الجمهورية اليمنية وأظهرت عجز الطاقة الكهربائية عن سد متطلبات السكان، لذلك ستتناول الدراسة الإشعاع الشمسي والرياح كونهما المصدرين الأساسيين لإنتاج الطاقة الشمسية والريحية المتجددة فيمكنهما المساهمة في حل مشكلة عجز الطاقة الكهربائية في البلاد، ويهدف هذا الفصل في مبحثه الأول لبيان مفهوم الإشعاع الشمسي ومكوناته وأهميته ووظائفه ووسائل انتقاله، والعوامل الجغرافية المؤثرة فيه على مدار العام في الجمهورية اليمنية لغرض معرفة مدى ثبات كميته التي على ضوءها يتبين جدوى إقامة مزرعة شمسية من عدمه.

أما المبحث الثاني فيتناول الرياح من حيث مفهومها وسرعتها واتجاهها وتحديد العوامل الجغرافية المؤثرة فيها لكونها قاعدة أساسية يتم على ضوء نتائجها معرفة جدوى إنشاء مزرعة رياح من عدمه.

المبحث الأول: الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة فيه

أولاً: مفهوم الإشعاع الشمسي وأهميته:

يقصد به انتقال الطاقة بين جسمين ولو لم يكن بينهما وسط مادي كما هو الحال بانتقال الطاقة الشمسية عبر الفضاء بشكل إشعاعات إلى مختلف الاتجاهات^(١)، أي أنه عبارة عن وسيلة لنقل الطاقة من الشمس عبر الغلاف الجوي إلى سطح الأرض على شكل إشعاعات قصيرة الموجة وتكون المصدر الرئيسي للطاقة المستخدمة على الأرض.

كما يعرف بأنه عبارة عن مجموعة من الأمواج الأثرية الكهرومغناطيسية مختلفة الأطوال التي مصدرها الشمس، وينتقل الإشعاع الشمسي عبر الغلاف الجوي بسرعة الضوء^(*)، ويصل إلى سطح الأرض جزء من مجموع الأشعة الشمسية يستغرق ٨ دقائق ليصلها^(٢)، ويعد الإشعاع الشمسي المصدر الوحيد للطاقة في الغلاف الجوي، فهو يساهم بـ ٩٩.٩٧% من طاقة سطح الأرض وغلافها الجوي، ويبلغ ما تشعه الشمس إلى الفضاء المحيط بها بـ ٥٦×١٠^{٢٦} حريرة في الدقيقة، يصل منها إلى سطح الأرض نحو ١/٢٠٠٠ مليون حريرة، وهذه الكمية التي يتلقاها سطح الأرض في اليوم الواحد كافية لتوليد نحو ١٠٠٠ منخفض جوي كبير، أو ١٠٠٠٠ إعصار، أو ١٠٠ مليون عاصفة رعدية، وتزيد كمية الأشعة الشمسية التي يتلقاها سطح الأرض في السنة عن ٢٠ ألف ضعف الطاقة المستغلة سنوياً من الوقود الأحفوري^(٣).

ويعد الإشعاع الشمسي العنصر الأهم من بين عناصر المناخ، لأنه المسئول عن حدوث بقية العناصر المناخية الأخرى سواء بشكل مباشر أو غير مباشر^(٤).

ثانياً: الثابت الشمسي:

وهو كمية الطاقة الشمسية الساقطة عمودياً من الشمس على وحدة المساحة خلال وحدة زمنية، فكمية الأشعة التي تبعثها الشمس ثابتة تقريباً، وما يتلقاه السنتمتر المربع الواحد من

(١) العقاب، أحمد محمد نعمان، علاقة المناخ بإنتاج محصول الذرة البيضاء في اليمن، رسالة ماجستير غير منشورة، العراق، جامعة الموصل، كلية الآداب، ٢٠٠٢م. ص ٣٩.

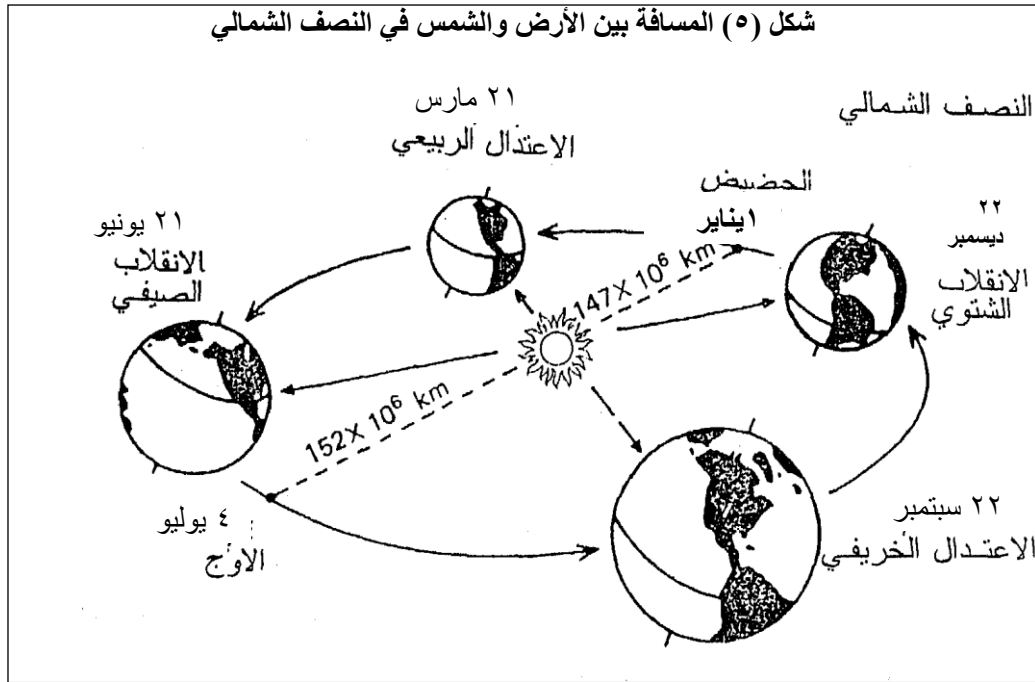
(*) سرعة الضوء ثابتة = ٣٠٠ ألف كم/ث.

(٢) شريف، إبراهيم إبراهيم، جغرافية الطقس، جامعة بغداد، ١٩٩١م. ص ٤٦.

(٣) موسى، علي حسن، أساسيات علم المناخ، بيروت، دار الفكر المعاصر، ١٩٩٤م. ص ٢٠.

(٤) العائدي، دراف، أثر العوامل المناخية على استهلاك الطاقة بالاحياء السكنية الجماعية في المناطق الشبه جافة- دراسة حالة مدينة بوسعادة، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة المسيلة، معهد التسيير والتقنيات الحضرية، الجزائر، ٢٠٠٨/٢٠٠٩م. ص ١٩.

سطح الغلاف الجوي للأرض هو ١.٩٤ حريرة/سم^٢/دقيقة ، إذ أن اختلافها لا يتعدى $\pm 3\%$ ، وهذا مرده إلى مدار الأرض الإهليجي (شبه البيضوي) الذي ينجم عنه اختلاف في بعد الأرض عن الشمس خلال دورانها السنوي^(١) حيث تكون المسافة بينهما دائمة التغير، فأقرب مكان بينهما هو يوم ٣ يناير، حيث تبلغ المسافة بينهما ١٤٧ مليون كم، بينما تكون المسافة بينهما في أقصى حد لها يوم ٤ يوليو حيث تبلغ ١٥٢ مليون كم، (شكل ٥)، وهذا الفرق في المسافة بين الشمس والأرض سيؤدي إلى اختلاف كمية الأشعة الشمسية التي تصل الغلاف الجوي^(٢) ، كما أن النشاط الشمسي يؤدي إلى زيادة إنقاص الثابت الشمسي من مكان إلى آخر، ومن فترة زمنية إلى أخرى^(٣) وذلك من خلال البقع الشمسية^(*)، ولا يصل إلى سطح الأرض سوى نسبة محدودة من قيمة الثابت الشمسي، نظراً لاختلاف مركبات الجو(بخار



المصدر: سمور، حسن، وعلي غانم، مدخل إلى الجغرافيا الطبيعية، دار الصفاء للنشر والتوزيع، عمان، ١٩٩٨م، ص ١٣.

(١) موسى، علي، الوجيز في المناخ التطبيقي، دمشق، دار الفكر، ١٩٨٢م. ص ١٢-١٣.
(٢) موسى، صلاح بشير، المناخ الطبيعي، الإسكندرية، المكتب الجامعي الحديث، ٢٠٠٥م. ص ٦٣.
(٣) نوفل، مجاهد عبد العزيز مبخوت، تأثير المناخ على زراعة وإنتاج محصول البرتقال في اليمن- دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير غير منشورة، العراق، جامعة البصرة، كلية الآداب، ٢٠٠٥م. ص ٥٦.
(*) هي أجزاء ضخمة من قرص الشمس، منها ما هو بحجم الأرض ومنها ما هو أكبر أو أصغر، وتبدو معتمة بالنسبة لما حولها، وتنتشأ عندما يضعف وهج الانفجارات التي تنبعث من جوف الشمس إلى الفضاء ، وتشع فيه ثلث- ربع حرارتها فتبرد إلى حوالي ٤٠٠ درجة مئوية ويقتم لونها، وتحدث الانفجارات متكررة. ويكون العمر الافتراضي لها ٣ أيام، ويرى الباحثون أن الانفجارات تصل ذروتها في دورات تتراوح مداها بين ١٧ و ١٩ سنة، وتحدث غالباً كل ١١ سنة، ويترتب على حدوثها زيادة في مقدار الثابت الشمسي، وبالتالي زيادة في كثافة ما يصل من هذا الإشعاع إلى سطح الأرض لمزيد من التفاصيل أنظر صلاح بشير موسى، المناخ الطبيعي، ص ٦٠- ٦١.

الماء، غبار، الأوزون،... وغيرها) والتي تؤثر على الأشعة الواردة إلى سطح الأرض، فجزء من الأشعة الداخلة إلى الجو يمتص من قبل بعض المركبات، وجزء ينتشر في اتجاهات مختلفة، والجزء الأكبر ينعكس باتجاه الفضاء، في حين يصل ٤٧% من كمية الإشعاع التي تصل الغلاف الجوي إلى سطح الأرض، وترتفع هذه النسبة إلى ٧٥% في حالة كون السماء خالية من الغيوم، لأن الغيوم لها درجة عاكسية كبيرة، في حين أن نسبة امتصاصها محدودة جداً لا تزيد عن ٥% من الأشعة التي تتلقاها، وذلك أن نسبة من الأشعة تضيع بالانتشار والامتصاص والانعكاس، وتعتمد عمليتي الامتصاص والانتشار على طول الموجات الإشعاعية، وعلى حجم المركبات الغازية في الجو، فالموجات الإشعاعية لا تنتشر بدرجة متساوية، لأن الموجات الأكثر قصراً تكون أكثر عرضة للانتشار، وتكون الجزئية الناشرة ذات قطر أقل من طول الموجة الإشعاعية، وإن ٦% من الأشعة الشمسية تعود إلى الفضاء من الجو، وإذا كان الأكسجين والأوزون يمتصان الأشعة قصيرة الموجة التي يتراوح طولها بين ٠.٠٢ - ٠.٢٩ ميكرون^(*)، فإن لبخار الماء دوراً كبيراً في امتصاص الأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة^(١)، ونتيجة لقلّة ملوثات الجو في الجمهورية اليمنية كونها دولة غير صناعية، إضافة لصفاء السماء لكونها في المنطقة المدارية الجافة فهي تحظى بكمية كبيرة من الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطحها وهذا مؤشر على إمكانية توليد الطاقة الشمسية فيها اقتصادياً في كثير من المناطق.

ثالثاً: مكونات الإشعاع الشمسي: يتكون الإشعاع الشمسي بحسب طول موجاته من:

١- **الأشعة فوق البنفسجية:** وهي الأشعة ذات الطول الموجي الأقصر، حيث يقل طولها الموجي عن ٠.٠٤ ميكرون ومنها الأشعة السينية وأشعة جاما، ويمتص غاز الأوزون في طبقة التراتوسفير الجزء الأكبر من هذه الأشعة^(٢)، وتشكل هذه الأشعة ٩% من مجموع الأشعة الشمسية الواصلة سقف الغلاف الجوي، ولا ينفذ منها إلى الأرض إلا جزءاً ضئيلاً جداً، لكنه يضر الإنسان إذا ما تعرض له لفترة زمنية طويلة خلال منتصف النهار عندما

(*) ميكرون وحدة قياس موجات والصفحة = ١/١٠٠٠ ملم.

(١) موسى، علي، الوجيز في المناخ التطبيقي، مصدر سابق، ص ١٢ و ١٣.

(٢) أبو سمور، حسن، وعلي غانم، المدخل إلى علم الجغرافية الطبيعية، دار الصفاء للنشر والتوزيع، عمان، ١٩٩٨م. ص ٢٣.

تكون زاوية سقوط الأشعة عمودية أو شبه عمودية، بينما تعد هذه الأشعة نافعة إذا ما تعرض لها الإنسان لفترة قصيرة في الصباح أو المساء عندما تكون زاوية سقوط الأشعة مائلة ^(١).

٢- الأشعة الضوئية: وتتميز هذه الأشعة عن غيرها بتمثيل الضوء الأبيض للنهار أو بالضوء السماوي الذي يلون السماء أو الضوء الأحمر الذي يكون الشفق ^(٢)، وتتراوح طول موجاتها بين ٠.٤ - ٠.٧ ميكرون، وتمثل ألوان الطيف (البنفسجي، الأزرق، الأخضر، الأصفر، البرتقالي، الأحمر) مرتبة حسب أطوال موجاتها تصاعدياً ^(٣)، ويوضح ذلك الجدول (٨)، وتشكل الأشعة الضوئية ٤٥% من مجموع الأشعة الشمسية.

جدول (٨) الأشعة الضوئية حسب أطوال موجاتها (ميكرون)

اللون	طول الأمواج	اللون	طول الأمواج
البنفسجي	٠.٤ - ٠.٤٥	الأصفر	٠.٥٥ - ٠.٦
الأزرق	٠.٤٥ - ٠.٥	البرتقالي	٠.٦ - ٠.٦٥
الأخضر	٠.٥ - ٠.٥٥	الأحمر	٠.٦٥ - ٠.٧

المصدر: غانم، علي أحمد، الجغرافيا المناخية، دار السيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمان، ٢٠٠٣م، ص٤٢.

٣- الأشعة تحت الحمراء (الحرارية): وهي أشعة غير مرئية يتراوح طول موجاتها بين ٠.٧ - ٤.٠ ميكرون، وتبلغ نسبتها ٤٦% من جملة الأشعة الشمسية، وسميت بالأشعة الحرارية لأنها ترفع درجة حرارة الأجسام عند امتصاصها ^(٤)، ويزداد تأثيرها الحراري كلما كبر طول موجتها، وهي المصدر الرئيسي للطاقة التي ترفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض.

رابعاً: أهمية الإشعاع الشمسي:-

إن للإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض أهمية كبرى على سطح الأرض فقد برزت في النصف الأخير من القرن العشرين الاهتمامات الواسعة بطاقة الإشعاع الشمسي كأهم بدائل الطاقة والتي تسمى بالطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية)، وهي الطاقة التي يتجه

^(١) غانم، علي أحمد، الجغرافيا المناخية، عمان، دار السيرة للنشر والتوزيع والطباعة، ٢٠٠٣م، ص٤١.

^(٢) شريف، إبراهيم إبراهيم، مصدر سابق، ص٤٧.

^(٣) عيسى، صالحة مصطفى، الجغرافيا المناخية، عمان، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، ٢٠٠٦م، ص٤١.

^(٤) العقاب، أحمد محمد نعمان، مصدر سابق، ص٣٩.

العالم حالياً لاستغلالها كبديل عن مصادر الطاقة الأحفورية، والتي بدأ الاحتياطي منها بالنفاذ نتيجة الاستهلاك العالمي المتزايد للطاقة، مما نتج عنه ارتفاع أسعارها، فضلاً عما تخلفه من تلوث بيئي واسع الانتشار، وللتغلب على ذلك فكر الإنسان بضرورة البحث عن مصادر جديدة للطاقة ومنها الإشعاع الشمسي ولذلك فقد انتشرت محطات رصد الإشعاع الشمسي على نطاق واسع في الدول المتقدمة لتقدير كمية الإشعاع الشمسي بشكل دقيق، لما له من دور في مختلف الدراسات الاقتصادية، وتحدد الطاقة الشمسية على سطح الأرض من خلال صافي الإشعاع الشمسي الواصل إلى أي منطقة، وذلك من خلال زاوية سقوط الأشعة وطول النهار، فعندما تكون زاوية سقوط الأشعة 90° تكون كثافة الطاقة الشمسية على أشدها، وتنخفض هذه الكثافة مع تناقص الزاوية حتى تختفي عندما تكون زاوية السقوط صفر^(١).

خامساً: وظائف الإشعاع الشمسي: للإشعاع الشمسي عدداً من الوظائف أهمها:

١- **إمداد الاقتصاد العالمي بالطاقة:** يعد الإشعاع الشمسي مصدر هام للطاقة المستخدمة في أنشطة الإنسان المختلفة، فالطاقة الشمسية التي امتصتها النباتات والحيوانات أثناء فترة عيشها شكلت بعد وفاتها وتحللها مع مرور الزمن الوقود الأحفوري في وقتنا الحالي، بالإضافة إلى أن الحرارة المستمدة من الشمس تلعب دوراً هاماً في تبخير المياه وارتفاع البخار للأعلى من اليابس والماء إلى الجو، وتساقط هذا الماء من الجو إلى سطح الأرض على شكل أمطار وانحداره من المرتفعات نحو المنخفضات شكلت مصدراً للطاقة المائية، كما أن الإشعاع الشمسي هو المسئول عن حدوث حركة الرياح لتباين كمياته فتعمل هذه الرياح على حمل اللقاح بين النباتات التي لا يثمر إلا بها، كما أن طاقة هذه الرياح تساعد في تسيير السفن والقوارب الشراعية وطحن الحبوب ونقل المياه من المجاري المائية إلى الحقول الزراعية.

٢- **عملية التمثيل الضوئي في النبات:** يعد الإشعاع الشمسي العامل الأساسي لعملية التمثيل الضوئي في نمو النبات الذي تقوم عليه حياة الإنسان والحيوان ضمن المنظومة البيئية.

(١) العبادي، عبد العزيز محمد حبيب، الطاقة الشمسية في العراق-دراسة في جغرافية الطاقة، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، العددان ٢٤ و٢٥، مطابع العاني، بغداد، ١٩٩٠م. ص ١٥.

٣- **تسخين الأرض:** من أهم وظائف الإشعاع الشمسي تزويد سطح الأرض وجوها بالحرارة التي تعد ضرورية لأحداث الطقس والمناخ، وتباين التسخين هذا ينتج عنه حركة الرياح التي تعد العنصر الرئيسي لتحريك توربينات توليد الطاقة الكهربائية من الرياح.

سادساً: وسائل انتقال طاقة الإشعاع الشمسي: تنتقل الطاقة بثلاث وسائل رئيسية هي ^(١):

١- **التوصيل:** هي وسيلة هامة لانتقال الطاقة بين جزيئات المواد الصلبة أو المتلامسة بحيث تكون جزيئاتها متصلة معاً، فالمعادن جيدة التوصيل للطاقة، بينما تعد السوائل والهواء من المواد ضعيفة التوصيل نسبياً، ودور عملية التوصيل في نقل الطاقة في الهواء فهو وبطيء جداً لكن تكمن أهميتها في انتقال الطاقة بين سطح الأرض والهواء الملامس له مباشرة، فالهواء الملامس لسطح الأرض يسخن بالتوصيل، وكذلك تنتقل الطاقة بالتوصيل في التربة نحو الأسفل، وخاصة بعد أن يسخن سطح الأرض في النهار.

٢- **الحمل:** هو عملية انتقال الطاقة عبر وسط يسمح بحرية حركة الجزيئات داخله من مكان إلى آخر ذي طاقة أقل، ولهذا فإن هذه الوسيلة مهمة في انتقال الطاقة عبر الغازات والسوائل نظراً لسهولة حركتها، وهي الوسيلة الرئيسية لانتقال الطاقة في الغلاف الجوي، وما التقلبات الجوية اليومية في المناطق المعتدلة والباردة إلا نتيجة مباشرة لتعاقب كتل هوائية ذات درجات حرارية متباينة ^(٢).

٣- **الإشعاع:** تشترط عمليتي نقل الطاقة بالحمل والتوصيل توافر وسط مادي لكي تنتقل الطاقة عبره، بينما انتقال الطاقة بالإشعاع لا يشترط ذلك، ولهذا فإن الإشعاع هو الوسيلة الوحيدة التي يتم بواسطتها انتقال الطاقة من الشمس إلى سطح، وإذا انتقلت الطاقة بالإشعاع عبر وسط شفاف وهو نوعان ما يؤثر على كمية الطاقة كالأوزون وبخار الماء وما لا يؤثر على كمية الطاقة المنقولة، والأرض تفقد جزء من طاقتها بالإشعاع طويل الموجة.

سابعاً: الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية والعوامل المؤثرة فيه:-

تمتاز أراضي الجمهورية اليمنية باستقبال كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي على مدار السنة، نتيجة لموقعها ضمن النطاق المداري بين خط الاستواء ومدار السرطان بين درجتي

(١) غانم، علي أحمد، مصدر سابق، ص ٣٨.

(٢) شحادة، نعمان، الجغرافيا المناخية- علم المناخ، ط ٥، عمان، دار المستقبل للنشر والتوزيع، ١٩٩٦م. ص ٦٤.

العرض ١٢ - ١٩.٥ شمالاً^(١)، فهي تمتد فوق ٧ درجات عرضية ، ويتضح ذلك من خلال الخارطة (١) وهذا الموقع الفلكي يظهر أن أراضي الجمهورية اليمنية تكون ضمن المناطق المثالية لتوليد الطاقة الشمسية، حيث تتراوح كمية الإشعاع الشمسي بين ٣٥٠ - ٦٥٠ كالوري^(*)/سم^٢/ساعة، وبمعدل يبلغ ٤٤٥ كيلو كالوري/سم^٢/يوم^(٢). ولكن لم يتم الاستفادة منه كمصدر للطاقة بشكل اقتصادي حتى اليوم، فكان يستفاد منه في تجفيف المحاصيل الزراعية واستخلاص الملح وتسخين المياه، بالإضافة إلى أنه في الآونة الأخيرة بدأ الاهتمام يتزايد بهذا المورد الطبيعي المتجدد في إنتاج الطاقة الكهربائية عن طريق استخدام الخلايا الشمسية المستوردة.

وتتباين كمية الإشعاع الشمسي الواصلة إلى الجمهورية اليمنية من وقت لآخر بسبب مجموعة من الضوابط الطبيعية التي يستحيل التحكم فيها أو تغييرها، وهي المسؤولة عن التأثير على عناصر المناخ على سطح الأرض، ومن ثم كان لها تأثيراً مباشراً على عناصر المناخ السائدة على الجمهورية اليمنية خلال شهور السنة وفصولها الأربعة.

ومن أهم العوامل الطبيعية التي تؤثر على الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية ما يأتي:

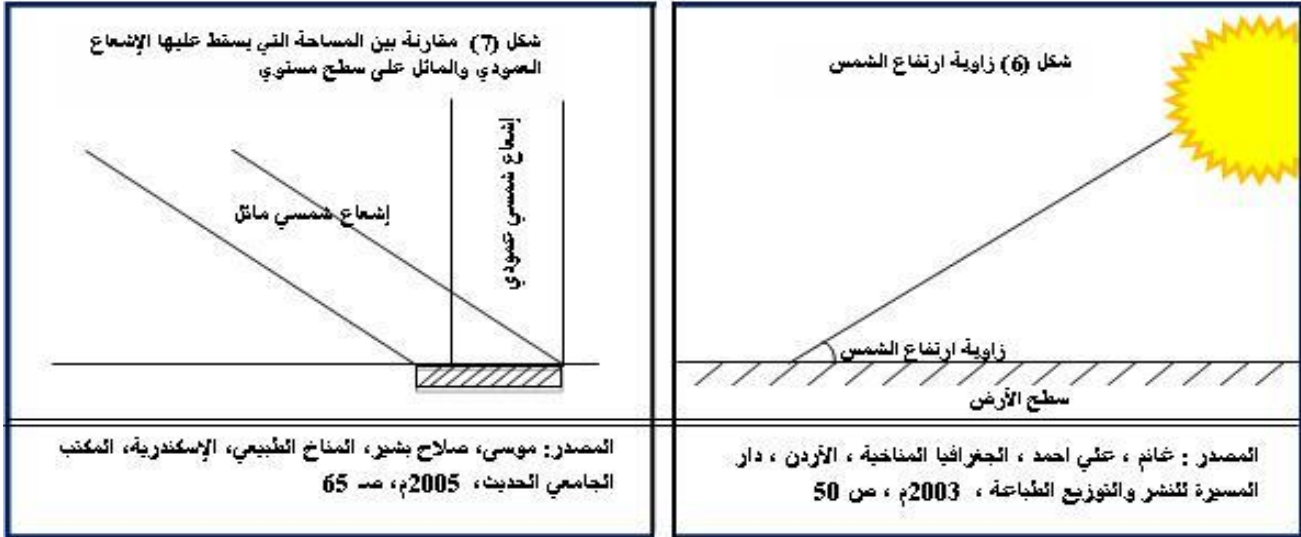
١- **زاوية سقوط الأشعة الشمسية** : وهي الزاوية المحصورة بين الشمس وسطح الأرض، أي زاوية ارتفاع الشمس عن الأفق، شكل (٦) وتختلف هذه الزاوية خلال اليوم بحسب درجات العرض فتكون الأشعة الشمسية أكثر قوةً إذا كانت زاوية سقوطها عمودية، وذلك لتركزها على مساحة أصغر وقصر المسافة التي تقطعها مما يجعلها أقل عرضة لعمليات التبديد الجوي (الامتصاص- الانعكاس - الانتشار) (شكل ٧) وهذا هو سبب جعل وحدة المساحة في العروض الدنيا تتلقى كمية أكبر من الطاقة الشمسية مقارنة بالعروض العليا وفي منتصف النهار أكبر مما هي عليه في أوقات النهار الأخرى وفي نصف السنة الصيفي أكبر مما هي عليه في نصف السنة الشتوي، ويستدل على أثر زاوية سقوط الإشعاع من كمية الطاقة التي تصل المكان ودرجة الحرارة المترتبة على ذلك فدرجة حرارة ساعات النهار تختلف خلال اليوم إذ أن كمية الطاقة تصل ذروتها في وقت الظهيرة عندما تكون الشمس

(١) الحفيان، عوض ابراهيم عبد الرحمن، الجغرافيا العامة للجمهورية اليمنية (عوامل التباين والتألف في البيئة اليمنية)، سلسلة إصدارات جامعة صنعاء رقم ٨، ٢٠٠٧م. ص ١٠٧.

(*) كالوري: هو مصطلح حريرة أو سعة وهي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة.

(٢) العماري، محمد حزام صالح بن صالح، التحليل الجغرافي للإمكانات المؤثرة في إنتاج محاصيل الحبوب وانعكاساتها على الأمن الغذائي في الجمهورية اليمنية دراسة في الجغرافية الاقتصادية، أطروحة دكتوراه، جامعة بغداد، كلية التربية أبن رشد، ٢٠٠٢م. ص ٣٢.

عمودية، وتقل في الصباح والعصر بسبب ميلان الأشعة، وتتأخر أعلى درجة للحرارة نهرا قليلا عن وقت الظهيرة بسبب أن الأرض تستمر في تخزين الحرارة في الساعات التي تلي وقت الظهيرة^(١)، والجمع بين زاوية قريبة من العمودية نهار طويل يوفر كمية هائلة من الطاقة في الصيف وخاصة في المناطق الواقعة بين ١٥-٣٠ درجة شمالا وجنوبا^(٢) والتي



تعد الجمهورية اليمنية جزءا من هذه المواقع (١٢ - ١٩.٥ شمالاً)، فالموقع بالنسبة لدوائر العرض ذا تأثير كبير على عناصر المناخ من حيث تحديد زاوية سقوط الأشعة الشمسية وطول النهار وما يترتب عليهما من تحديد للمناخ لأي منطقة على في الجمهورية اليمنية^(٣)، وكما يأتي:

أ- **زاوية السقوط في فصل الشتاء:** تتعامد الأشعة الشمسية على مدار الجدي في ٢١ ديسمبر، والذي يشهد ميلا للأشعة الشمسية الساقطة على الجمهورية اليمنية، ومن خلال الجدول (٩) والخريطة (٣) نجد أن زاوية الميل للأشعة الشمسية بحسب الأقاليم الطبيعية كما يأتي:

- **إقليم السهول الساحلية:** أن زاوية الميل للأشعة الشمسية في عدن وجزيرة سقطرى ٥٣.٤٠° و ٥٤.٤٠° الواقعتان على دائرتي عرض ١٢.٥٠° و ١٢.٦° على التوالي في ديسمبر، ثم ترتفع هذه الزاوية حتى تصل في فبراير إلى ٦٩.١٩° و ٧٠.٤٠°،

(١) موسى، صلاح بشير، المناخ الطبيعي، مصدر سابق، ص ٦٤.

(٢) سهاونة، فوزي، وزملائه، مدخل إلى الجغرافيا، عمان، دار وائل للنشر، ٢٠٠٢م، ص ١٠٠.

(٣) Miller, A. (١٩٧٦): Climatology, Methuen & Co. Itp. London. p ٣٥.

جدول (٩) زوايا ارتفاع الأشعة الشمسية الشهرية والفصلية وسط النهار على الجمهورية اليمنية

المعدل العام	الهضبة الشرقية			السهول الساحلية				المرتفعات الجبلية			المنخفضات الوسطى			الإقليم الفصل / الشهر	
	المعدل	سينون	مأرب	المعدل	سقطرى	عدن	الحديدة	المعدل	مكيراس	تعز	المعدل	صنعاء	صعدة		
٥٢	٥١.٤٤	٥٠.٣٢	٥٢.٥٥	٥٣.١	٥٤.٤٠	٥٣.٤٠	٥١.٤٦	٥٢.٤٥	٥٢.٣٤	٥٢.٥٥	٥٠.٢٥	٥١.١٨	٤٩.٣٢	ديسمبر	فصل الشتاء
٥٩.٩	٥٩.٣٥	٥٨.٢٣	٦٠.٤٦	٦٠.٩	٦٢.١٤	٦١.٣١	٥٩.٣٦	٦٠.٣٥	٦٠.٢٤	٦٠.٤٦	٥٨.٥٦	٥٩.٩	٥٧.٢٢	يناير	
٦٧.٦	٦٧.٢٤	٦٦.١٣	٦٨.٣٥	٦٨.٨٣	٧٠.٠٤	٦٩.١٩	٦٧.٢٦	٦٨.٢٥	٦٨.١٤	٦٨.٣٥	٦٥.٨٦	٦٦.٥٩	٦٥.١٢	فبراير	
٥٩.٨	٥٩.٣٥	٥٨.٢٥	٦٠.٤٥	٦٠.٩٥	٦٢.١٩	٦١.٣٠	٥٩.٣٦	٦٠.٣٥	٦٠.٢٤	٦٠.٤٥	٥٨.٢٢	٥٩.٢٢	٥٧.٢٢	المعدل	
٧٥.٥	٧٥.١٤	٧٤.٠٢	٧٦.٢٥	٧٦.٦	٧٧.٥٤	٧٧.١٠	٧٥.١٦	٧٦.١٥	٧٦.٠٤	٧٦.٢٥	٧٣.٦٦	٧٤.٢٩	٧٣.٠٢	مارس	فصل الربيع
٨٣.٢	٨٢.٨٤	٨١.٥٢	٨٤.١٥	٨٤.٥	٨٥.٤٤	٨٥.٠٠	٨٣.٠٦	٨٣.٨٥	٨٣.٥٤	٨٤.١٥	٨١.٤٦	٨٢.٣٩	٨٠.٥٢	أبريل	
٨٨.٢	٨٨.٤٩	٨٩.٤٢	٨٧.٥٦	٨٧.٦	٨٦.٢٦	٨٧.٥٠	٨٩.٠٤	٨٧.٨٦	٨٨.١٦	٨٧.٥٦	٨٨.٨٧	٨٩.٣٢	٨٨.٤٢	مايو	
٨٢.٣	٨٢.١٥	٨١.٦٥	٨٢.٦٥	٨٢.٩	٨٣.٠٨	٨٣.٢٠	٨٢.٤٢	٨٢.٦٢	٨٢.٥٨	٨٢.٦٥	٨١.٣٣	٨٢	٨٠.٦٥	المعدل	
٧٩.٩	٨١.٠٥	٨٢.٠٥	٨٠.٠٥	٧٩.٦٢	٧٨.٣٦	٧٩.٣٦	٨١.١٤	٨٠.١٦	٨٠.٢٦	٨٠.٠٥	٧٧.٣٥	٨١.٤١	٧٣.٢٨	يونيو	فصل الصيف
٨٨.٢	٨٨.٤٩	٨٩.٤٢	٨٧.٥٦	٨٧.٥	٨٦.٢٦	٨٧.١٠	٨٩.٠٤	٨٧.٨٦	٨٨.١٦	٨٧.٥٦	٨٨.٨٧	٨٩.٣٢	٨٨.٤٢	يوليو	
٨٣.٢	٨٢.٨٤	٨١.٥٢	٨٤.١٥	٨٤.٥	٨٥.٤٤	٨٥.٠٠	٨٣.٠٦	٨٣.٨٥	٨٣.٥٤	٨٤.١٥	٨١.٤٦	٨٢.٣٩	٨٠.٥٢	أغسطس	
٨٣.٨	٨٤.١٣	٨٤.٣٣	٨٣.٩٢	٨٣.٨٦	٨٣.٣٥	٨٣.٨٢	٨٤.٤١	٨٣.٩٦	٨٣.٩٩	٨٣.٩٢	٨٢.٥٦	٨٤.٣٧	٨٠.٧٤	المعدل	
٧٦.١	٧٥.١٤	٧٤.٠٢	٧٦.٢٥	٧٩.٥	٨٦.٢٦	٧٧.١٠	٧٥.١٦	٧٦.١٥	٧٦.٠٤	٧٦.٢٥	٧٣.٦٦	٧٤.٢٩	٧٣.٠٢	سبتمبر	فصل الخريف
٦٧.٦	٦٧.٢٤	٦٦.١٣	٦٨.٣٥	٦٨.٨٣	٧٠.٠٤	٦٩.١٩	٦٧.٢٦	٦٨.٢٥	٦٨.١٤	٦٨.٣٥	٦٥.٨٦	٦٦.٥٩	٦٥.١٢	أكتوبر	
٥٩.٩	٥٩.٣٥	٥٨.٢٣	٦٠.٤٦	٦٠.٩	٦٢.١٤	٦١.٣١	٥٩.٣٦	٦٠.٣٥	٦٠.٢٤	٦٠.٤٦	٥٨.١٦	٥٩.٠٩	٥٧.٢٢	نوفمبر	
٦٧.٩	٦٧.٢٤	٦٦.١٣	٦٨.٣٥	٦٩.٨	٧٢.٨١	٦٩.٢٠	٦٧.٢٦	٦٨.٢٥	٦٨.١٤	٦٨.٣٥	٦٥.٨٩	٦٦.٦٦	٦٥.١٢	المعدل	

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على

محمد، عبد القادر عساج، مناخ اليمن-دراسة في الجغرافيا المناخية، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ١٩٩٨م. ص٤٩.

وبذلك يكون معدل زاوية سقوط الإشعاع الشمسي 61.30° في عدن و 62.19° في سقطرى، أما الحديدية الواقعة على دائرة عرض 14.44° فتبلغ بها زاوية السقوط 51.46° في ديسمبر، وتصل في فبراير إلى 67.26° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لهذا الإقليم في ديسمبر تبلغ 53.1° ، ترتفع هذه الزاوية إلى 60.9° في يناير، ثم ترتفع إلى 68.83° في فبراير، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم 60.95° .

- **إقليم المرتفعات الجبلية:** تكون زاوية سقوط الأشعة في ديسمبر 52.55° في تعز الواقعة على خط 13.35° ، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يناير إلى 60.46° ، ثم ترتفع إلى 68.35° في فبراير، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية المذكورة سابقاً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على تعز خلال فصل الشتاء 60.45° ، أما في مكيراس الواقعة على دائرة عرض 13.58° فتبلغ زاوية الميل 52.34° في ديسمبر، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يناير إلى 60.24° ، ثم ترتفع في فبراير إلى 68.14° ، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على مكيراس خلال فصل الشتاء 60.24° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المرتفعات الجبلية في ديسمبر تبلغ 52.45° ، ترتفع هذه الزاوية إلى 60.35° في يناير، ثم ترتفع إلى 68.25° في فبراير، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم 60.35° .

- **إقليم الهضبة الشرقية:** تكون زاوية سقوط الأشعة في ديسمبر 52.55° في مأرب الواقعة على دائرة عرض 15.26° ، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يناير إلى 60.46° ، ثم ترتفع إلى 68.35° في فبراير، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية المذكورة سابقاً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على مأرب خلال فصل الشتاء 60.45° ، أما في سيئون الواقعة على دائرة عرض 15.58° فتبلغ زاوية الميل 50.32° في ديسمبر، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يناير إلى 58.23° ، ثم ترتفع في فبراير إلى 66.13° ، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على سيئون خلال فصل الشتاء 58.25° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم الهضبة الشرقية في ديسمبر يبلغ

٥١.٤٤° ، ترتفع هذه الزاوية إلى ٥٩.٣٥° في يناير، ثم ترتفع إلى ٦٧.٢٤° في فبراير، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٥٩.٣٥°.

- **إقليم المنخفضات الوسطى:** وفيه في ديسمبر أقل قيمة لزاوية ميل الأشعة وهي ٤٩.٣٢° في صعدة الواقعة أقصى شمال الجمهورية على دائرة ١٩.٥٨°، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يناير إلى ٥٧.٢٢°، ثم ترتفع إلى ٦٥.١٢° في فبراير، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية من مدار الجدي جنوباً نحو خط الاستواء شمالاً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صعدة خلال فصل الشتاء ٥٧.٢٢°، أما في صنعاء الواقعة على دائرة عرض ١٥.٣١° فتبلغ زاوية الميل ٥١.١٨° في ديسمبر، وترتفع هذه الزاوية نتيجة لحركة الشمس المذكورة سابقاً بالتدرج لتصل في يناير إلى ٥٩.٩°، ثم ترتفع في فبراير إلى ٦٦.٥٩°، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صنعاء خلال فصل الشتاء ٥٩.٢٢°، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المنخفضات الوسطى في ديسمبر تبلغ ٥٠.٢٥°، ترتفع هذه الزاوية إلى ٥٨.٥٦° في يناير، ثم ترتفع إلى ٦٥.٨٦° في فبراير، وعليه يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٥٨.٢٢°.

ينتج عما سبق انخفاض كمية الإشعاع الشمسي إلى أدنى حد لها خلال هذا الفصل في شهر ديسمبر، ثم ترتفع الكمية مع ارتفاع قيمة زاوية الميل بالتدرج حتى نهاية الشتاء، ولكن على الرغم من هذا الميل لزاوية سقوط الإشعاع فإن الجمهورية لا تزال تمتاز بكسب إشعاعي كبير، ويرجع ذلك إلى صفاء السماء الناتج عن جفاف هذا الفصل.

ب- **زاوية السقوط في فصل الربيع:** تستمر حركة الشمس في هذا الفصل نحو مدار السرطان، ونتيجة لذلك ترتفع قيمة زاوية الميل للأشعة الشمسية الساقطة على الجمهورية، ومن خلال الجدول (٩) والخريطة (٣) نجد أن زاوية الميل للأشعة الشمسية بحسب الأقاليم الطبيعية كما يأتي:

- **إقليم السهول الساحلية:** تبلغ زاوية الميل للأشعة على عدن وجزيرة سقطرى ٧٧.١٠° و ٧٧.٥٤° على التوالي في مارس، ثم ترتفع هذه الزاوية حتى تصل في مايو إلى ٨٧.٥٠° و ٨٦.٢٦° بنفس الترتيب، وبذلك يكون معدل زاوية سقوط الإشعاع الشمسي ٨٣.٢٠° في

عدن و ٨٣.٠٨° في سقطرى، أما الحديدية فتبلغ بها زاوية السقوط ٧٥.١٦° في مارس، وتصل في مايو إلى ٨٩.٠٤°، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لهذا الإقليم في مارس تبلغ ٧٦.٦°، ترتفع هذه الزاوية إلى ٨٤.٥° في ابريل، ثم ترتفع إلى ٨٧.٦° في مايو، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٨٢.٩°.

- **إقليم المرتفعات الجبلية:** تكون زاوية سقوط الأشعة في تعز ٧٦.٢٥° في مارس، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في ابريل إلى ٨٤.١٥°، ثم ترتفع إلى ٨٧.٥٦° في مايو، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية المذكورة سابقاً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على تعز خلال فصل الربيع ٨٢.٦٥°، أما في مكيراس فتبلغ زاوية الميل ٧٦.٠٤° في مارس، و ترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في ابريل إلى ٨٣.٥٤°، ثم ترتفع في مايو إلى ٨٨.١٦°، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على مكيراس خلال فصل الربيع ٨٢.٥٨°، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المرتفعات الجبلية في مارس يبلغ ٧٦.١٥°، ترتفع هذه الزاوية إلى ٨٣.٨٥° في ابريل، ثم ترتفع إلى ٨٧.٨٦° في مايو، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٨٢.٦٢°.

- **إقليم الهضبة الشرقية:** تكون زاوية سقوط الأشعة في مأرب ٧٦.٢٥° في مارس، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في ابريل إلى ٨٤.١٥°، ثم ترتفع إلى ٨٧.٥٦° في مايو، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية المذكورة سابقاً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على مأرب خلال فصل الربيع ٨٢.٦٥°، أما في سيئون فتبلغ زاوية الميل ٧٤.٠٢° في مارس، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في ابريل إلى ٨١.٥٢°، ثم ترتفع في مايو إلى ٨٩.٤٢°، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على سيئون خلال فصل الربيع ٨١.٦٥°، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم الهضبة الشرقية في مارس يبلغ ٧٥.١٤°، ترتفع هذه الزاوية إلى ٨٢.٨٤° في ابريل، ثم ترتفع إلى ٨٨.٤٩° في مايو، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٨٢.١٥°.

- **إقليم المنخفضات الوسطى:** تبلغ زاوية الميل ٧٣.٠٢° في صعده في مارس، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في ابريل إلى ٨٠.٥٢°، ثم ترتفع إلى ٨٨.٤٢° في مايو، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صعده خلال فصل الربيع ٨٠.٦٥°، أما في

صنعاء فتبلغ زاوية الميل 74.29° في مارس، وترتفع هذه الزاوية بالتدريج لتصل في ابريل إلى 82.39° ، ثم ترتفع في مايو إلى 89.32° ، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صنعاء لهذا الفصل 82° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المنخفضات الوسطى في مارس يبلغ 73.66° ، ترتفع هذه الزاوية إلى 81.46° في ابريل، ثم ترتفع إلى 88.87° في مايو، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم 81.33° .

ومن خلال ما سبق يتضح أن أشعة الشمس تتعامد على الجمهورية اليمنية خلال هذا الفصل في شهر مايو أثناء حركة الشمس من خط الاستواء إلى مدار السرطان، وهذا ينتج عنه زيادة في كمية الطاقة الشمسية تصل إلى أعلى قيم لها في الجمهورية خصوصاً في شهر مايو.

ج- زاوية السقوط في فصل الصيف: يحدث الانقلاب الصيفي في نصف الكرة الشمالي مع تعامد أشعة الشمس على مدار السرطان في ٢١ يونيو، ونتيجة لذلك تقل قيمة زاوية الميل للأشعة بالتدريج حتى تصبح عمودية على أراضي الجمهورية اليمنية في يوليو، أما على مستوى الأقاليم فنجد أن زاوية سقوط الأشعة تكون كالآتي:

- إقليم الهضبة الشرقية: تكون زاوية سقوط الأشعة لهذا الإقليم خلال هذا الفصل 84.13° ، بينما على مستوى المحطات نجدها في مأرب 80.05° في يونيو، وترتفع قيمة الزاوية تدريجاً لتصل في يوليو إلى 87.56° ، ثم تنخفض إلى 84.15° في أغسطس، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية المذكورة سابقاً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على مأرب خلال فصل الربيع 83.92° ، أما في سيئون فتبلغ زاوية الميل 82.05° في يونيو، وترتفع هذه الزاوية بالتدريج لتصل في يوليو إلى 89.42° ، ثم تنخفض في أغسطس إلى 81.52° ، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على سيئون خلال فصل الصيف 84.33° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم الهضبة الشرقية في يونيو يبلغ 81.05° ، ترتفع هذه الزاوية إلى 88.49° في يوليو، ثم تنخفض إلى 82.84° في أغسطس.

- **إقليم المرتفعات الجبلية:** تكون زاوية سقوط الأشعة في تعز 80.05° في يونيو، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يوليو إلى 87.56° ، ثم تنخفض إلى 84.15° في أغسطس، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية من مدار السرطان شمالاً إلى خط الاستواء جنوباً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على تعز خلال فصل الصيف 83.92° ، أما في مكيراس فتبلغ زاوية الميل 80.26° في يونيو، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يوليو إلى 88.16° ، ثم تنخفض في أغسطس إلى 83.54° ، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على مكيراس خلال فصل الصيف 83.99° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المرتفعات الجبلية في يونيو يبلغ 80.16° ، وترتفع هذه الزاوية إلى 87.86° في يوليو، ثم تنخفض إلى 83.85° في أغسطس، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم 83.96° .

- **إقليم السهول الساحلية:** تبلغ زاوية الميل للأشعة على في عدن وجزيرة سقطرى 79.36° و 78.36° على التوالي في يونيو، ثم ترتفع هذه الزاوية حتى تصل في يوليو إلى 87.10° و 86.26° بنفس الترتيب، ثم تنخفض في أغسطس لتبلغ 85.00° في عدن و 85.44° في سقطرى وبذلك يكون معدل زاوية سقوط الإشعاع الشمسي 83.82° في عدن و 83.35° في سقطرى، أما الحديد فتبلغ بها زاوية السقوط 81.14° في يونيو، وتصل في يوليو إلى 89.04° ، ثم تنخفض إلى 83.06° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لهذا الإقليم في يونيو يبلغ 79.62° ، ترتفع هذه الزاوية إلى 87.5° في يوليو، ثم تنخفض إلى 84.5° في أغسطس، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم 83.86° .

- **إقليم المنخفضات الوسطى:** زاوية الميل تبلغ 73.28° في صعده في يونيو، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يوليو إلى 88.42° ، ثم تنخفض إلى 80.52° في أغسطس، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صعده خلال فصل الصيف 80.74° ، أما في صنعاء فتبلغ زاوية الميل 81.41° في يونيو، وترتفع هذه الزاوية بالتدرج لتصل في يوليو إلى 89.32° ، ثم تنخفض في أغسطس إلى 82.39° ، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صنعاء لهذا الفصل 84.37° .

وعليه نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المنخفضات الوسطى يبلغ 77.35° في يونيو ، ترتفع هذه الزاوية إلى 88.87° في يوليو، ثم تنخفض إلى 81.46° في أغسطس، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم 82.56° . ومن خلال ما سبق يتضح لنا أن أشعة الشمس تتعامد على الجمهورية اليمنية خلال هذا الفصل أيضاً في شهر يوليو أثناء عودة الشمس إلى خط الاستواء من مدار السرطان، وينتج عن ذلك زيادة في كمية الطاقة الشمسية لتصل إلى أعلى قيم لها.

د- **زاوية السقوط في فصل الخريف:** تستمر حركة الشمس الظاهرية نحو الجنوب حتى تتعامد الأشعة الشمسية على خط الاستواء في ٢١ سبتمبر، ويترتب على ذلك زيادة ميل الأشعة الشمسية الساقطة على الجمهورية اليمنية، ومن خلال الجدول (٩) والخريطة (٣) نجد أن زاوية الميل للأشعة الشمسية بحسب الأقاليم الطبيعية كما يأتي:

- **إقليم السهول الساحلية:** تبلغ زاوية الميل في عدن وجزيرة سقطرى 77.10° و 86.26° على التوالي في سبتمبر، ثم تنخفض هذه الزاوية حتى تصل في أكتوبر إلى 69.19° و 70.04° بنفس الترتيب، ثم تنخفض في نوفمبر لتبلغ 62.14° في عدن و 60.9° في سقطرى وبذلك يكون معدل زاوية سقوط الإشعاع الشمسي 69.20° في عدن و 72.81° في سقطرى، أما الحديد فتبلغ بها زاوية السقوط 75.16° في سبتمبر، وتنخفض هذه الزاوية في أكتوبر إلى 67.26° ، ثم تنخفض إلى 59.36° ، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لهذا الإقليم في سبتمبر يبلغ 79.5° ، تنخفض هذه الزاوية إلى 68.83° في أكتوبر، ثم تنخفض إلى 60.9° في نوفمبر، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم 69.8° .

- **إقليم المرتفعات الجبلية:** تكون زاوية سقوط الأشعة في تعز 76.25° في سبتمبر، وتنخفض هذه الزاوية بالتدريج لتصل في أكتوبر إلى 68.35° ، ثم تنخفض إلى 60.46° في نوفمبر، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية من خط الاستواء شمالاً إلى مدار الجدي جنوباً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على تعز خلال فصل الخريف 68.35° ، أما في مكيراس فتبلغ زاوية الميل 76.04° في سبتمبر، و تنخفض هذه الزاوية بالتدريج لتصل في أكتوبر إلى 68.14° ، ثم تنخفض في نوفمبر إلى 60.24° ، وبذلك يكون معدل زاوية

الميل للأشعة الشمسية على مكيراس خلال فصل الخريف ١٤.٦٨°، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المرتفعات الجبلية في سبتمبر يبلغ ١٥.٧٦°، تنخفض هذه الزاوية إلى ٢٥.٦٨° في أكتوبر، ثم تنخفض إلى ٣٥.٦٠° في نوفمبر، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٢٥.٦٨°.

- **إقليم الهضبة الشرقية:** تكون زاوية سقوط الأشعة في مأرب ٢٥.٧٦° في سبتمبر، وتنخفض هذه الزاوية بالتدريج لتصل في أكتوبر إلى ٣٥.٦٨°، ثم تنخفض إلى ٤٦.٦٠° في نوفمبر، نتيجة لحركة الشمس الظاهرية المذكورة سابقاً، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على مأرب خلال فصل الخريف ٣٥.٦٨°، أما في سيئون فتبلغ زاوية الميل ٢.٧٤° في سبتمبر، وتنخفض هذه الزاوية بالتدريج لتصل في أكتوبر إلى ١٣.٦٦°، ثم تنخفض في نوفمبر إلى ٢٣.٥٨°، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على سيئون خلال فصل الخريف ١٣.٦٦°، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم الهضبة الشرقية في سبتمبر يبلغ ١٤.٧٥°، تنخفض هذه الزاوية إلى ٢٤.٦٧° في أكتوبر، ثم تنخفض إلى ٣٥.٥٩° في نوفمبر، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٢٤.٦٧°.

- **إقليم المنخفضات الوسطى:** تبلغ زاوية الميل للأشعة ٢.٧٣° في صعده في سبتمبر، وتنخفض هذه الزاوية بالتدريج لتصل في أكتوبر إلى ١٢.٦٥°، ثم تنخفض إلى ٢٢.٥٧° في نوفمبر، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صعده خلال فصل الخريف ١٢.٦٥°، أما في صنعاء فتبلغ زاوية الميل ٢٩.٧٤° في سبتمبر، وتنخفض هذه الزاوية بالتدريج لتصل في أكتوبر إلى ٥٩.٦٦°، ثم تنخفض في نوفمبر إلى ٠٩.٥٩°، وبذلك يكون معدل زاوية الميل للأشعة الشمسية على صنعاء لهذا الفصل ٦٦.٦٦°، ومن خلال ما سبق نجد أن معدل زاوية سقوط الأشعة لإقليم المنخفضات الوسطى في سبتمبر يبلغ ٦٦.٧٣°، تنخفض هذه الزاوية إلى ٨٦.٦٥° في أكتوبر، ثم تنخفض إلى ١٦.٥٨° في نوفمبر، وعلى ذلك يكون المعدل الفصلي لزاوية سقوط الإشعاع على هذا الإقليم ٨٩.٦٥°.

ومن خلال ما سبق يتضح لنا أن قيمة زاوية ميل الأشعة الشمسية تقل مع زيادة حركة الشمس من خط الاستواء إلى مدار الجدي، ونتيجة لذلك يصاحبها انخفاض في كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى الجمهورية اليمنية.

٢- طول النهار : المقصود به هنا المدة التي يكون قرص الشمس ظاهر في السماء، ولا بد من التمييز بين مدة السطوع النظري ومدة السطوع الفعلي، إذ أن مدة السطوع النظري هي المدة المحصورة بين شروق الشمس وغروبها، أما مدة السطوع الفعلي فهي التي يشاهد فيها قرص الشمس واضحاً في السماء خلال النهار، وتقل مدة السطوع الفعلي عن النظري لاحتجاب أشعة الشمس بالسحب والأتربة وعندما يصحو الجو تماماً يحدث التطابق بينهما^(١)، وكلما أزداد طول النهار كلما كانت طاقة الإشعاع التي يتلقاها مكان ما أكبر مقارنة بالنهار القصير، ويختلف طول النهار حسب درجة العرض، (الجدول ١٠)، كما أن ميلان محور الأرض يؤدي إلى ظهور نهار طويل في النصف الذي تكون الشمس عمودية عليه ويقصر النهار في النصف الذي تكون الشمس بعيدة عنه^(٢)، وإن طول النهار يكون ثابت تقريباً على خط الاستواء طول العام حيث يكون النهار ١٢ ساعة^(*).

ونتيجة لموقع الجمهورية اليمنية بالنسبة لدوائر العرض الذي وضعها ضمن المناطق التي يتراوح طول نهارها بين ١١-١٣ ساعة/يوم (جدول ١٠) في أكثر الأيام شروقاً وبحسب الموقع، وهذا يدل على أن الجمهورية اليمنية تتميز بجو مشمس طوال العام ونهاراً طويلاً في أواخر الربيع وبداية الصيف، في حين تقل فترة السطوع في أواخر فصلي الخريف والشتاء وإن كان هذا التباين قليل بسبب موقعها الفلكي فإنه يؤثر في تباين معدل السطوع الشمسي،

جدول (١٠) اختلاف طول النهار عند دوائر العرض المختلفة في فصل الصيف الشمالي (ساعة/يوم)

دائرة العرض شمالاً	٠	١٧	٤١	٤٩	٦٣	٦٦.٣٠	٦٧.٢٠	٩٠
طول النهار صيفاً	١٢	١٣	١٥	١٦	٢٠	٢٤	شهر	٦ شهور

المصدر: الراوي، صباح محمود، وعدنان هزاع البياتي، أسس علم المناخ، دار الكتب للطباعة والنشر،

الموصل، ١٩٩٠م، ص٥٢.

(١) موسى، علي حسن، أساسيات علم المناخ، مصدر سابق، ص٢٥.

(٢) السامرائي، قصي عبد المجيد، المناخ والأقاليم المناخية، مصدر سابق، ص٥٦.

(*) يرجع السبب في تساوي الليل والنهار في المنطقة الاستوائية إلى أن دائرة ضوء الشمس التي ينصف ضوءها الأرض دائماً إلى نصفين متساويين في كل يوم من أيام السنة، ويمر مستواها دائماً بمركز الأرض وينصف خط الاستواء.

إذ نلاحظ من خلال (الجدول ١١) أن حجة هي أقل المناطق اليمنية من حيث عدد ساعات السطوع الفعلية حيث يبلغ معدلها ٦.٥ ساعة/يوم، ويرجع سبب ذلك إلى كثرة الغيوم وانتشار الضباب على أراضيها معظم أيام السنة، بينما نجد أن أعلى المناطق اليمنية سطوعا هي مأرب حيث تبلغ ساعات السطوع بها ٩.٣ ساعة/يوم، ويرجع سبب ذلك إلى صفاء السماء في هذه المحافظة معظم أيام السنة، وتأتي المناطق الأخرى بين هذه المعدلات،

جدول (١١) معدلات ساعات السطوع الشمسي الشهرية في الجمهورية اليمنية (ساعة/يوم)

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
صعدة	٩.٢	٩.٢	٩.٤	٨.٥	١٠.٦	١٠.٢	٥.٩	٧.٢	٨.٣	١٠.٥	١٠.٣	١٠.٣	٩.٢
صنعاء	٩.٦	٩.٤	٨.٩	٨.٨	٩	٩	٦.٢	٧.١	٩	١٠.٥	١٠	١٠	٩
ذمار	٩.٧	٩.٦	٩.٣	٨.٧	٨.٨	٩.٢	٧	٧.٥	٨.٥	٩.٩	١٠.١	٩.٦	٩
حجة	٥.١	٥.٣	٥.٧	٧	٧.٢	٧.٣	٧	٦.٢	٧	٧.٤	٦.٣	٦.٣	٦.٥
إب	٨.٦	٩.٢	٨.٧	٨.٤	٧.٥	٦.٩	٥.٤	٥.٣	٦.٨	٩.٣	٨.٨	٨.٨	٧.٨
تعز	٨.٤	٨.٧	٩.١	٨.٧	٨.٨	٧.٤	٧	٧.٦	٨	٩.٤	٩.٥	٨.٧	٨.٤
الحديدة	٨.١	٨	٨.٣	٨.٩	٩.١	٦.٩	٦.٣	٧.٣	٧.٨	٩.٣	٩.٤	٨.١	٨.١
الريان	٨.٧	٨.٩	٨.٥	١٠	٩.٦	٥.٨	٧.٥	٨.٥	٧.٩	١٠.١	٩.٧	٩.٨	٨.٨
سينون	٧.٦	٨.٢	٨.٤	٨.٥	٨.٩	٨.٣	٧.٥	٨	٨.٢	٨.٤	٨.٣	٧.٧	٨.٢
مأرب	٩.٧	٩.١	٩	٨.٧	٩.٩	٩.٤	٨.٢	٨.٥	٩.٢	١٠.٣	١٠.٤	٩.٦	٩.٣

الجدول من إعداد الباحث اعتمادا على:

- (١) الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٣ - ٢٠٠٧م.
- (٢) الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار ، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٠ - ٢٠٠٥م.

حيث تصل في صعدة إلى ٩.٢ ساعة/يوم وفي صنعاء وذمار ٩ ساعات/يوم، أما في الحديدة فهي ٨.١ ساعة/يوم، وتكون في إب ٧.٨ ساعة/يوم بسبب كثرة تكون السحب، وعلى هذا التباين في ساعات السطوع الشمسي يحدث تباين في كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى مناطق الجمهورية اليمنية المختلفة، فزيادة ساعات السطوع تزداد كمية الأشعة، ومن خلال ساعات السطوع نجد أن الجمهورية اليمنية تحظى بكمية كبيرة من الإشعاع الشمسي يمكنها الاستفادة منه في توليد الطاقة لسد حاجتها في شتى المجالات الاقتصادية.

٣- صفاء السماء Sky clearance : يقصد به خلو الجو من السحب وقلة محتواها من الشوائب ^(١)، لذلك فإن صفاء السماء تؤدي دوراً بارزاً في كمية الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض، حيث أن الغلاف الجوي بمركباته المختلفة يتصف بكونه ليس شفافاً تماماً للإشعاع الشمسي وذلك لما تقوم به مركباته المختلفة الغازية منها والسائلة (قطرات السحب) والصلبة (العوالق والغبار والدخان) من إعاقة لجزء من ذلك الإشعاع وتتم تلك الإعاقة عبر عمليات الانتشار والانعكاس والامتصاص ^(٢).

فتعتمد الكميات الممتصة والمنعكسة والمنتشرة من الأشعة على سمك الغلاف الجوي وعلى كمية الغيوم والغبار الموجودة في الهواء، فكلما كانت كمية الغيوم أو الغبار كبيرة كلما كان التبريد الجوي أكبر ^(٣)، فالسحب الرقيقة تعكس ما بين ٢٥ — ٤٠% من الإشعاع، في حين تصل هذه النسبة من ٦٠ — ٧٠% في السحب الطبقيّة ذات سمك ٥٠٠م وتبلغ أقصى درجة عاكسيه في سحب الركّام المزني ذات السمك ٥كم ويتراوح بين ٩٠% — ٩٥% ^(٤).

بينما نجد أن ٧٠% من مساحة الجمهورية اليمنية تمتاز بانخفاض الرطوبة النسبية ويقل فيها نسبة التّغيم عن ٣٠% ^(٥)، ونسبة التّغيم هذه متفرقة تتكون أحياناً ولكن سرعان ما تتبدد هذه السحب لتعود السماء إلى صفائها، وفي فصل الصيف وعندما تكون الشمس عمودية على مدار السرطان فإن الإشعاع الشمسي يرتفع كثيراً لعدم وجود ما يخفض من حدة شروق الشمس، وعلى الرغم من أن أمطار الجمهورية اليمنية صيفية، فإن قلة هذه الأمطار يعني قلة الغيوم التي تغطي السماء ^(٦)، باستثناء محافظتي إب و حجة التي تكون نسبة التّغيم بهما مرتفعة بشكل عام.

وتتباين صفاء السماء من إقليم لآخر في الجمهورية اليمنية ويتضح من خلال الجدول (١٢) ما يأتي:

- إقليم الهضبة الشرقية: يتميز هذا الإقليم بصفاء سمائه حيث تبلغ نسبتها السنوية ٧٣% ، و تتميز بأرب بأعلى نسبة سنوية لصفاء السماء على مستوى الجمهورية فتصل إلى ٧٨% ،

(١) عبده، طلعت أحمد محمد، وحورية محمد حسين جاد الله، الجغرافيا الطبيعية، دار المعرفة الجامعية، مصر، ٢٠٠٠م. ص ١٦٧.

(٢) موسى، علي حسن، أساسيات علم المناخ، مصدر سابق، ص ٢٥ و ٢٦.

(٣) السامرائي، قصي عبد المجيد، المناخ والأقاليم المناخية، مصدر سابق، ص ٥٧.

(٤) موسى، علي حسن، أساسيات علم المناخ، مصدر سابق، ص ٢٧.

(٥) السهمي، ناجي صالح، أثر المناخ على إنتاجية البن في اليمن، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء كلية الآداب، ٢٠٠٤م. ص ٤١.

(٦) السامرائي، قصي عبد المجيد، وعبد مخور نجم الرياحي، جغرافية الأراضي الجافة، ، ١٩٩٠م. ص ٨٥.

جدول (١٢) ساعات السطوع الشمسي النظري والفعلي في الجمهورية اليمنية (ساعة/يوم)

المعدل	فصل الخريف			فصل الصيف			فصل الربيع			فصل الشتاء			درجة العرض	صفاء السماء	المحطة	الإقليم
	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أغسطس	يوليو	يونيو	مايو	أبريل	مارس	فبراير	يناير	ديسمبر				
١٢:٧ ٧:٥ ٦٨.٢	١١:٢٠ ٩:٤ ٨٤	١١:٤٨ ٩:٣ ٨١	١٢:١٥ ٧:٨ ٦٤.٢	١٢:٣٦ ٧:٣ ٥٩.١	١٢:٥٠ ٦:٣ ٥٠.٤	١٣:٣ ٦:٩ ٥١.٩	١٢:٤٥ ٩:١ ٧٣.١	١٢:٢٥ ٨:٩ ٧٢.٧	١٢:٤ ٨:٣ ٦٧	١١:٤٤ ٨:٠ ٧٠	١١:٢٧ ٨:١ ٧١.٩	١١:١٥ ٨:١ ٧٢.٧	١٤:٤٤°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	الحديدة	السهول الساحلية
١٢:٠ ٨:٨ ٧٤	١١:٢٥ ٩:٧ ٨٦	١١:٥٠ ١٠:١ ٨٨	١٢:١٥ ٧:٩ ٦٥	١٢:٣٥ ٨:٥ ٦٩	١٢:٤٩ ٧:٥ ٦٠	١٣:٢ ٥:٨ ٤٤	١٢:٤٣ ٩:٦ ٧٧	١٢:٢٤ ١٠:٠ ٨٢	١٢:٣ ٨:٥ ٦٩	١١:٤٢ ٨:٩ ٧٨	١١:٢٥ ٨:٧ ٧٧	١١:٢٠ ٩:٨ ٨٨	١٤:٣٥°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	الريان	
١١:٩ ٧:٨ ٦٦	١١:٣٠ ٨:٨ ٧٨	١١:٥٠ ٩:٣ ٨١	١٢:١٤ ٦:٨ ٥٦	١٢:٣٢ ٥:٣ ٤٣	١٢:٤٨ ٥:٤ ٤٣	١٢:٥٧ ٧:٠ ٥٦	١٢:٤٧ ٧:٥ ٦٠	١٢:٢٥ ٨:٤ ٦٩	١٢:٣ ٨:٧ ٧١	١١:٣٩ ٩:٢ ٨١	١١:٢٣ ٨:٦ ٧٧	١١:٢٠ ٨:٨ ٧٩	١٤:٨٩°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	إب	المرتفعات الجبلية
١١:٩ ٦:٥ ٥٥	١١:٢٥ ٦:٣ ٥٦	١١:٤٧ ٧:٤ ٦٥	١٢:١٦ ٧:٠ ٥٨	١٢:٣٥ ٦:٢ ٥٠	١٢:٥٣ ٧:٠ ٥٦	١٣:٠٥ ٧:٣ ٥٦	١٢:٥٢ ٧:٢ ٥٨	١٢:٣١ ٧:٠ ٥٧	١٢:٠٥ ٥:٧ ٤٧	١١:٣١ ٥:٣ ٤٧	١١:١٦ ٥ ٤٥	١١:١ ٦:٣ ٥٧	١٥:٣٠°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	حجة	
١٢ ٩:٢ ٧٦	١١:٢٠ ١٠:٣ ٩٢	١١:٤٥ ١٠:٥ ٩٢	١٢:١٦ ٨:٣ ٦٨	١٢:٣٨ ٧:٢ ٥٨	١٢:٥٦ ٦:٢ ٤٩	١٣:٩ ١٠:٢ ٧٣	١٢:٥٥ ١٠:٦ ٨٥	١٢:٣٢ ٨:٥٦٤ ٦٩	١٢:١ ٩:٤ ٧٨	١٢:٢٦ ٩:٢ ٧٥	١١:١٢ ٩:٧ ٨٧	١١:٥ ١٠:٣ ٩٠	١٩:٥٨°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	صعدة	المنخفضات الوسطى
١١:٥٦ ٨:٩ ٧٥	١١:٢٩ ١٠:٠ ٨٩	١١:٤٩ ١٠:٥ ٩١	١٢:١٥ ٩:٠ ٧٤	١٢:٣٢ ٧:١ ٥٨	١٢:٥٠ ٦:٢ ٥٠	١٣ ٩:٠ ٦٩	١٢:٤٩ ٩:٠ ٧٢	١٢:٢٩ ٨:٨ ٧٢	١٢:٢ ٨:٧ ٧١	١١:٣٥ ٩:٤ ٨٣	١١:٢ ٩:٦ ٨٦	١١:١٤ ١٠:٠ ٩٠	١٥:٣١°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	صنعاء	
١١:٩ ٩:٣ ٧٨	١١:٢٨ ١٠:٤ ٩٢	١١:٥٠ ١٠:٣ ٩٠	١٢:١٤ ٩:٢ ٧٦	١٢:٣٠ ٨:٥ ٦٩	١٢:٥٠ ٨:٢ ٦٦	١٣ ٩:٤ ٧٢	١٢:٤٥ ٩:٩ ٨٠	١٢:٢٧ ٨:٧ ٧١	١٢:٠٢ ٩:٠ ٧٥	١١:٣٣ ٩:١ ٨٠	١١:١٠ ٩:٧ ٨٧	١١:١٥ ٩:٦ ٨٦	١٥:٢٦°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	مارب	الهضبة الشرقية
١١:٥٦ ٨:٢ ٦٨	١١:٢٣ ٨:٣ ٧٤	١١:٤٧ ٨:٤ ٧٣	١٢:١٥ ٨:٢ ٦٨	١٢:٣٤ ٨:٠ ٦٥	١٢:٥٣ ٧:٥ ٦٠	١٣:٥ ٨:٣ ٦٢	١٢:٥٣ ٨:٩ ٧١	١٢:٣٢ ٨:٥ ٦٩	١٢:٢ ٨:٣ ٦٨	١١:٣٢ ٨:٢ ٧٢	١١:١٦ ٧:٦ ٦٨	١١:٩ ٧:٧ ٦٥	١٥:٥٨°	طول النهار النظري طول النهار الفعلي النسبة المئوية	سينون	

المصدر: الباحث اعتماداً على:

- (١) الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٣ - ٢٠٠٧م.
- (٢) الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٠ - ٢٠٠٥م.
- (٣) علي، عبدالله حيدر سالم، خصائص مناخ اليمن السياحي، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة البصرة، كلية التربية، ٢٠٠٣م. ص ١٨.

أما درجة صفاء السماء الشهرية لهذه المحافظة فتتراوح بين ٦٦% في يوليو لتشكّل السحب فيه و ٩٢% في شهر نوفمبر الخالي من السحب، بينما تبلغ في سيّون ٦٨% أما درجة صفاء السماء الشهرية فتتراوح بين ٦٠% في شهر يوليو لتشكّل السحب به و ٧٤% في نوفمبر.

- **إقليم المنخفضات الوسطى:** ويحظى بكونه أكثر الأقاليم من حيث المعدل السنوي لصفاء السماء حيث تبلغ ٧٦%، فنجد أن صفاء السماء في صنعاء يتراوح بين ٥٠% في يوليو بسبب الأمطار الموسمية و ٩٠ و ٩١% في شهري يناير أكتوبر على التوالي، أما صعدته فتتراوح نسبة صفاء السماء بين ٤٩% في يوليو و ٩٢% في شهري أكتوبر ونوفمبر.

- **إقليم السهول الساحلية:** يكون معدل صفاء السماء السنوي فيه ٧١%، ففي السهل الغربي (الحديدة) تكون النسبة السنوية لصفاء السماء ٦٨%، وتتراوح بقية الأشهر بين ٥٠% في يوليو و ٨٤% في نوفمبر، أما السهل الجنوبي (الريان) فتكون نسبة صفاء السماء السنوية به ٧٤% ، أما بقية الأشهر فتتراوح بين ٤٤% في يونيو و ٨٨% في شهري أكتوبر وديسمبر.

- **إقليم المرتفعات الجبلية:** يعد أقل الأقاليم صفاء للسماء حيث لا يزيد معدلها السنوي عن ٦١% ، ففي إب يصل صفاء السماء السنوي إلى ٦٦%، أما صفاء السماء الشهري فيتراوح بين ٤٣% في شهري يوليو وأغسطس و ٨١ في شهري أكتوبر وفبراير، أما حجة فهي أقل مناطق الجمهورية صفاءً للسماء فمعدلها السنوي يبلغ ٥٥% ، أما صفاء السماء الشهري فتتراوح بين ٤٥% في يناير و ٦٥% في أكتوبر.

ومن خلال ما سبق نلاحظ أن تباين صفاء السماء من إقليم لآخر ومن وقت لآخر يؤثر على ساعات السطوع الشمسي، وذلك بدوره ينعكس على كمية الإشعاع الشمسي التي تتباين مع تباين ساعات السطوع الفعلية في الجمهورية اليمنية.

٤- التضاريس:-

تؤثر المرتفعات الجبلية على كمية الطاقة الإشعاعية الواصلة بالزيادة كونها تقلل من سماكة الغلاف الجوي وبذلك يقل تأثير العوامل الجوية كالامتصاص والانعكاس للطاقة الشمسية، كما يؤثر اتجاه السفوح وانحدارها على زاوية ارتفاع الشمس، فعندما يكون انحدار السفح الجبلي بدرجة مناسبة جنوباً بحيث يزيد من زاوية ارتفاع الشمس لتقترب من

العمودية، فإنه يؤدي إلى زيادة كمية الطاقة الشمسية عن طريق تقليل الانعكاس^(١) وتبرز أهمية عامل التضاريس كأحد عوامل التحكم في كمية الطاقة الشمسية الواردة إلى سطح الأرض من خلال أن السفوح المواجهة لأشعة الشمس تستقبل أكبر قدر من الإشعاع الشمسي مقارنة مع السفوح الواقعة في الظل، كما أن المناطق المنخفضة لا تصلها الأشعة إلا بعد وقت متأخر وتتركها في وقت مبكر^(٢) ولذلك نجد أن كمية طاقة الإشعاع الشمسي تظهر من خلال درجات الحرارة في الجمهورية اليمنية والتي تتخذ نطاقات طويلة بحيث تتطابق حدودها مع حدود المظاهر التضاريسية الرئيسية التي تمتد في الاتجاه نفسه^(٣)، كما هو موضح في الخريطة (٤) ، فالسلسلة الجبلية الممتدة من الشرق إلى الغرب تكون السفوح الجنوبية مواجهة لأشعة الشمس لفترة أطول من السفوح الشمالية، وبالتالي تكون كمية الأشعة بها أكبر، أما السفوح الشمالية فلا تكون مواجهة لأشعة الشمس إلا في فصل الصيف خلال شهرين أو ثلاثة (بين مايو إلى يوليو) أثناء حركة الشمس الظاهرية من مدار السرطان والعودة إليه، وبالاطلاع على الخريطة كذلك نجد أن خطوط الحرارة المتساوية من الشرق إلى الغرب تعطي مؤشراً أن الجمهورية اليمنية من أفضل المواقع لتركيب محطات إنتاج الطاقة الشمسية.

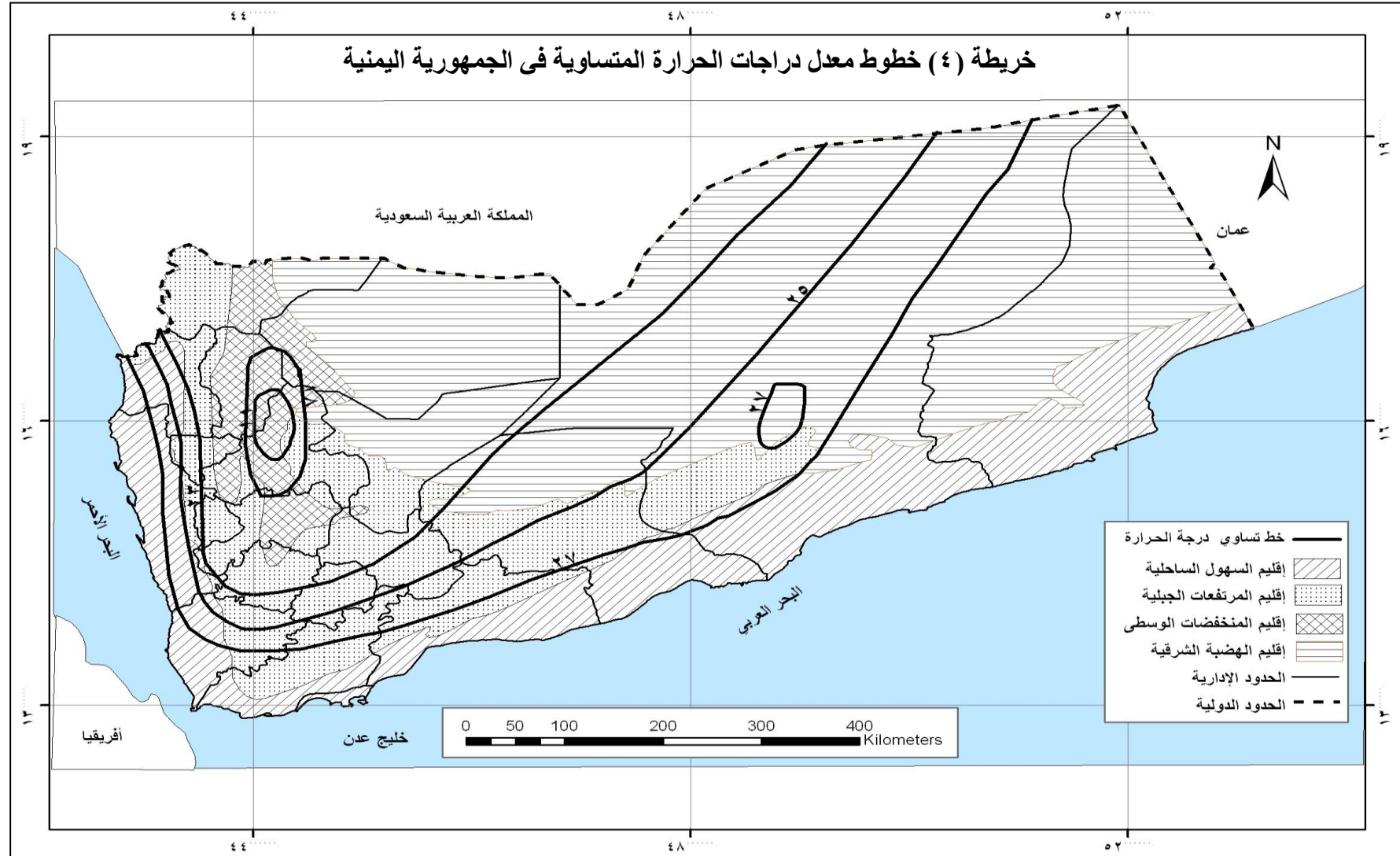
ثم إن شدة انحدار التضاريس وطولها قد لا تجعل أشعة الشمس تصل إلى الأودية إلا في فترة متأخرة من النهار وعلى العكس بالنسبة لقمم الجبال، وبالتالي تختلف الكمية الطاقة الإشعاعية اليومية من قمم الجبال إلى حضيضها باختلاف طول المدة الضوئية^(٤)، أما المنطقة الشرقية من الجمهورية فمعظم أراضيها صحراوية ولا يظهر على سطحها أي تضاريس مرتفعة سوى هضبة حضرموت، مما يجعل تأثير هذا العامل في حجب الأشعة الشمسية عن المنطقة غير ملموس، بل يكاد ينعدم، وعليه فإن هذه المنطقة سوف تكون أفضل المواقع للتزود بالطاقة الشمسية، ومن خلال التحليل السابق نجد أن الجمهورية اليمنية مؤهلة لإنتاج الطاقة الكهربائية من استثمار الإشعاع الشمسي الذي تمتلكه وانخفاض تأثير العوامل الجغرافية على كميته الاقتصادية المشجعة على الاستثمار بنجاح.

(١) غانم، علي أحمد، مصدر سابق، ص ٥٤.

(٢) موسى، علي حسن، أساسيات علم المناخ، مصدر سابق، ص ٢٤.

(٣) المسيلي، أفراح ناجي محسن، التحليل الجغرافي لدرجات الحرارة في الجمهورية اليمنية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء، كلية الآداب، ٢٠٠٨م. ص ٥٥.

(٤) محمد، عبد القادر عساج، مصدر سابق، ص ٥١.



المصدر: الباحث اعتماداً على

١- محمد، عبد القادر عساج، مناخ اليمن-دراسة في الجغرافيا المناخية، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ١٩٩٨م. ص٥٦.

المبحث الثاني: الرياح والعوامل المؤثرة فيها

أولاً: مفهوم الرياح وأهميتها:-

يقصد بالرياح الهواء المتحرك أفقياً فوق سطح الأرض أو في أي مستوى من الجو ولها اتجاه ومقدار من السرعة ^(١)، وهما العاملان المؤثران في توليد الطاقة من الرياح، وتعرف الرياح أيضاً بأنها تلك الحركة الأفقية للهواء الموازي لسطح الأرض، ولذا تشكل حركة الهواء هذه الظاهرة التي دائماً ما تسجل في محطات الأرصاد الجوية سواء من حيث سرعتها واتجاهها ^(٢)، وتهب الرياح نتيجة تباين الضغوط الجوية سواء كانت إقليمية أو محلية، ولذا فإنها تهب من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض القريبة منها.

وتقوم الرياح بنقل بخار الماء من فوق المسطحات المائية إلى اليابس والذي يتعرض للتبريد أثناء ارتفاعه إلى الأعلى فيتكاثف فتتكون الغيوم ويحدث التساقط على هيئة أمطار وتلوج، كما تنقل بعض عناصر المناخ الأخرى من مناطق تكونها إلى مناطق أخرى بعيدة عنها مثل الضباب المتنقل والصقيع، كما تقوم الرياح بنقل التلوث الجوي والبحري من مصادرهما المحلية إلى المناطق المجاورة، ونقل فائض الطاقة من المناطق المدارية إلى المناطق القطبية التي تشكو من عجز كبير في الطاقة، وإن معدل انتقال الطاقة بين هذه المناطق يستمر في الزيادة حتى دائرة عرض ٣٥° شمالاً، إلا أنه بعد ذلك يأخذ في التناقص لأنه يضيع جزء من الطاقة المنقولة في تسخين تلك المناطق ^(٣)، ولولا هذه الحركة لتفاوتت درجات الحرارة تفاوتاً كبيراً حيث سترتفع في العروض الدنيا وتنخفض في العروض العليا بنفس القدر، كما أنها تعمل أيضاً على تحريك المراوح المصممة لتوليد الطاقة الكهربائية، أو لتدوير الطواحين الهوائية لرفع الماء.

ثانياً: الرياح السائدة في الجمهورية اليمنية:

تقع الجمهورية اليمنية تحت تأثير مجموعتين من الرياح العامة خلال السنة ^(٤)، فتتعرض في فصل الشتاء للرياح الشمالية الشرقية الناتجة عن المرتفع السيبيري فتهب على معظم شمالها وهي رياح باردة جافة بسبب منشأها القاري وتستمر من أكتوبر وحتى مارس،

(١) موسى، أساسيات علم المناخ، مصدر سابق، ص٤٧.

(٢) الراوي، صباح، وعدنان هزاع البياتي، أسس علم المناخ، الموصل، دار الكتب للطباعة والنشر، ١٩٩٩م. ص١٢٥.

(٣) شحادة، مصدر سابق، ص٤٢ و٤٣ و٤٤.

(٤) Al-Jibly, A.A.T.A Study in Humane Climatology of the Republic of the Yemen. A thesis for degree of doctor of physiology of Arts, University of Brimingham, England, ١٩٩٣.p.١٠١.

والرياح الجنوبية والجنوبية الغربية نظراً لوقوع البلاد تحت امتداد المرتفع شبه المداري ومنخفض البحر الأحمر^(١).

أما في فصل الصيف فتتعرض البلاد لهبوب الرياح الجنوبية والجنوبية الغربية نتيجة لتزحزح منظومة الضغط العالي شبه المداري إلى شمال الجزيرة العربية فتخضع البلاد لامتدادات المنخفض الموسمي الهندي، وتعتبر الرياح خط الاستواء فتؤثر في كل أجزاء البلاد، مسببة تساقط أمطار صيفية على المرتفعات الجنوبية والجنوبية الغربية من البلاد، وتستمر من مارس حتى سبتمبر، وبذلك يختفي أثرها في فصل الشتاء، أما الرياح المحلية الناتجة عن تأثير منخفضات البحر الأحمر والمنخفضات المحلية وتأثير صحاري شبه الجزيرة العربية واختلاف قيم الضغط ما بين الجبال والأودية واليابس والماء المحليين وإن مما يزيد صعوبة فهم حركة الرياح داخل البلاد تأثير الوضع التضاريسي الذي يغير كثيراً من اتجاه الرياح الأصلية إلى اتجاهات أخرى ضمن التضاريس.

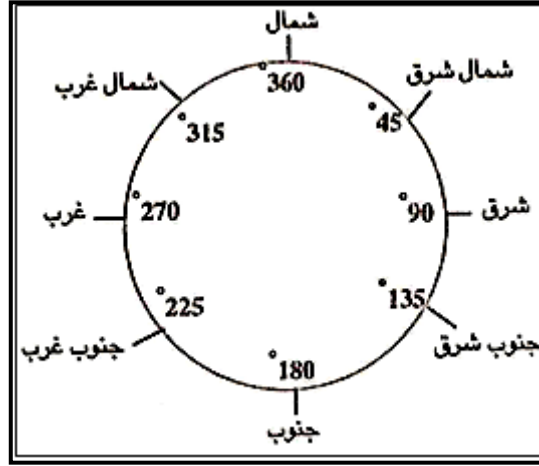
وتسمى الرياح باسم الجهة التي تهب منها، ويعبر عن اتجاه الرياح بالدرجات مقاسة مع اتجاه حركة عقارب الساعة، ابتداءً من الشمال الجغرافي صفر - ٣٦٠°، واتجاه الشرق ٩٠° والجنوب ١٨٠° والغرب ٢٧٠° وما بين تلك الاتجاهات الرئيسية اتجاهات ثانوية (شمال شرق، جنوب شرق، جنوب غرب، شمال غرب)، كما في شكل (٨)، وتتأثر اتجاهات الرياح بمواقع مراكز الضغط الجوي الدائمة والموسمية وحركتها اليومية، وتتداخل عوامل التضاريس وظروف التغيرات الطقسية المحلية في تحديد اتجاه الرياح.

ولا تتأثر الجمهورية اليمنية بالأعاصير الاستوائية التي تتكون فوق مياه المحيط الهندي، والتي تتحرك غالباً إلى الشمال الغربي أو الغرب ونادراً ما تدخل هذه الأعاصير خليج عدن غير أنها تفقد الكثير من شدتها عندما تصل إلى جزر كوريا موريا وسواحل عمان، وينتج عن تلاشي هذه الأعاصير انخفاض درجة حرارة مياه الخليج عن حرارة مياه المحيط^(٢)، وتحدد اتجاهات الرياح بجهاز دوار الرياح wind vane وتوجد منه عدة أنواع

(١) المسيلي، أفراح ناجي محسن، مصدر سبق ذكره، ص ٩٠، نقلاً عن: عبد الله، عبد الحكيم محمد يوسف، بعض الظواهر الجوية المؤثرة في تشكيل مناخ اليمن، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة بغداد، كلية الآداب، ٢٠٠٠م. ص ٢١٣.
(٢) محمد، عبد القادر عساج، مصدر سابق، ص ١١٧.

تتشترك جميعها في أنها تحدد اتجاه الرياح بواسطة ذراع يسهل للرياح تحريكه أفقياً ويدل اتجاه مقدمته على الاتجاه الذي تهب منه الرياح.

شكل (٨) تحديد اتجاهات الرياح



المصدر: غانم، علي أحمد، الجغرافيا المناخية، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمان، ٢٠٠٣م، ص٤٠١.

ثالثاً: سرعة الرياح في الجمهورية اليمنية : wind speed

تحدد سرعة الرياح بالمسافة التي تقطعها خلال زمن معين، فنقول مثلاً إن سرعة الرياح ١٥ م/ثا أو ٣٠ كم/ساعة أو ١٦ عقدة^(*)، فلا بد من ذكر المسافة والزمن لوصف سرعة الرياح، وتتأثر سرعتها بقوتين رئيسيتين، الأولى قوة انحدار الضغط، والثانية قوة الاحتكاك بسطح الأرض، فقوة الانحدار تؤثر على سرعة الرياح من حيث تقارب مراكز الضغط (زيادة السرعة) أو تباعدها (انخفاض السرعة)، أي أنه المسؤول الرئيسي عن بدء حركتها. أما قوة الاحتكاك فيزداد تأثيرها على تقليل سرعة الرياح كلما كان السطح أكثر خشونة، ويظهر تأثيرها في الهواء الملاصق لسطح الأرض، فالرياح في المناطق الجافة لا يوجد ما يعيق حركتها، لأن الغطاء النباتي يكاد يختفي^(١)، إن الطاقة الموجودة في الرياح تتناسب مع مكعب سرعة الرياح، والذي يعني أنه في حالة مضاعفة سرعة الرياح فإن الطاقة من الناحية النظرية تزداد بثمان مرات^(٢).

(*) العقدة = ١.٨٥٣ كم/ساعة، وهي رديف الميل البحري، والعقدة تساوي أيضاً ٠.٥ م/ث.

(١) جودة، جودة حسنين، الأراضي الجافة وشبه الجافة، دار المعرفة الجامعية للطبع والنشر والتوزيع، الإسكندرية، ١٩٩٦م. ص٣٨.

(٢) الامير، فؤاد قاسم، حل مشكلة الطاقة هو التحدي الأكبر للبشرية في القرن الحادي والعشرين، بغداد، مؤسسة الغد للدراسات والنشر، ٢٠٠٥م. ص١٩٢.

وتتراوح معدلات سرعة الرياح في الجمهورية اليمنية بين ٤-١٠ كم/ساعة، ومن الملاحظ أن سرعة الرياح في المناطق المتضرسة تكون أقل من المناطق قليلة التضاريس (السهلية) بسبب تأثير الاحتكاك، وتوجد في الجمهورية اليمنية بعض العواصف ولكن حدوثها قليل، إضافة إلى أن سرعتها لا تزيد عن ٥٠ كم في الساعة، وتكون اتجاهاتها غربية أو جنوبية غربية أو جنوبية شرقية في الغالب ويمكن أن تحس في كل الأشهر، وغالبا ما تكون الرياح العاصفية شتوية في الحديدة وربيعية صيفية في تعز وصيفية في صنعاء.

رابعاً: العوامل المؤثرة على حركة الرياح في الجمهورية اليمنية:

تؤثر بعض العوامل الطبيعية على حركة الرياح ويصعب التحكم بها أو تغييرها، فهي المسؤولة عن التأثير على حركة الرياح من حيث السرعة والاتجاه مكانياً وزمانياً تبعاً لتأثيرها، وأهم هذه العوامل ما يأتي:

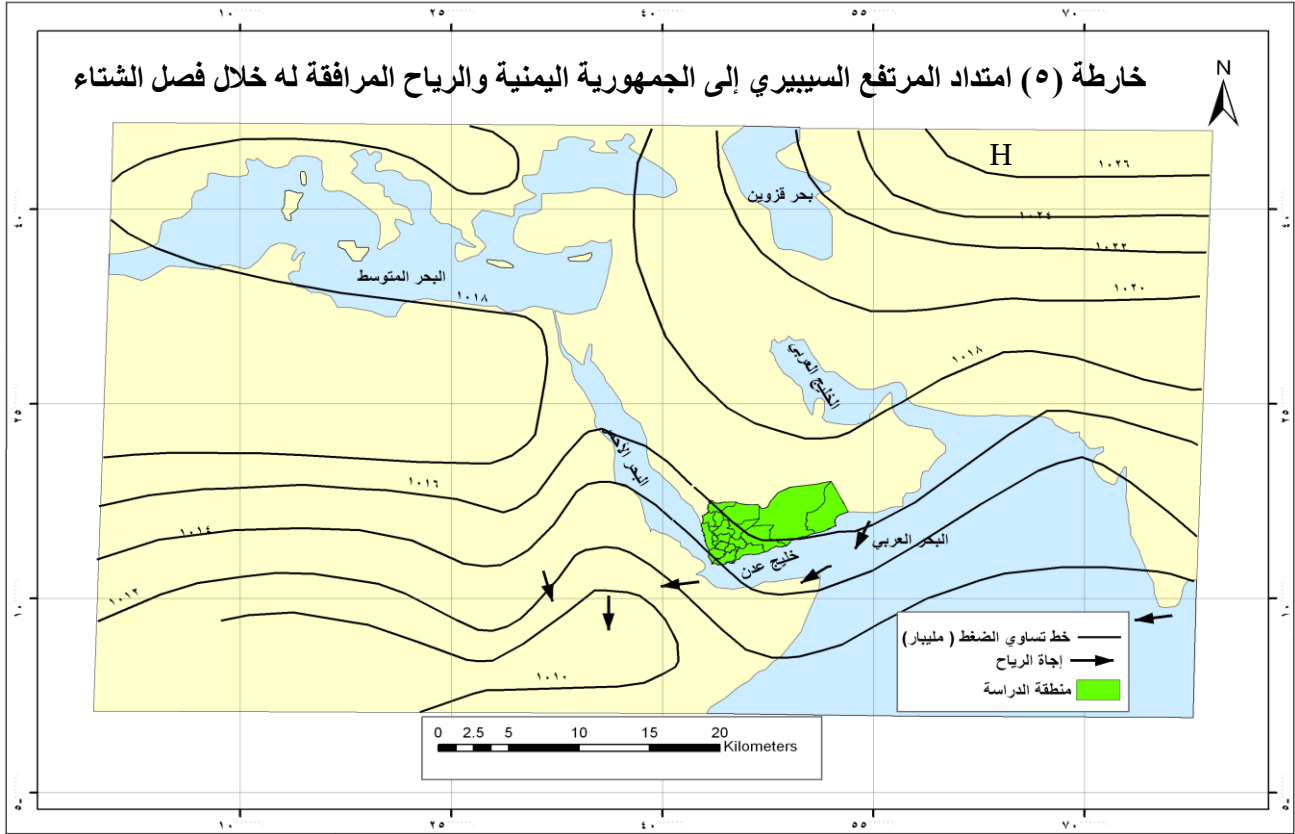
١- قوة انحدار الضغط:

تعمل المنظومات الضغطية كالمرتفعات المتمركزة فوق السهول السيبرية وشمال إفريقيا، والمنخفضات الموسمية المتمركزة فوق غرب شبه القارة الهندية وإفريقيا على تشكيل مناخ الجمهورية اليمنية بشكل عام والرياح بشكل خاص، ويمكن توضيح ذلك بالآتي:

أ- أثر المنظومات الضغطية خلال فصل الشتاء:

تتعتمد الشمس على مدار الجدي في نصف الكرة الجنوبي، فيصاحب ذلك ترحل مراكز الضغط الجوي لنصف الكرة الشمالي المداري وشبه المداري جهة خط الاستواء، وبذلك تسيطر أنظمة الضغوط الجوية المرتفعة شبه المدارية على جنوب شبه الجزيرة العربية، وينحصر هذا التأثير خلال أشهر الشتاء وخاصة شهر ديسمبر بسبب حركة الشمس الظاهرية بين المدارين على مر السنين، كما تتأثر الجمهورية اليمنية بامتداد الضغط المرتفع السيبري (أنظر الخارطة ٥) الذي تنطلق منه رياح بشكل يوافق حركة عقارب الساعة لنصف الكرة الشمالي، وبعد اجتيازها شرق هضبة التبت تصل شبه الجزيرة العربية ومنها الجمهورية اليمنية على هيئة لسان متطاوّل ذي رياح شمالية شرقية وينتج عنها سقوط الأمطار الشتوية نتيجة لمرورها فوق الخليج العربي، إلا أن طبوغرافية سطح البلاد تسهم في تعديل اتجاه

الرياح، ويتقلص الضغط الجوي باتجاه السواحل الجنوبية والغربية، وينتج عن هذا التوزيع للضغوط الجوية تحريك الرياح السطحية من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض وبذلك تهب الرياح الشمالية الشرقية على الأقسام الجنوبية، والرياح الجنوبية الشرقية على الأقسام الشمالية والغربية من الجمهورية اليمنية^(١)، وهذا ما جعل تلك المناطق تحظى بسرعة رياح مناسبة لإنتاج الطاقة الريحية بكميات اقتصادية.



المصدر: علي، عبدالله حيدر سالم، المناخ وعلاقته بالأنشطة الزراعية والتلوث في البيئة الساحلية اليمنية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة دمشق، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، ٢٠٠٨م. ص٣٤.

ب- أثر المنظومات الضغطية خلال فصل الربيع:

لا تظهر تبدلات كبيرة وجذرية في قيم وتوزيع مراكز الضغوط الجوية في الأقاليم المجاورة للجمهورية اليمنية، فتظل الرياح السائدة كما كانت في الشتاء ولكن بدرجة أقل، ومع ذلك نجد أن تأثير مركز ضغط أزور يتقلص ويتمركز فوق الأجزاء الغربية من البحر المتوسط بشكل خاص وتتراوح قوته بين ١٠١٦ - ١٠٢٠ ميلليبار، (أنظر الخارطة ٦)، بينما

^(١) علي، عبدالله حيدر سالم، المناخ وعلاقته بالأنشطة الزراعية والتلوث في البيئة الساحلية اليمنية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة دمشق، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، ٢٠٠٨م. ص٣٥-٣٥ (بتصرف).

يسيطر مراكز الضغط المنخفض ١٠٠٨ ميلليبار في جنوب الصحراء الكبرى، كما تقل قيم الضغط الجوي في شبه الجزيرة العربية وتتراوح بين ١٠١٠-١٠١٢ ميلليبار، بينما تشتد وطأة الضغط الجوي العالية في جنوب أفريقيا بسبب التبريد لتصل إلى ١٠١٨ ميلليبار، فترسل برياحها شمالاً، ونتيجة لضعف مراكز الضغط الجوي العالية في أواسط شبه الجزيرة العربية، إضافة إلى تمركز الضغط المنخفض العميق حول خط الاستواء، نجد أن الأقاليم الانتقالية كالجمهورية اليمنية تصبح مركزاً للتيارات الهوائية الشمالية والجنوبية، وهذا يفسر الاضطرابات الجوية الربيعية والتي ينتج عنها التهطل الذي يختلف من سنة لأخرى بسبب



المصدر: الربيعي، رافع خضير إبراهيم، تحليل جغرافي للتباين المناخي بين محطات القائم وسامراء وخانقين، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة تكريت، كلية التربية، ٢٠٠٨م. ص٥٨.

الرياح الشمالية والجنوبية ، والرياح الجنوبية يكون تأثيرها أكبر لأنها تأتي من مركز الضغط الجوي المرتفع فوق المحيط الهندي محملة ببخار الماء^(١) ، وهذا ما جعل المناطق الساحلية والصحراوية تمتاز بأعلى سرعة للرياح، وهذا يعني وصول إنتاج الطاقة الريحية إلى ذروتها خلال هذا الفصل .

(١) آغا، شاهر جمال، جغرافية اليمن الطبيعية للخطر الشمالي، مكتب الأنوار بدمشق، ١٩٨٣م. ص٢٨٠-٢٨٣.

ج- أثر المنظومات الضغطية في فصل الصيف:

نتيجة لحركت الشمس الظاهرية باتجاه مدار السرطان، فيحدث ارتفاع كبير لدرجة الحرارة خلال أشهر الصيف في نصف الكرة الشمالي، وهذا ينجم عنه انخفاض كثافة الهواء، ومن ثم انخفاض الضغط الجوي، ويؤدي هذا إلى ترحل أنظمة الضغوط العالية، فيتزحزح الضغط المنخفض الاستوائي إلى دائرة عرض ١٩° شمالاً، ويصل امتداد الأخدود الاستوائي إلى أجزاء كثيرة من آسيا وإفريقيا المداريتين، بسبب اتساع اليابسة في النصف الشمالي في العروض الدنيا، ويتحرك الأخدود الاستوائي ليغطي شمال أفريقيا ومنتصف الجزيرة العربية في يوليو ويكون موقعه شمال البلاد في نفس الوقت، وفيه تكون الرياح بصورة عامة خفيفة ومتغيرة الاتجاهات^(١)،

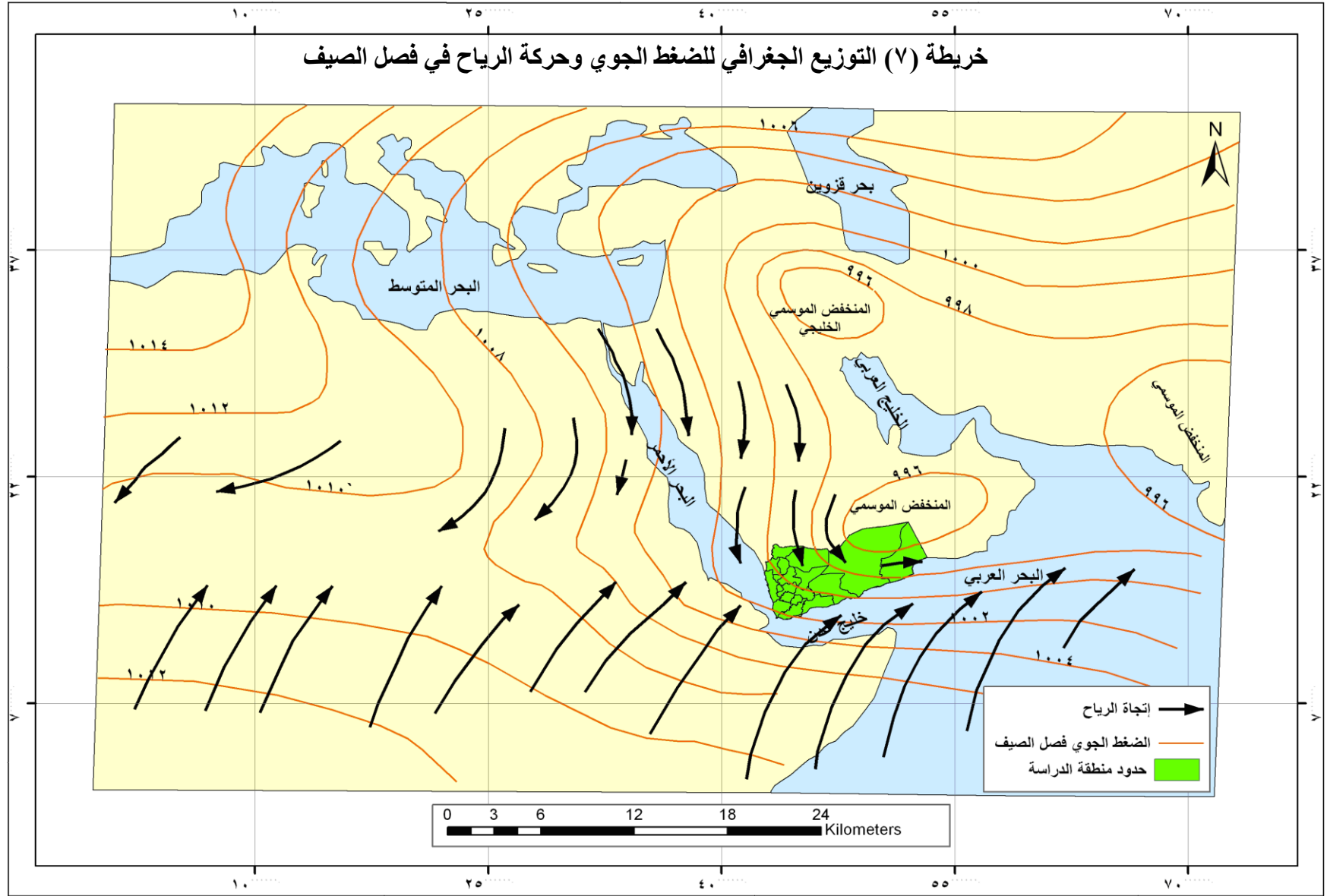
ويتشكل منخفض ضغط آخر فوق شمال الجزيرة العربية (منخفض شبه الجزيرة العربية) ٩٩٨ ميلليبار^(٢)، ويكون تأثير هذا المنخفض كبير جداً على مناخ البلاد بتقدم أشهر الصيف وذلك عند اندماجه مع منخفض الهند الموسمي ليشكلاً منخفضاً عميقاً سطحياً يسهم في تغير أحوال الطقس في الجمهورية اليمنية^(٣)، وفي الوقت نفسه تزداد قيم الضغط الجوي في نصف الكرة الجنوبي بسبب التبريد، وهكذا يكون جنوب شرق إفريقيا مركزاً للضغط العالي ١٠٢٦ ميلليبار، (انظر الخارطة ٧). وهو الذي يرسل بهوائه الحار الرطب نحو الشمال والشمال الشرقي ويمر فوق جنوب الجمهورية اليمنية وبسبب المرتفعات الإفريقية وجبال الجمهورية اليمنية تتحرف هذه الرياح نحو شبه القارة الهندية مسببة الأمطار الموسمية، ومع ذلك فإن الرياح الشمالية والشمالية الشرقية الجافة مازالت تصل إلى البلاد من مركز ضغط أزور عبر الصحراء الكبرى وهذا بدوره يحد من اتساع نطاق رقعة الأمطار الموسمية وكميتها في البلاد من سنة لأخرى^(٤).

(١) علي، عبدالله حيدر سالم، مصدر سابق، ص ٣٦.

(٢) آغا، شاهر جمال، مصدر سابق، ص ٢٨١.

(٣) علي، عبدالله حيدر سالم، مصدر سابق، ص ٣٦.

(٤) آغا، شاهر جمال، مصدر سابق، ص ٢٨٢.



المصدر: الباحث اعتمادا على: علي، عبدالله حيدر سالم، المناخ وعلاقته بالأنشطة الزراعية والتلوث في البيئة الساحلية اليمنية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة دمشق، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، ٢٠٠٨م. ص٣٧.

وخلال هذا الفصل يتحرك نطاق تقابل الهواء بين المدارين (ITCZ^(*)) شمال خط الاستواء حتى يصل إلى شمال البلاد في شهر يوليو وهذا السبب الرئيسي لسقوط الأمطار الصيفية، حيث يكون تأثيره ناتج عن تقابل الرياح التجارية الشمالية الشرقية والجنوبية الغربية، ويظهر تأثير منخفض الهند الموسمي على البلاد في شهر مايو عند اختفاء أنظمة الضغوط الجوية الشتوية لتحل محلها الضغوط الجوية الصيفية، حيث تستبدل منظومة العروض الوسطى مع بداية شهر يوليو بنظام هادلي الصيفي، وبذلك يبدل الضغط السائد في فصل الشتاء لطبقة التروبوسفير المنخفضة بمنخفض واطى يمتد ليشمل معظم أنحاء الجزيرة العربية ومنها الجمهورية اليمنية ويمتد حتى مصر وشرق البحر المتوسط، ونتيجة لهذا الامتداد يتشكل نطاق هائل من الضغط المنخفض وسط شبه الجزيرة فيسود هذه المناطق هواء حار، وفي الوقت نفسه تسود الرياح الموسمية الجنوبية الغربية^(١)، ونتيجة لكون الجمهورية اليمنية أصبحت ذات ضغط منخفض فذلك يعني زيادة سرعة الرياح لتصبح ممتازة لإنتاج الطاقة الكهربائية بشكل اقتصادي وبذلك تسهم بشكل كبير في تزويد الكثير من المناطق الساحلية بالطاقة كونها حارة وتحتاج إلى طاقة كبيرة ومتواصلة لتعديل حرارة المساكن عن طريق تشغيل المكيفات الخاصة بالمواطنين..

د- أثر المنظومات الضغطية في فصل الخريف:

يتجه تعامد الشمس في هذا الفصل نحو النصف الجنوبي للكرة الأرضية، فتأخذ درجات الحرارة في النصف الشمالي في الانخفاض فترتفع قيم الضغط الجوي في أواسط الصحراء الكبرى وشبه الجزيرة العربية، حيث تتراوح بين ١٠١٢-١٠١٦ ميلليبار، وبذلك تتحول إلى منطقة ضغط مرتفع نسبياً، بينما تتمركز منطقة من الضغط المنخفض العميق في جنوب الصحراء الكبرى ١٠٠٨ ميلليبار، وتقع البلاد ضمن الأقاليم الانتقالية بين المنطقتين الشمالية والجنوبية المختلفتين في قيم الضغط الجوي، وبذلك تنتزع الجمهورية اليمنية حركة الرياح المختلفة الشمالية والجنوبية لأن مراكز الضغط الجوي لا تزال في مراحلها الانتقالية، وقد

(*) نطاق الفاصل المداري ITCZ وهو مختصر Inter-Tropical convergence zone يعرف بأنه خط وهمي يفصل بين نوعين من الرياح، ويتحرك في الاتجاه الذي تدفعه الرياح الأفقى، فتكون حركته نحو الجنوب شتاءً والشمال صيفاً، ويطلق عليه أيضاً نطاق الجبهة الدائم إذ تلتقي فيه الرياح الشمالية والشمالية الشرقية الجافة مع الرياح الجنوبية والجنوبية الغربية الرطبة بحيث تكون المنطقة شمال هذا النطاق جافة والمنطقة جنوبه منطقة تساقط.

(١) علي، عبدالله حيدر سالم، مصدر سابق، ص ٣٨.

تتقدم الكتل الهوائية الجنوبية الأكثر رطوبة اتجاه شمال البلاد، ونتيجة لصعودها الجبال تتكاثف ويسفر عنها أمطار الخريف وخاصة في الأجزاء الجنوبية من البلاد^(١) وهذا ما جعل المناطق الساحلية والصحراوية تمتاز بسرعة رياح عالية تجعل من إنتاج الطاقة الريحية اقتصادي لسد كثير من احتياجات السكان من الطاقة خلال هذا الفصل.

٢- قوة الاحتكاك:

ينجم عن احتكاك الرياح بسطح الأرض الوعر تغيراً في اتجاه الرياح وانخفاضاً في سرعتها . فكلما كان السطح أكثر وعورة ازدادت فعاليته في التأثير على اتجاه الرياح وسرعتها، وهذا ما يتضح من المقارنة بين رياح كانت متحركة فوق سطح مائي أملس (قليل الخشونة) ثم انتقلت مباشرة إلى سطح اليابس الخشن المجاور، مما يجعل سرعتها تقل ووجهتها تتغير^(٢).

وتقل قوة الاحتكاك بالارتفاع عن سطح الأرض، وتأثيرها يصل إلى ارتفاعات أعلى فوق المدن والغابات مما هو فوق المسطحات المائية، ويهمل تأثير الاحتكاك على ارتفاع أكثر من ١ كم عن سطح الأرض، لذلك تتزايد سرعة الرياح بالارتفاع تدريجياً مع تناقص قوة الاحتكاك، وإن تناقص سرعة الرياح بفعل الاحتكاك يؤدي إلى انخفاض تأثير قوة كوريوليس، ويؤدي ذلك إلى تفوق قوة انحدار الضغط على قوة كوريوليس^(٣).

ونتيجة لطبيعة سطح الجمهورية اليمنية الذي يمتاز بالتباينات التضاريسية فإن الرياح تلقى كثيراً من المقاومة وبذلك نجدها متباينة الاتجاهات، فتعمل المرتفعات الجنوبية والغربية على صد الرياح الجنوبية الغربية، والحد من سرعتها قبل أن تصل إلى المناطق الداخلية من البلاد^(٤)، وهذا يظهر بوضوح كون الجهة المقابلة لهذه الرياح تمتاز بكمية هطول مطري كبيرة، وذلك بسبب أنها تعمل على صد هذه الرياح ورفعها نحو الأعلى فيتكاثف بها بخار

(١) عيسى، مصطفى عبد العال تمام، محافظة صنعاء-دراسة جغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء، كلية الآداب، ١٩٨٥ م. ص ٨٠ و ٨١.

(٢) موسى، أساسيات علم المناخ، مصدر سابق، ص ٧٨ و ٧٩.

(٣) غانم، علي أحمد، مصدر سابق، ص ١٠٩.

(٤) مطر، أحمد جمعة، جيمورفولوجية الجزء الأدنى لحوض جهران ، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة النيلين، السودان، ٢٠٠٤/٢٠٠٥ م. ص ٦٣.

الماء فتقل حركتها ويحدث التهطل، أما الجهة الداخلية لهذه المرتفعات فتكون ضمن منطقة ظل المطر وتكون الرياح بها أقل سرعة نتيجة لتعاود المرتفعات الغربية عليها.

كما يكون تأثير هذا العامل ضعيف في المناطق الصحراوية كونها تتصف بالاستواء تقريبا، يعني ذلك عدم وجود ما يعيق حركتها، ولكن ينعكس على ذلك غياب الشرط الأساسي لحركة الرياح وسرعتها وهو تباين التسخين الذي ينتج اختلاف التضاريس، الذي يعطي تباين في الضغط فينحدر الهواء من الضغط المرتفع باتجاه الضغط المنخفض، وعلى ذلك تكون الرياح في هذه المناطق خفيفة أصلاً إلى حد ما عما في غيرها من المناطق متباينة السطح.

أما السهول الساحلية فتكون أقل المناطق تأثراً بهذا العامل كونها تطل على المسطحات المائية التي تمتاز باستواء سطحها، وعلى ذلك نجد أن حركة الرياح تكون متباينة ليلاً ونهاراً نتيجة لنسيم البر والبحر، إضافة على كونها تشمل على أعلى المعدلات لسرعة الرياح في البلاد، كما تمتاز هذه المناطق بهبوب الرياح ليلاً ونهاراً بسبب نسيم البر والبحر. كما أن هنالك بعض العوامل الثانوية التي تؤثر على حركة الرياح وتؤدي إلى ظهور بعض أنواع الرياح المحلية وهي:

١- أثر اختلافات قيم الضغط الجوي على الرياح:

يؤدي اختلاف قيم الضغط الجوي إلى ظهور أنواع من الرياح المحلية وهي:

أ- نسيم الوادي والجبل:

تنتج هذه الرياح نتيجة للتبادل الحراري بين أعماق الأودية الجبلية من جهة، وقمم السفوح من جهة أخرى، وتكون في أوقات معينة، ويكون نشاطها شديد الوضوح في أوقات سكون الهواء نتيجة لاختلاف قيم الضغط الجوي فيما بينها، فأتثناء النهار مع ارتفاع أشعة الشمس يسخن الهواء في الأودية والسفوح الدنيا بمعدل أسرع من هواء قمم الجبال والسفوح العليا فيرتفع هوائهما نتيجة لانخفاض كثافته الناتج عن التسخين له وتمدده إلى السفوح العليا مكوناً بذلك ما يعرف بنسيم الوادي، وهذه تعتبر المرحلة الأولى التي تحدث يومياً، أما المرحلة الثانية فتبدأ عند غياب الشمس حيث تبدأ الحركة العكسية للرياح فيهبط الهواء البارد الكثيف بالهبوط من القمم والسفوح العليا إلى الوديان، وهو ما يعرف بنسيم الجبل، وهكذا

تحدث هذه الانقلابات الحرارية بين الوادي والجبل في مناطق كثيرة من البلاد نتيجة لطبيعة البلاد الجبلية^(١).

ب- رياح المنخفضات والمرتفعات:

وتحدث هذه الرياح بنفس طريقة حدوث رياح الوادي والجبل، ففي الليل تنحدر الكتل الهوائية الباردة من المرتفعات نحو المنخفضات بسبب التبريد الزائد للمرتفعات الذي يؤدي إلى زيادة قيمها الضغطية مقارنة مع المنخفضات، ونتيجة لانحدار الهواء البارد للمنخفضات يتسبب في تبردها وحدوث الصقيع أحياناً، أما في النهار: فإن المرتفعات بسبب التخلخل في الهواء تتسخن أكثر ويصبح الضغط فيها أقل فترتفع الكتل الهوائية لفارق الضغط نحو الأعلى، وقد يؤدي صعودها إن كانت رطوبة الهواء عالية ومدى الارتفاع كبير نسبياً إلى تشكل بعض السحب المحلية وسقوط الأمطار أحياناً^(٢).

ج- نسيم البر والبحر:

ويتميز نسيم البر والبحر بآثره الواضح هنا مقارنة مع العروض الوسطى، ويرجع ذلك إلى أن الإشعاع الشمسي في العروض شبه المدارية يكون أقوى والتباين الحراري بين اليابس والماء يكون أكبر.

تحدث هذه الرياح يومياً في إقليم السهول الساحلية على شكل رياح خفيفة السرعة يشعر بها سكان السواحل، يحدث نسيم البحر نهاراً بسبب تسخين الهواء فوق اليابسة أكثر من البحر فيقل قيم الضغط الجوي فوق اليابسة والعكس في البحر، ونتيجة لذلك يهب نسيم البحر من مناطق الضغط المرتفع فوق البحر إلى مناطق الضغط المنخفض فوق اليابسة، وتبدأ حركة النسيم خفيفة بعد شروق الشمس بـ ٣ ساعات، وقبل الغروب يصل النسيم إلى أعلى سرعة له بين الساعة الواحدة والرابعة بعد الظهر، أما في الليل فيحدث نسيم البر نتيجة لان اليابسة تفقد حرارتها بشكل أسرع من البحر نتيجة للإشعاع الأرضي، وبالتالي تتغير مراكز الضغط عن النهار، فيكون الضغط المرتفع فوق اليابسة والمنخفض فوق البحر ونتيجة لذلك تهب الرياح من البر نحو البحر، وهو عادة ما يكون أقل قوة من نسيم البحر، ولا يظهر أثره قبل التاسعة مساءً ولكنه يظل في أغلب الأحوال إلى شروق الشمس أو بعدة بساعة، وعليه

(١) أغا، شاهر جمال، مصدر سابق، ص ٢٩١.

(٢) مطر، أحمد جمعة، مصدر سابق، ص ٦٦.

فإن نسيم البر والبحر يكون المسؤول عن الشعور الدائم بتلطيف الجو عند السواحل ليلاً ونهاراً.

٢- أثر المنخفضات الجوية على الرياح:

تؤدي المنخفضات الجوية إلى ظهور أنواع من الرياح المحلية خصوصاً إذا كانت الرياح العامة ساكنة، وهذه الرياح غير ثابتة وتهب خلال فترة زمنية قصيرة، قد تكون يوماً أو جزءاً منه، وأحياناً تستمر لبضعة أيام، ومن أنواع هذه الرياح التي تهب على البلاد والتي تعرف بمصطلحات محلية مختلفة ما يأتي^(١):

أ- رياح السموم:

وهي رياح محلية شمالية وشمالية غربية، تهب من صحراء شبه جزيرة العرب شمال البلاد، وهي رياح حارة جافة متربة، وتهب على الأجزاء الشرقية من البلاد كوادي حضرموت، ومأرب ويمتد تأثيرها حتى السواحل الجنوبية، وتهب هذه الرياح خلال فصل الصيف مؤدية إلى ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض نسبة الرطوبة، وتعتبر هذه الرياح صورة أخرى من رياح الخماسين.

ب- رياح الكاوي:

توجد هذه الرياح في كل من عدن، لحج، شبوة، وبيحان، وهي رياح حارة مثيرة للأتربة، مصدرها الصحاري الداخلية للربع الخالي شمالي البلاد وتتجه نحو خليج عدن والبحر العربي، وتهب في فصل الربيع، وتهب رياح مشابهة شتاءً ولكنها باردة نوعاً ما محملة بالغبار لأيام قلائل.

ج- الرياح القبليّة:

هو اسم محلي للرياح الشمالية والغربية التي تهب في فصل الربيع، وقد تكون الأتربة التي تحملها من الكثرة بحيث تقلل من مدى الرؤية أحياناً إلى بضع أمتار^(٢) وتهب هذه الرياح على سواحل البحر العربي من ساحل حضرموت والمهرة، وهي رياح قوية تهب من الهضبة الجنوبية لوادي حضرموت، والجال الجنوبية من الجمهورية اليمنية.

(١) المسيلي، أفراح ناجي محسن، التحليل الجغرافي لدرجات الحرارة في اليمن، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء، كلية الآداب، ٢٠٠٨م. ص ٩٠.

(٢) شرف، عبد العزيز طريح، الجغرافيا المناخية والنباتية مع التطبيق على مناخ إفريقيا ومناخ العالم العربي، دار المعرفة الجامعية، مصر، ٢٠٠٠م. ص ١٥٤.

د- رياح الشمال:

هي اسم يطلقه سكان السواحل اليمنية الجنوبية على الرياح الجنوبية، وهي رياح تتصف بالقوة والشدة، وتظهر على نطاق واسع من الساحل الجنوبي لليمن من بداية يوليو وحتى شهر سبتمبر، مما يساعد على خفض درجات الحرارة صيفاً في هذه السواحل إذا ما قورنت بسواحل البحر الأحمر.

٣- أثر السفوح الجبلية على الرياح:

أ- رياح ألفوهن: رياح ألفوهن هي ظاهرة مناخية شائعة في الجمهورية اليمنية وذلك بسبب وجود المرتفعات والمنخفضات، خصوصاً في سهل تهامة والمنخفضات الوسطى، ولهذه الرياح تأثير على درجات الحرارة، إذ بعد هبوط الهواء على السفوح الخلفية للجبال ترتفع درجة حرارة تلك السفوح بسبب التسخين الذاتي للهواء الهابط، وقد يكون هذا النوع من الرياح هو المتسبب في دفيء الجو نوعاً ما في إقليم الأحواز الوسطى خلال بعض أيام فصلي الخريف والشتاء^(١).

٤- أثر المنخفضات المحلية على الرياح:

تؤدي المنخفضات المحلية إلى ظهور عدد من أنواع الرياح المحلية في الجمهورية اليمنية^(٢) وهي:

أ- رياح الغوبة:

وهي رياح محلية تهب على عدن ولحج ومأرب وما جاورها، وعادة ما يترافق هبوبها مع الرياح الجنوبية الغربية، حيث تنشط في فصل الصيف بسبب تكون المنخفضات الحرارية المحلية على عموم البلاد.

ب- رياح العفير:

وتشتهر بهذا الاسم في منطقة لحج، ترافقها باستمرار العواصف الغبارية، مما يساعد على تجميع بخار الماء حولها فتتهطل زخات مطرية خفيفة، وعادة ما ترافق مرور الجبهات الباردة على المنطقة، وتؤدي هذه الرياح إلى تبريد الهواء السطحي. إن هذه القوى مجتمعة تؤدي إلى إعطاء الصورة النهائية لاتجاهات الرياح وسرعتها.

(١) آغا، شاهر جمال، مصدر سابق، ص ٢٩١.

(٢) المسيلي، أفراح ناجي محسن، مصدر سابق، ص ٩١.

خلاصة:

ناقش المبحث الأول من هذا الفصل الإشعاع الشمسي والعوامل الجغرافية المؤثرة فيه في الجمهورية اليمنية، واتضح أن للموقع الجغرافي تأثيراً مباشراً في تباين زاوية سقوط الإشعاع إذ بلغت في صعدته أقصى شمال الجمهورية اليمنية 49.3° في فصل الشتاء بينما بلغت 54.4° في جزيرة سقطرى أقصى جنوب الجمهورية اليمنية، وترتفع هذه الزاوية تدريجياً حتى تتعامد على أراضي الجمهورية اليمنية في شهر مايو أثناء حركة الشمس من خط الاستواء إلى مدار السرطان، وفي شهر يوليو أثناء عودة الشمس من مدار السرطان إلى خط الاستواء، كما تبين أن هذا الموقع جعل طول النهار يتراوح بين ١١-١٣ ساعة/يوم، في حين يبلغ معدل السطوع الفعلي ٨.٨ ساعة/يوم وهذا يجعل الجمهورية اليمنية تحظى بكمية إشعاع شمسي يمكن الاستفادة منها في توليد الطاقة لسد حاجتها من الكهرباء، كما تبين أثر صفاء السماء على كمية الإشعاع الشمسي حيث جاءت مأرب أعلى المناطق من حيث صفاء السماء بنسبة سنوية بلغت ٧٨% تتباين هذه النسبة بحسب الشهور وتكون أعلاها ٩٢% في شهر نوفمبر وأقلها ٦٦% في شهر يوليو نتيجة لتشكل السحب.

كما بينت الدراسة من خلال مناقشة العوامل الجغرافية المؤثرة على حركة الرياح في الجمهورية اليمنية، فقد بينت أن الضغط السيبيري المرتفع أدى إلى تشكيل الرياح الشمالية والشمالية الشرقية في الشتاء، وأن الرياح الجنوبية والجنوبية الغربية تكون نتيجة لتركز الضغط المنخفض حول خط الاستواء، وأن المرتفعات الجبلية تعمل على صد الرياح الجنوبية والحد من سرعتها والدليل على ذلك كون الجهة المقابلة لحركة الرياح تمتاز بهطال كبير، وتبين أن تباين الضغط الجوي يشكل سبباً للرياح المحلية فهي تؤدي إلى تشكل نسيم الوادي والجبل ونسيم البر والبحر، وأن المنخفضات الجوية تؤدي إلى ظهور رياح السموم على حضرموت ومأرب ورياح الكاوي التي تهب من الهضبة الشرقية نحو خليج عدن وبحر العرب، والرياح القبلية التي تهب على سواحل البحر العربي من سواحل حضرموت والمهرة من الهضبة الجنوبية لوادي حضرموت والجبال الجنوبية من الجمهورية اليمنية.

الفصل الثالث

التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي وحركة الرياح

المبحث الأول: التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي

أولاً: التوزيع الجغرافي للسطوع الشمسي

ثانياً: التوزيع الجغرافي لكمية الإشعاع الشمسي

المبحث الثاني: التوزيع الجغرافي لحركة الرياح

أولاً: التوزيع الجغرافي لاتجاه الرياح

ثانياً: التوزيع الجغرافي لسرعة الرياح

مدخل:

ناقش الفصل السابق مفهوم الإشعاع الشمسي والرياح والعوامل الجغرافية المؤثرة فيهما، وسيتناول المبحث الأول من هذا الفصل التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي و ساعات السطوع وكمية الإشعاع الشمسي كونها ضرورة ملحة من أجل تحديد المناطق الجغرافية الملائمة لإنشاء مزارع خلايا شمسية سواء الصغيرة لتغطية القرى الريفية أو الكبيرة التي يمكن ربطها بالشبكة الوطنية للكهرباء.

كما سيناقش المبحث الثاني التوزيع الجغرافي لكل من اتجاه الرياح وسرعتها كونها ضرورية لتحديد المناطق الجغرافية الملائمة لإنشاء مزارع الرياح وإنشاء التوربينات المتعامدة مع الاتجاه أما التوربينات الحديثة فهي ذات زاوية متحركة مع اتجاه الرياح، كما تتطلب هذه المزارع سرعة رياح مناسبة لتبدأ الدوران وإنتاج الطاقة الكهربائية. وبناء على نتائج التوزيع الجغرافي لهذين العنصرين سيتم تحديد الأماكن المثالية لإنتاج الطاقة الكهربائية المتجددة من الإشعاع الشمسي والرياح في الجمهورية اليمنية.

المبحث الأول: التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية:-

تمتاز المناطق التي تحظى بساعات سطوع كثيرة بكمية إشعاع كبيرة وهذا يؤهلها لإنتاج الطاقة المتجددة من الإشعاع الشمسي، وفيما يأتي عرض تحليلي للتوزيع الجغرافي لكل من مدة السطوع وكمية الإشعاع الشمسي.

أولاً: التوزيع الجغرافي لساعات السطوع الشمسي:

للسطوع الشمسي أهمية كبيرة كونه وسيلة انتقال حرارة الشمس إلى سطح الأرض حيث يتناسب طردياً مع كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض ، وتمتاز الجمهورية اليمنية بحكم موقعها الجغرافي بساعات سطوع نظري لا تقل عن ١١ ساعة في جميع أشهر الخريف والشتاء ولا تزيد عن ١٣.٩ ساعة في جميع أشهر الربيع والصيف، لهذا سنتتبع مدة السطوع الشمسي على مستوى الأقاليم التضاريسية في الجمهورية اليمنية وذلك لكنها تعد العنصر الأساسي في توليد الطاقة عبر الخلايا الشمسية، وكما يأتي:

١- السطوع الشمسي في إقليم المنخفضات الوسطى:

يتميز هذا الإقليم بصفاء السماء وخلوه من السحب، ولذلك نجد أن ساعات السطوع الشمسي الفعلية في هذا الإقليم تأتي في المرتبة الثانية بعد إقليم الهضبة الشرقية، فهو يتميز بصفاء السماء طوال العام عدا شهري يوليو وأغسطس اللذين تتشكل فيهما الغيوم وتهطل الأمطار، ويتضح من (الجدول ١٣ والخريطة ٨) أن إقليم المنخفضات الوسطى يمتاز بمعدل سطوع سنوي يبلغ ٩.١ ساعة/يوم، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٩.٦ ساعة/يوم، وفي فصل الربيع يبلغ معدل السطوع ٩.١ ساعة/يوم نتيجة لتشكيل السحب وسقوط الأمطار الربيعية على هذا الإقليم، أما في فصل الصيف فتتخفض ساعات السطوع إلى ٧.٧ ساعة/يوم ، ويرتفع في فصل الخريف إلى ٩ ساعات/يوم.

أما توزيعه الجغرافي اعتماداً على محطاته المناخية فنجد أن معدل السطوع الشمسي في محطة ذمار يبلغ ٩.٦ ساعة/يوم في فصل الشتاء، في حين تكون ٨.٩ ساعة/يوم في فصل الربيع و ٧.٩ ساعة/يوم في الصيف، بينما يعد فصل الخريف أكثرها إشراقاً بمعدل ٩.٥ ساعة/يوم، وعليه يكون السطوع السنوي ٩ ساعات/يوم (الخريطة ٩)، في حين يكون معدل السطوع الشمسي في محطة صنعاء في فصل الشتاء ٩.٦ ساعة/يوم، وفي فصل الربيع تكون

جدول (١٣) التوزيع الجغرافي لمعدلات ساعات السطوع الشمسي في الجمهورية اليمنية (ساعة/يوم)

المعدل	فصل الخريف				فصل الصيف				فصل الربيع				فصل الشتاء				الفصل	الإقليم
	المعدل	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	المعدل	أغسطس	يوليو	يونيو	المعدل	مايو	أبريل	مارس	المعدل	فبراير	يناير	ديسمبر	الشهر	
٨.١	٨.٨	٩.٤	٩.٣	٧.٨	٦.٨	٧.٣	٦.٣	٦.٩	٨.٨	٩.١	٨.٩	٨.٣	٨.١	٨	٨.١	٨.١	الحديدة	السهول الساحلية
٨.٦	٩	٨.٩	٩.٢	٩	٧.٤	٨.٣	٦.٩	٧.١	٩.٨	١٠	٩.٥	٩.٩	٨.٣	٨.٥	٨.٢	٨.١	عدن	
٨.٨	٩.٢	٩.٧	١٠.١	٧.٩	٧.٣	٨.٥	٧.٥	٥.٨	٩.٤	٩.٦	١٠	٨.٥	٩.١	٨.٩	٨.٧	٩.٨	الريان	
٨.٥	٩	٩.٣	٩.٥	٨.٢	٧.٢	٨	٦.٩	٦.٦	٩.٣	٩.٦	٩.٥	٨.٩	٨.٥	٨.٥	٨.٣	٨.٧	المعدل	
٨.٤	٩	٩.٥	٩.٤	٨	٧.٣	٧.٦	٧	٧.٤	٨.٨	٨.٨	٨.٧	٩	٨.٦	٨.٧	٨.٤	٨.٧	تعز	المرتفعات الجبلية
٦.٥	٦.٩	٦.٣	٧.٤	٧	٦.٨	٦.٢	٧	٧.٣	٦.٦	٧.٢	٧	٥.٧	٥.٥	٥.٣	٥	٦.٣	حجة	
٧.٨	٨.٣	٨.٨	٩.٣	٦.٨	٥.٩	٥.٣	٥.٤	٦.٩	٨.٢	٧.٥	٨.٤	٨.٧	٨.٩	٩.٢	٨.٦	٨.٨	إب	
٧.٦	٨.١	٨.٢	٨.٧	٧.٣	٦.٧	٦.٤	٦.٥	٧.٢	٧.٩	٧.٨	٨	٧.٨	٧.٧	٧.٧	٧.٣	٧.٩	المعدل	
٩	٩.٨	١٠	١٠.٥	٩	٧.٤	٧	٦.٢	٩	٨.٩	٩	٨.٨	٨.٩	٩.٦	٩.٣	٩.٦	١٠	صنعاء	المنخفضات الوسطى
٩.٢	٩.٧	١٠.٣	١٠.٥	٨.٣	٧.٨	٧.٢	٥.٩	١٠.٢	٩.٥	١٠.٦	٨.٥	٩.٤	٩.٧	٩.٢	٩.٧	١٠.٣	صعدة	
٩	٩.٥	١٠.١	٩.٩	٨.٥	٧.٩	٧.٥	٧	٩.٢	٨.٩	٨.٨	٨.٧	٩.٣	٩.٦	٩.٦	٩.٧	٩.٦	ذمار	
٩.١	٩.٧	١٠.١	١٠.٣	٨.٦	٧.٧	٧.٢	٦.٤	٩.٥	٩.١	٩.٥	٨.٧	٩.٢	٩.٦	٩.٤	١٠	١٠	المعدل	
٨.٢	٨.٣	٨.٣	٨.٤	٨.٢	٧.٩	٨	٧.٥	٨.٣	٨.٦	٨.٩	٨.٥	٨.٤	٧.٨	٨.٢	٧.٦	٧.٧	سينون	الهضبة الشرقية
٩.٣	١٠	١٠.٤	١٠.٣	٩.٢	٨.٧	٨.٥	٨.٢	٩.٤	٩.٢	٩.٩	٨.٧	٩	٩.٥	٩.١	٩.٧	٩.٦	مأرب	
٨.٨	٩.٢	٩.٤	٩.٤	٨.٧	٨.٣	٨.٣	٧.٩	٨.٩	٨.٩	٩.٤	٨.٦	٨.٧	٨.٧	٨.٧	٨.٧	٨.٧	المعدل	

المصدر: الباحث اعتماداً على

- (١) الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٣-٢٠٠٧م.
- (٢) السهمي، ناجي صالح، أثر المناخ على إنتاجية البن في اليمن، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء، كلية الآداب، ٢٠٠٤م. ص٣٦.
- (٣) الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٥م.

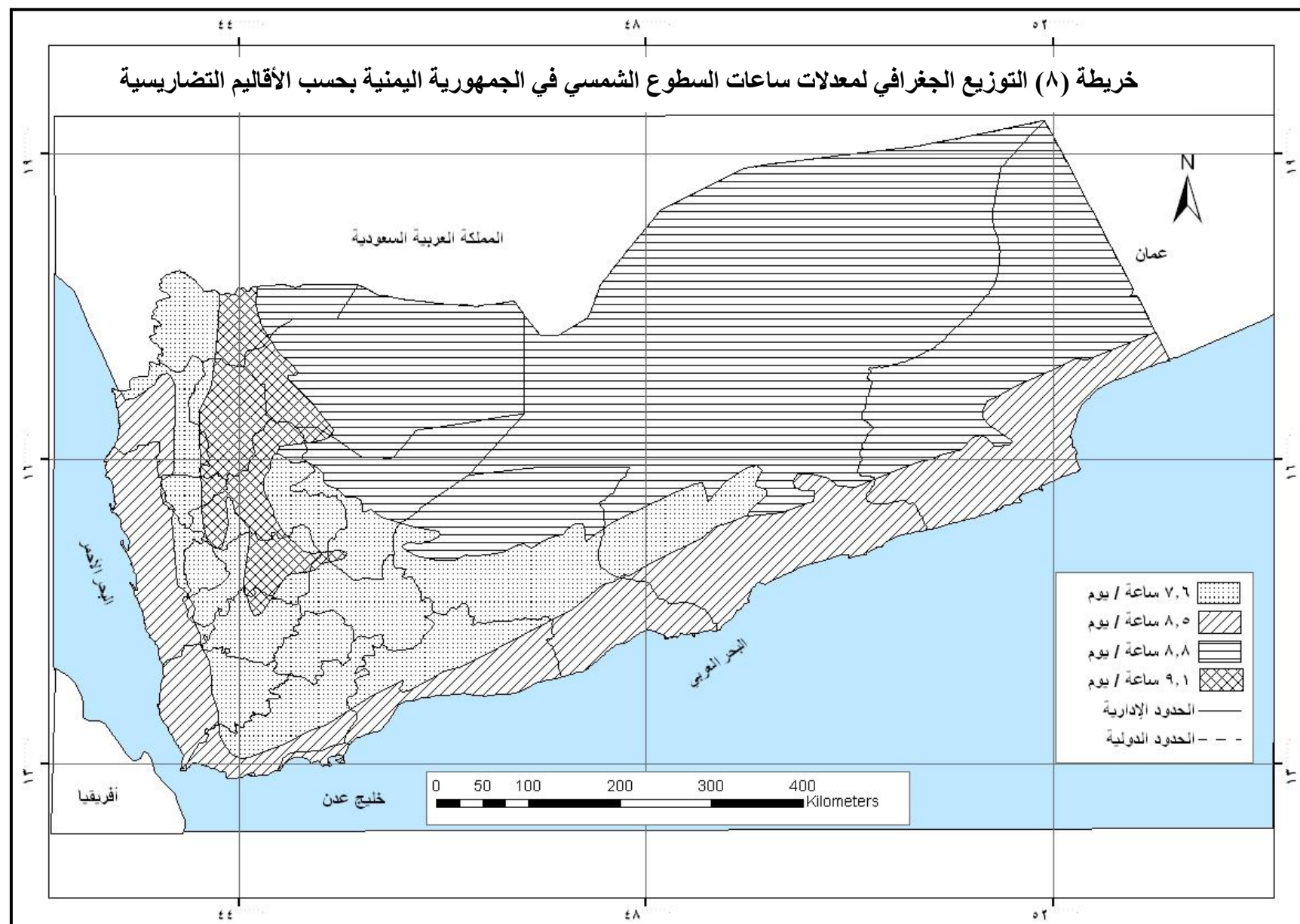
٨.٩ ساعة/يوم و ٧.٤ ساعة/يوم في الصيف، بينما يعد فصل الخريف أكثرها إشراقا نتيجة لصفاء السماء ليصل ٩.٨ ساعة/يوم، وبالتالي يكون السطوع السنوي ٩ ساعات، أما صعدته فتكون أكثر مناطق المنخفضات الوسطى سطوعاً فتبلغ ٩.٧ ساعة/يوم في فصل الشتاء و ٩.٥ ساعة/يوم في الربيع، أما في الصيف فتتخفض إلى ٧.٨ ساعة/يوم نتيجة لتشكيل السحب وسقوط الأمطار الموسمية، ثم ترتفع إلى ٩.٧ ساعات/يوم في الخريف، وعليه يكون السطوع الشمسي ٩.٢ ساعة/يوم.

وهناك تباين في التوزيع الشهري لساعات السطوع الشمسي حيث يكون شهري أغسطس ويوليو أقل الأشهر سطوعاً فقد سجل هذان الشهران في دمار ٧ و ٧.٥ ساعة/يوم على التوالي ، بينما كانت المدة من سبتمبر إلى يونيو تتراوح بين ٨.٥ - ١٠.١ ساعة/يوم، في حين ترتفع ساعات السطوع إلى ٩.٩ و ١٠.١ ساعة/يوم في شهري أكتوبر ونوفمبر على التوالي، أما محطة صعدته فينخفض السطوع الشمسي في شهري يوليو وأغسطس إلى ٥.٩ و ٧.٢ ساعة/يوم، ويرجع لنفس الأسباب المذكورة، أما بقية الشهور فقد تراوح السطوع بين ٧.٢ - ١٠.٦ ساعة/يوم، أما محطة صنعاء فيبلغ السطوع الشمسي في شهري يوليو وأغسطس ٦.٢ و ٧.١ ساعة/يوم، في حين تراوحت ساعات السطوع بين ٦.٢ - ١٠.٥ ساعة/يوم لبقية أشهر السنة.

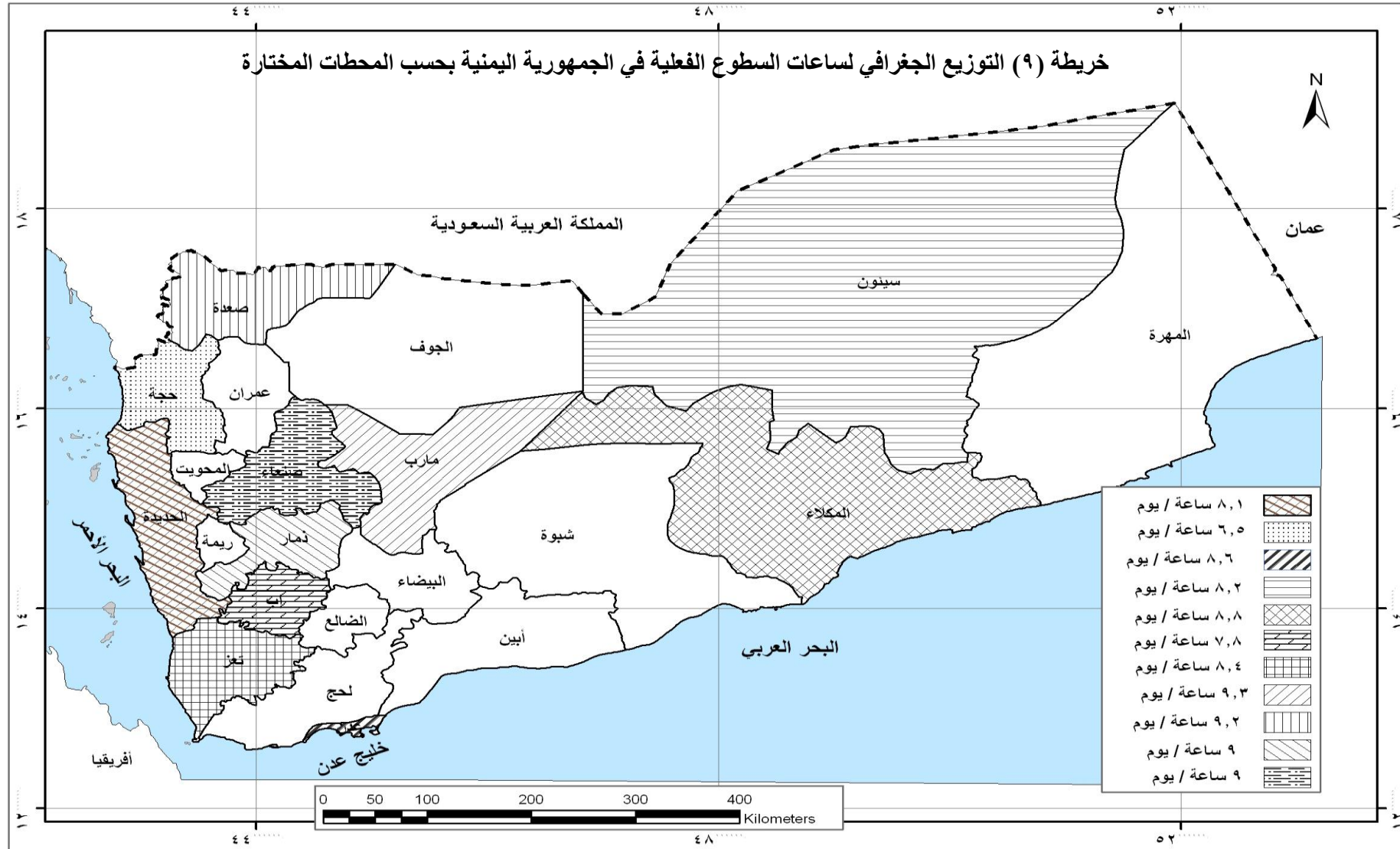
٢- السطوع الشمسي في إقليم الهضبة الشرقية :

يتمتع إقليم الهضبة الشرقية بصفاء السماء طوال العام حيث تتراوح ساعات السطوع الشمسي ما بين ٧.٩ في يوليو إلى ٩.٤ ساعة/يوم في مايو وأكتوبر ونوفمبر، ويتضح من (الجدول ١٣ والخريطة ٨) أن إقليم الهضبة الشرقية يعد الإقليم الأول من حيث ارتفاع ساعات السطوع فيبلغ معدلها السنوي ٨.٨ ساعة/يوم، أما معدل ساعات السطوع الفصلي فكان في فصل الشتاء ٨.٧ ساعة/يوم، وفي الربيع ٨.٩ ساعة/يوم، وفي الصيف ٨.٣ ساعة/يوم، وفي الخريف ٩.٢ ساعة/يوم.

أما على مستوى المحطات فنجد ساعات السطوع في سيئون ٧.٨ ساعة/يوم شتاء و ٨.٦ ساعة/يوم في الربيع، بينما في الصيف والخريف فتبلغ على التوالي ٧.٩ و ٨.٣ ساعة/يوم، وعليه يكون المعدل السنوي للسطوع في سيئون ٨.٢ ساعة/يوم، في حين نجد أن مأرب



المصدر : الباحث اعتماداً على الجدول (١٣)



المصدر: الباحث اعتمادا على الجدول (١٣)

تمتاز بأعلى معدل سطوع شمسي في الجمهورية اليمنية حيث يبلغ معدله السنوي ٩.٣ ساعة/يوم، فتكون ساعات السطوع في الشتاء ٩.٥ ساعة/يوم وفي الربيع ٩.٢ ساعة/يوم وفي الصيف ٨.٧ ساعة/يوم وفي الخريف ١٠ ساعات/يوم.

ويأتي فصلي الربيع والصيف بعد الفصلين السابقين من حيث فترة السطوع، ويرجع ذلك لهبوب الرياح التي تثير الرمال والأتربة، بالإضافة إلى تغيم السماء وهطول المطر أحيانا على بعض المناطق، ويتراوح المعدل الشهري لسطوع بين ٧.٥ - ٩ ساعات/يوم في سيئون سجلت أدنى ساعات السطوع الفعلية في شهر يوليو وفي يناير ٧.٦ ساعة وفي ديسمبر ٧.٧ ساعة، أما أعلى ساعات السطوع فكانت في شهري إبريل ومايو ٨.٥ و ٨.٩ ساعة/يوم على التوالي، في حين يتراوح ساعات السطوع الفعلية في مأرب بين ٨.٢ - ١٠.٤ ساعة/يوم، سجلت أدنى ساعات السطوع في يوليو، بينما أعلى ساعات السطوع الشمسي فكانت في شهري أكتوبر ونوفمبر حيث بلغت ١٠.٣ و ١٠.٤ ساعة/يوم، وذلك بسبب صفاء السماء وخلوها من العواصف الترابية.

٣- السطوع الشمسي في إقليم السهول الساحلية:

تغطي السحب السهول الغربية خلال فصل الصيف إذ تحجب ما نسبته ٤٠ - ٤٣% من صفاء السماء في الحديدة، بسبب هبوب الرياح الموسمية الصيفية على هذا الإقليم، حيث تراوحت ساعات السطوع الفعلية بين ٦.٩ ساعة/يوم في يونيو إلى ٧.٣ ساعة/يوم في أغسطس، أما في فصل الشتاء فتكون التغطية أقل فتتراوح بين ٢١ - ٢٦% نظرا لخلو الإقليم من الرياح الممطرة، وبذلك تكون مدة السطوع بين ٧.٨ - ٩.٤ ساعة/يوم.

بينما تحجب السحب ٢٣ - ٥٦% من السماء في السهل الجنوبي من هذا الإقليم خلال فصل الصيف في الريان، ويؤدي ذلك إلى تدني السطوع الفعلي إلى ٥.٨ ساعة/يوم في يونيو، ثم ترتفع ساعات السطوع إلى ٩.١ ساعة/يوم في فصل الشتاء نتيجة لقلّة الأمطار، ويتضح من خلال (الجدول ١٣) أن ساعات السطوع الشمسي في إقليم السهول الساحلية تكون أكثر من إقليم المرتفعات الجبلية حيث يبلغ المعدل السنوي ٨.٥ ساعة/يوم، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٨.٥ ساعة/يوم ونتيجة لتعامد أشعة الشمس على البلاد في فصل الربيع يرتفع معدل السطوع ليبلغ ٩.٣ ساعة/يوم، أما في فصل الصيف فتتخفض ساعات

السطوع إلى ٧.٢ ساعة/يوم لسبب الموضح أعلاه، أما فصل الخريف فيرتفع السطوع إلى ٩ ساعات/يوم.

أما في السهل الغربي فنجد ساعات السطوع (الحديدة) تبلغ ٨.١ ساعة/يوم في فصل الشتاء وترتفع إلى ٨.٨ ساعة/يوم في فصل الربيع، نتيجة لكون أشعة الشمس عمودية على الجمهورية اليمنية في فصل الربيع، أما في فصل الصيف فتتخفض ساعات السطوع إلى ٦.٨ ساعة/يوم نتيجة لتشكل الغيوم وسقوط الأمطار صيفا، بينما ترتفع ساعات السطوع إلى ٨.٨ ساعة/يوم في فصل الخريف، أما السهل الجنوبي فيكون المعدل السنوي لساعات السطوع فيه ٨.٧ ساعة/يوم، فنجد ساعات السطوع في عدن ٨.٣ ساعة/يوم شتاء و ٩.٨ ساعة/يوم في الربيع، في حين تنخفض صيفا إلى ٧.٤ ساعة/يوم، ثم ترتفع إلى ٩ ساعات/يوم في الخريف، في حين تبلغ ساعات السطوع في الريان ٩.١ ساعة/يوم شتاء و ٩.٤ ساعة/يوم في الربيع، وتتنخفض في الصيف إلى ٧.٣ ساعة/يوم، ثم ترتفع في الخريف إلى ٩.٢ ساعة/يوم.

ومن حيث التوزيع الشهري لساعات السطوع نجد هنالك تباين في ساعات السطوع الشمسي على مدار العام وإن كان الاختلاف ضئيلا أحيانا نتيجة لاختلاف الأحوال الطبيعية، ويكون هذا التباين أكثر وضوحا في شهري يونيو ويوليو حيث تنخفض ساعات السطوع فيهما إلى ٦.٦ و ٦.٩ ساعة/يوم على التوالي، في حين ترتفع ساعات السطوع إلى ٩.٥ و ٩.٦ ساعة/يوم في شهري أكتوبر ومايو على التوالي، أما على مستوى المحطات فيتراوح المعدل الشهري لسطوع بين ٦.٣ - ٩.٤ ساعة/يوم في الحديدة، وسجلت أدنى ساعات السطوع الفعلية في شهر يوليو، أما أعلى ساعات السطوع فكانت في شهر نوفمبر، في حين يتراوح ساعات السطوع الفعلية في عدن بين ٦.٩ - ١٠ ساعة/يوم، سجلت أدنى ساعات السطوع في يوليو ٦.٩ ساعة/يوم، بينما أعلى ساعات السطوع الشمسي فكانت في شهر مايو ١٠ ساعات/يوم، أما في الريان فكانت ساعات السطوع الفعلية تتراوح بين ٧.٥ - ١٠.١ ساعة/يوم، سجلت أدنى ساعات السطوع في يوليو، بينما أعلى ساعات السطوع الشمسي فكانت في شهر أكتوبر.

وتباين السطوع من عام إلى آخر بسيط (*) حيث تقل نسبة التباين في جميع الأقاليم عن ٥.٠ ساعة/يوم مقارنة بالمعدلات الموضحة في الجدول ١٢، ويرجع السبب في ذلك لصفاء سماء هذا الإقليم طوال مدة الدراسة.

٤- السطوع الشمسي في إقليم المرتفعات الجبلية:

تتباين ساعات السطوع الشمسي الفعلية التي سجلتها محطات الرصد في هذا الإقليم حيث تراوحت بين ٥.٨ ساعة وهي أدنى مدة سطوع في الصيف نتيجة لكثرة تغطية السماء بالسحب، ويتضح من الجدول (١٣) أن إقليم المرتفعات الجبلية أقل المناطق اليمينية من حيث ساعات السطوع الفعلية حيث يبلغ معدلها السنوي ٧.٦ ساعة/يوم، ويرجع سبب ذلك إلى كثرة الغيوم عليها معظم أيام السنة لا اعتراضها الرياح الموسمية المحملة ببخار الماء القادمة من المحيط الهندي والبحر الأحمر، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٧.٧ ساعة/يوم ونتيجة لتعاود أشعة الشمس على البلاد في فصل الربيع يرتفع معدل السطوع ليبلغ ٧.٩ ساعة/يوم، بينما في فصل الصيف فتتخفض ساعات السطوع إلى ٦.٧ ساعة/يوم بسبب الأمطار الموسمية، في حين ترتفع ساعات السطوع الشمسي في فصل الخريف إلى ٨.١ ساعة/يوم. بينما نجد أن معدل السطوع الشمسي على مستوى محطات هذا الإقليم تتباين ففي محطة حجة لا يتباين كثيرا فيبلغ ٥.٥ ساعة/يوم في فصل الشتاء، في حين تكون ٦.٦ ساعة/يوم في فصل الربيع و ٦.٨ ساعة/يوم في الصيف، بينما يعد فصل الخريف أكثرها إشراقا بنسبة ضئيلة ليصل ٦.٩ ساعة/يوم، ومن خلال ذلك نستنتج أن حجة أقل مناطق الجمهورية اليمينية سطوعا وبالتالي هي أقلها من حيث كمية الإشعاع الذي ينتج عنه الطاقة الشمسية، وعليه تكون أقل المناطق ملائمة لإنتاج الطاقة الشمسية في البلاد، في حين يكون معدل السطوع الشمسي في محطة إب في فصل الصيف ٥.٩ ساعة/يوم، وفي فصل الربيع تكون ٨.٢ ساعة/يوم و ٨.٣ ساعة/يوم في الخريف، بينما يعد فصل الشتاء أكثرها إشراقا نتيجة لصفاء السماء ليصل ٨.٩ ساعة/يوم، أما تعز فتكون أكثر مناطق المرتفعات الجبلية سطوعاً فتبلغ ٨.٦ ساعة/يوم في

(*) لمزيد من التفاصيل أنظر الملحق (١) ص ٢٢٨.

فصل الشتاء و ٨.٨ ساعة/يوم في الربيع، أما في الصيف فتتخفض إلى ٧.٣ ساعة/يوم نتيجة لتشكيل السحب وسقوط الأمطار الموسمية، ثم ترتفع إلى ٩ ساعات/يوم في الخريف.

وبالنظر إلى التوزيع الشهري لساعات السطوع نجد هنالك تباين في ساعات السطوع الشمسي حيث يكون أكثر وضوحاً في شهري أغسطس ويوليو حيث تنخفض ساعات السطوع فيهما إلى ٦.٤ و ٦.٥ ساعة/يوم، في حين ترتفع ساعات السطوع إلى ٨.٢ و ٨.٧ ساعة/يوم في شهري نوفمبر وأكتوبر، أما على مستوى المحطات فيتراوح المعدل الشهري لسطوع بين ٧ - ٩.٥ ساعة/يوم في تعز سجلت أدنى ساعات السطوع في شهر يوليو، أما أعلى ساعات السطوع فكانت في شهر نوفمبر، في حين يتراوح ساعات السطوع في حجة بين ٥ - ٧.٤ ساعة/يوم، سجلت أدنى ساعات السطوع في يناير، بينما أعلى ساعات السطوع الشمسي فكانت في شهر أكتوبر، أما في إب فكانت ساعات السطوع تتراوح بين ٥.٣ - ٩.٣ ساعة/يوم، سجلت أدنى ساعات السطوع في أغسطس، بينما أعلى ساعات السطوع الشمسي فكانت في شهر أكتوبر.

وعلى هذا التباين في ساعات السطوع الشمسي يحدث تباين في كمية الأشعة الشمسية الواصلة إلى مناطق الجمهورية اليمنية المختلفة، فزيادتها تزداد كمية الإشعاع الشمسي التي تكون المصدر الرئيسي للطاقة الشمسية المتجددة، ومن خلال ما سبق نستنتج أن الجمهورية اليمنية تمتاز بسطوع شمسي كبير في جميع الأقاليم وعلى مدار الفصول الأربعة مما يعني زيادة في كمية الطاقة الشمسية التي يمكن إنتاجها بشكل اقتصادي فعال في جميع النواحي الاقتصادية في الجمهورية اليمنية خصوصاً في المناطق التي تحول وعورة السطح فيها دون توصيل التيار الكهربائي إليها.

ثانياً: التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي:

تتباين كمية الإشعاع الشمسي من مكان إلى آخر بسبب الموقع من دوائر العرض ودوران الأرض حول الشمس، ونتيجة لذلك يمكن القول أن دائرة العرض الواحدة تكتسب كمية واحدة من الطاقة إذا تساوت الظروف الأخرى التي تؤثر فيها^(١)، ونتيجة لعدم توفر

(١) محمد، عبد القادر عساج، المناخ المحلي لمدينة صنعاء - دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ٢٠١٠م. ص ٨٠.

أجهزة لقياس كمية الإشعاع الشمسي بشكل مباشر في بعض الدول ومنها الجمهورية اليمنية، فقد توصل المختصون إلى العديد من المعادلات التي تربط بين كمية الإشعاع والسطوع الشمسي، وتعد أفضل هذه المعادلات ما توصل إليها أنجستروم، وهي معادلة انحدار خطي بسيط تربط بين الإشعاع الشمسي والإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي وفترة الإشراق النسبية وهي^(١):

$$R_s = (a_s + b_s n/N) R_a$$

حيث أن:

$$R_s = \text{الإشعاع الشمسي قصير الموجة (ميغا جول/ م}^2\text{/يوم)}$$

$$n = \text{فترة السطوع الشمسي الفعلية ، بينما } N = \text{فترة السطوع النظري}$$

$$R_a = \text{الإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي}^{(*)} \text{ (ميغا جول/ م}^2\text{/يوم)}$$

a_s = ثابت انحداري^(**) يعبر عن الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض في الأيام المعتمدة.

b_s = ثابت انحداري^(***) يعبر عن الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض في الأيام الصافية.

وقد تم استخدام هذه المعادلة لقياس الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية وتكوين الجدول (١٣) بحسب الأقاليم الطبيعية.

١- الإشعاع الشمسي في إقليم الهضبة الشرقية :

يتميز إقليم الهضبة الشرقية بصفاء السماء طوال العام، ويلاحظ من الجدول (١٤) أنه يحتل المرتبة الأولى بين الأقاليم الطبيعية من حيث معدل الإشعاع الشمسي فيبلغ المعدل السنوي له ٢١.٧ ميغا جول/م^٢/يوم (خريطة ١٠)، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء

(١) ألين، رتشاردي، وزملاؤه، البحر- نتج للمحاصيل- دليل تقدير الاحتياجات المائية، ترجمة فوزي بن سعيد عواد، ومحمد بن إبراهيم السعود، جامعة الملك سعود للنشر العلمي والمطابع، ٢٠٠٦م. ص٨٣- ٨٤.

(*) لمزيد من التفاصيل حول كيفية استخراج R_a أنظر رتشاردي ألين، وزملاؤه، البحر- نتج للمحاصيل- دليل تقدير الاحتياجات المائية، ترجمة فوزي بن سعيد عواد، ومحمد بن إبراهيم السعود، جامعة الملك سعود للنشر العلمي والمطابع، ٢٠٠٦م. ص٧٧- ٨٣.

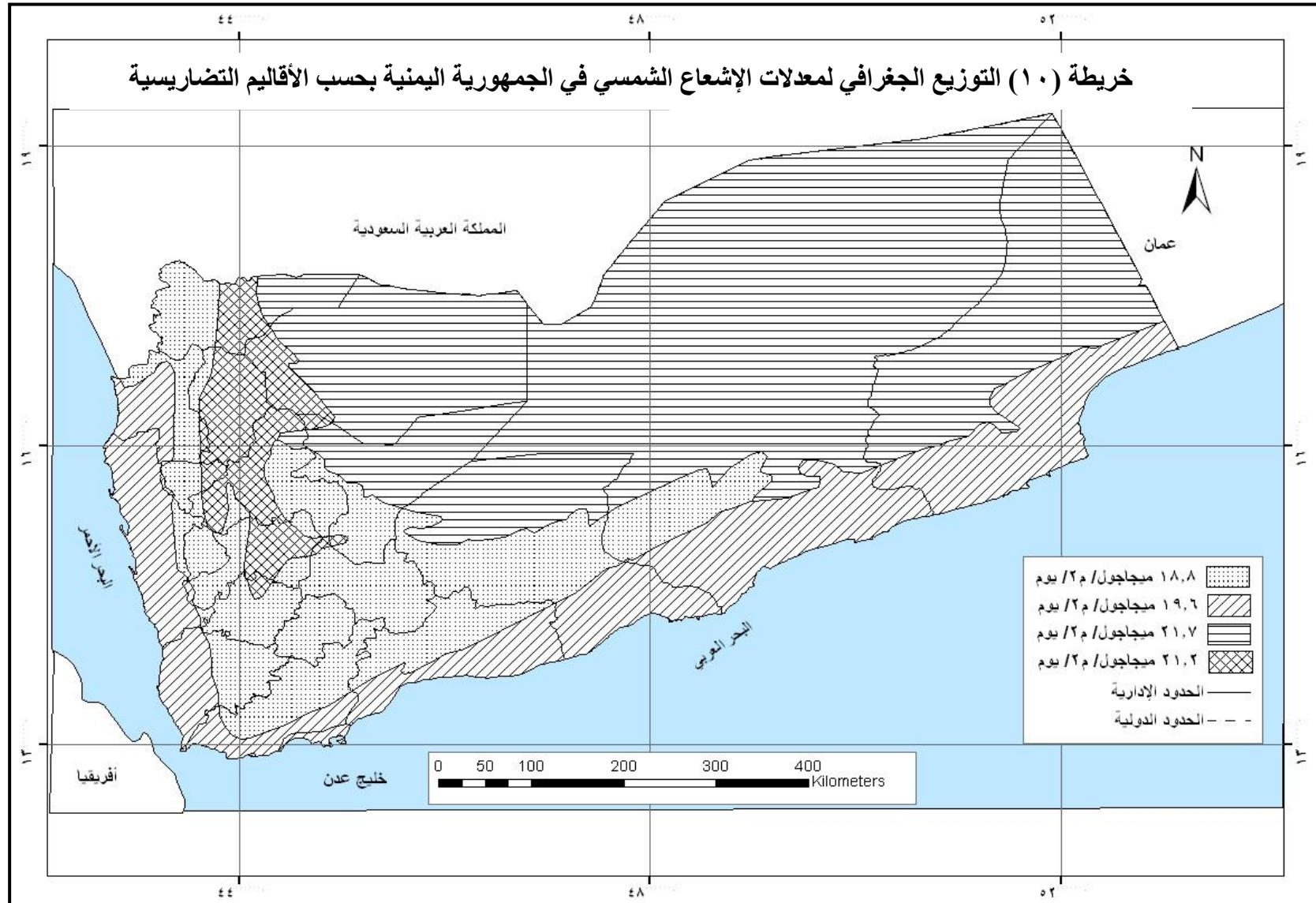
(**) الثابت الانحداري a_s = أ، وهو يختلف من مكان لآخر ومن وقت لآخر، وقد أوجد نادر صيام أن معدله السنوي في الحديدة ٠.٢٢٢، بينما يساوي ٠.٢٢٥ في تعز، ويساوي ٠.٣٠٣ في صنعاء، و٠.٢١٩ في صعده، ويساوي ٠.٢٩١ في مأرب، مع العلم أنه أوجد قيمته الفصلية والتي استخدمت في الدراسة، لمزيد من التفاصيل أنظر نادر صيام، العلاقة بين الإشعاعات الشمسية وساعات السطوع الفعلية في مواقع مختارة من اليمن، مجلة كلية الآداب صنعاء، ص ٣٣٢- ٣٣٥.

(***) الثابت الانحداري b_s = ب، وهو يختلف من مكان لآخر ومن وقت لآخر كذلك، وقد أوجد نادر صيام أن معدله السنوي في الحديدة ٠.٤٤٨، بينما يساوي ٠.٥٠٠ في تعز، ويساوي ٠.٤٤٩ في صنعاء، و٠.٥٢٥ في صعده، ويساوي ٠.٤٥٠ في مأرب، مع العلم أنه أوجد قيمته الفصلية والتي استخدمت في الدراسة، لمزيد من التفاصيل أنظر نادر صيام، العلاقة بين الإشعاعات الشمسية وساعات السطوع الفعلية في مواقع مختارة من اليمن، مجلة كلية الآداب صنعاء، ص ٣٣٢- ٣٣٥.

جدول (١٤) التوزيع الجغرافي لمعدلات الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية (ميغا جول/م^٢/يوم)

المعدل السنوي	فصل الخريف				فصل الصيف				فصل الربيع				فصل الشتاء				الفصل الإقليم	
	المعدل	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	المعدل	أغسطس	يوليو	يونيو	المعدل	مايو	أبريل	مارس	المعدل	فبراير	يناير	ديسمبر	المحطة	السهول الساحلية
١٨.٥	١٩	١٨.٢	١٩.٩	١٨.٨	١٧.٩	١٨.٧	١٧.٤	١٧.٧	٢٠.٢	٢١.١	٢٠.٨	١٨.٨	١٦.٩	١٧.٨	١٦.٣	١٦.٦	الحديدة	
١٩.٩	٢٠.٢	١٩.٦	٢١	١٩.٩	١٩.٤	١٩.٩	١٨.٩	١٩.٤	٢١.٥	٢١.٦	٢١.٦	٢١.٣	١٨.٤	١٩.٨	١٧.٨	١٧.٧	عدن	
٢٠.٤	٢٠.٨	٢٠.١	٢٢.٤	١٩.٨	١٩.٣	٢١.٤	١٩.٦	١٦.٨	٢٢.٥	٢٣.١	٢٣.٨	٢٠.٧	١٩.٢	٢٠.٢	١٨.٢	١٩.٢	الريان	
١٩.٦	٢٠	١٩.٣	٢١.١	١٩.٥	١٨.٩	٢٠	١٨.٦	١٨	٢١.٤	٢١.٩	٢٢.١	٢٠.٣	١٨.٢	١٩.٣	١٧.٤	١٧.٨	المعدل	المرتفعات الجبلية
١٩.٩	٢٠.٣	٢٠	٢١.٤	١٩.٦	١٩	١٩.٥	١٨.٣	١٩.١	٢١.٦	٢١.٨	٢١.٨	٢١.٢	١٨.٦	٢٠	١٨	١٧.٨	تعز	
١٧.٢	١٦.٩	١٤.٦	١٧.٨	١٨.٣	١٩.٤	١٨.٤	١٩.٨	١٩.٩	١٨.٩	٢٠.٣	١٩.٨	١٦.٥	١٣.٧	١٤.٤	١٢.٧	١٣.٩	حجة	
١٩.٣	١٩.٣	١٨.٤	٢١	١٨.٦	١٨.٢	١٧.٣	١٧.٥	١٩.٧	٢١.٢	٢٠.٧	٢١.٩	٢١.١	١٨.٤	٢٠.٥	١٧.٥	١٧.٣	إب	
١٨.٨	١٨.٨	١٧.٧	٢٠.١	١٨.٨	١٨.٨	١٨.٤	١٨.٥	١٩.٦	٢٠.٦	٢٠.٩	٢١.٢	١٩.٦	١٦.٩	١٨.٣	١٦.١	١٦.٣	المعدل	المنخفضات الوسطى
٢١.٩	٢٢.٢	٢٠.٥	٢٣.٢	٢٢.٨	٢١.٨	٢١.٤	٢٠.٣	٢٣.٧	٢٣.٦	٢٤.٣	٢٣.٩	٢٢.٦	١٩.٩	٢١.٤	١٩.٢	١٩	صنعاء	
٢٠.٨	٢٠.٧	١٩.٣	٢٢.١	٢٠.٦	٢٠.٩	٢٠.٣	١٨.٧	٢٣.٧	٢٣	٢٥.٤	٢٢.١	٢١.٥	١٨.٧	١٩.٦	١٨	١٨.١	صعدة	
٢١	٢٠.٥	١٩.٣	٢١.١	٢١.٢	٢١	٢٠.٦	١٩.٩	٢٢.٥	٢٢.٥	٢٢.٨	٢٢.٦	٢٢.١	١٩.٩	٢١.٣	١٩.٥	١٨.٨	ذمار	
٢١.٢	٢١.١	١٩.٧	٢٢.١	٢١.٥	٢١.٢	٢٠.٨	١٩.٦	٢٣.٣	٢٣	٢٤.٢	٢٢.٩	٢٢.١	١٩.٤	٢٠.٨	١٨.٩	١٨.٦	المعدل	الهضبة الشرقية
٢٢.٤	٢٢.٤	٢١.١	٢٣.١	٢٣	٢٣.٣	٢٣.١	٢٢.٧	٢٤.٢	٢٤.١	٢٥.٩	٢٣.٧	٢٢.٨	١٩.٨	٢١.٣	١٩	١٩.١	مأرب	
٢٠.١	٢٠.٣	١٨.٦	٢٠.٥	٢١.٩	٢٢	٢٢.٤	٢١.٦	٢٢.١	٢٣	٢٤	٢٣.٢	٢١.٨	١٨.١	٢٠.١	١٧.٣	١٦.٩	سينون	
٢١.٧	٢١.٤	١٩.٩	٢١.٨	٢٢.٥	٢٢.٧	٢٢.٨	٢٢.٢	٢٣.٢	٢٣.٦	٢٥	٢٣.٥	٢٢.٣	١٩	٢٠.٧	١٨.٢	١٨	المعدل	
٢٠.٣	٢٠.٢	١٩.١	٢١.٢	٢٠.٤	٢٠.٢	٢٠.٣	١٩.٥	٢٠.٨	٢٢	٢٢.٨	٢٢.٣	٢١	١٨.٣	١٩.٧	١٧.٦	١٧.٧	المعدل	معدل الجمهورية

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الملحق (٢)



المصدر: الباحث اعتماداً على الجدول (١٤)

١٩ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٢٣.٦ ميغا جول/م^٢/يوم ، أما في فصل الصيف فيكون ٢٢.٧ ميغا جول/م^٢/يوم ، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٢١.٤ ميغا جول/م^٢/يوم، أما من حيث كمية الإشعاع الشهرية (أنظر الجدول ١٥) فيكون مجموعها السنوي ١٥٨٤٠.٨ ميغا جول/م^٢، في حين تتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الشتاء ٣٤٤١.٩ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الربيع ٤٣٣٦.٥ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الصيف ٤١٧٢.٨ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الخريف ٣٨٨٩.٦ ميغا جول/م^٢.

ويتباين معدل الإشعاع الشمسي الفصلي من إقليم إلى آخر إذ يبلغ في مأرب في فصل الشتاء ١٩.٨ ميغا جول/م^٢/يوم ، وفي فصل الربيع ٢٤.١ ميغا جول/م^٢/يوم ، وفي فصل الصيف ٢٣.٣ ميغا جول/م^٢/يوم ، وفي فصل الخريف ٢٢.٤ ميغا جول/م^٢/يوم، في حين تتباين كمية الإشعاع الشمسي الفصلية فتكون في فصل الشتاء ١٧٩٨.٨ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الربيع ٢٢٢٠.٧ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الصيف ٢١٤٥.٨ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الخريف ٢٠٣٩.١ ميغا جول/م^٢، بينما تكون كميته في سيئون في فصل الشتاء ١٦٤٣.١ ميغا جول/م^٢ وبمعدل ١٨.١ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الربيع ٢١١٥.٨ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٣ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الصيف ٢٠٢٧ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٢ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الخريف ١٨٥٠.٥ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٠.٣ ميغا جول/م^٢/يوم.

بينما يكون التوزيع الشهري لمعدل وكمية الإشعاع الشمسي أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الإشعاع الشمسي في محطة مأرب يتراوح بين ١٩ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر يناير وبكمية تبلغ ٥٨٩ ميغا جول/م^٢ وهذه تمثل أقل كمية إشعاع وبين ٢٥.٩ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر مايو بكمية تبلغ ٨٠٢.٩ ميغا جول/م^٢ وتمثل أعلى كمية إشعاع، وعليه يكون المعدل السنوي للإشعاع الشمسي في محطة مأرب ٢٢.٤ ميغا جول/م^٢/يوم (خريطة ١١) وبكمية سنوية تبلغ ٨٢٠٤.٤ ميغا جول/م^٢، بينما نجد معدل الإشعاع الشمسي في سيئون يتراوح بين ١٦.٩ في شهر ديسمبر وبكمية تبلغ ٥٢٣.٩ ميغا جول/م^٢ وتكون أقل كمية للإشعاع وبين ٢٤ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر مايو بكمية تبلغ ٧٤٤ ميغا جول/م^٢ وهذه أعلى كمية، ويبلغ المعدل السنوي ٢٠.١ ميغا جول/م^٢/يوم بكمية إشعاع سنوية تبلغ ٧٦٣٦.٤ ميغا جول/م^٢.

جدول (١٥) التوزيع الجغرافي لكمية الإشعاع الشمسي في الجمهورية اليمنية (ميجا جول/م^٢/شهر)

المجموع السنوي	فصل الخريف				فصل الصيف				فصل الربيع				فصل الشتاء				الفصل	
	المجموع	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	المجموع	أغسطس	يوليو	يونيو	المجموع	مايو	أبريل	مارس	المجموع	فبراير	يناير	ديسمبر	المحطة	الإقليم
٦٧٧٤	١٧٢٦.٩	٥٤٦	٦١٦.٩	٥٦٤	١٦٥٠.١	٥٧٩.٧	٥٣٩.٤	٥٣١	١٨٦٠.٩	٦٥٤.١	٦٢٤	٥٨٢.٨	١٥٣٦.١	٥١٦.٢	٥٠٥.٣	٥١٤.٦	الحديدة	السهول الساحلية
٧٢٧٣.٤	١٨٣٦	٥٨٨	٦٥١	٥٩٧	١٧٨٤.٨	٦١٦.٩	٥٨٥.٩	٥٨٢	١٩٧٧.٩	٦٦٩.٦	٦٤٨	٦٦٠.٣	١٦٧٤.٧	٥٧٤.٢	٥٥١.٨	٥٤٨.٧	عدن	
٧٤٨٣.٤	١٨٩١.٤	٦٠٣	٦٩٤.٤	٥٩٤	١٧٧٥	٦٦٣.٤	٦٠٧.٦	٥٠٤	٢٠٧١.٨	٧١٦.١	٧١٤	٦٤١.٧	١٧٤٥.٢	٥٨٥.٨	٥٦٤.٢	٥٩٥.٢	الريان	
٢١٥٣٠.٨	٥٤٥٤.٣	١٧٣٧	١٩٦٢.٣	١٧٥٥	٥٢٠٩.٩	١٨٦٠	١٧٣٢.٩	١٦١٧	٥٩١٠.٦	٢٠٣٩.٨	١٩٨٦	١٨٨٤.٨	٤٩٥٦	١٦٧٦.٢	١٦٢١.٣	١٦٥٨.٥	المجموع	
٧٢٧٣	١٨٥١.٤	٦٠٠	٦٦٣.٤	٥٨٨	١٧٤٤.٨	٦٠٤.٥	٥٦٧.٣	٥٧٣	١٩٨٧	٦٧٥.٨	٦٥٤	٦٥٧.٢	١٦٨٩.٨	٥٨٠	٥٥٨	٥٥١.٨	تعز	المرتفعات الجبلية
٦٢٩٧	١٥٣٨.٨	٤٣٨	٥٥١.٨	٥٤٩	١٧٨١.٢	٥٧٠.٤	٦١٣.٨	٥٩٧	١٧٣٤.٨	٦٢٩.٣	٥٩٤	٥١١.٥	١٢٤٢.٢	٤١٧.٦	٣٩٣.٧	٤٣٠.٩	حجة	
٧٠٥٦.٩	١٧٦١	٥٥٢	٦٥١	٥٥٨	١٦٦٩.٨	٥٣٦.٣	٥٤٢.٥	٥٩١	١٩٥٢.٨	٦٤١.٧	٦٥٧	٦٥٤.١	١٦٧٣.٣	٥٩٤.٥	٥٤٢.٥	٥٣٦.٣	إب	
٢٠٦٢٦.٩	٥١٥١.٢	١٥٩٠	١٨٦٦.٢	١٦٩٥	٥١٩٥.٨	١٧١١.٢	١٧٢٣.٦	١٧٦١	٥٦٧٤.٦	١٩٤٦.٨	١٩٠٥	١٨٢٢.٨	٤٦٠٥.٣	١٥٩٢.١	١٤٩٤.٢	١٥١٩	المجموع	
٧٩٩٧.٦	٢٠١٨.٢	٦١٥	٧١٩.٢	٦٨٤	٢٠٠٣.٧	٦٦٣.٤	٦٢٩.٣	٧١١	٢١٧٠.٩	٧٥٣.٣	٧١٧	٧٠٠.٦	١٨٠٤.٨	٦٢٠.٦	٥٩٥.٢	٥٨٩	صنعاء	المنخفضات الوسطى
٧٦٠٦.٥	١٨٨٢.١	٥٧٩	٦٨٥.١	٦١٨	١٩٢٠	٦٢٩.٣	٥٧٩.٧	٧١١	٢١١٦.٩	٧٨٧.٤	٦٦٣	٦٦٦.٥	١٦٨٧.٥	٥٦٨.٤	٥٥٨	٥٦١.١	صعدة	
٧٦٧٤.٥	١٨٦٩.١	٥٧٩	٦٥٤.١	٦٣٦	١٩٣٠.٥	٦٣٨.٦	٦١٦.٩	٦٧٥	٢٠٦٩.٩	٧٠٦.٨	٦٧٨	٦٨٥.١	١٨٠٥	٦١٧.٧	٦٠٤.٥	٥٨٢.٨	ذمار	
٢٣٢٧٨.٦	٥٧٦٩.٤	١٧٧٣	٢٠٥٨.٤	١٩٣٨	٥٨٥٤.٢	١٩٣١.٣	١٨٢٥.٩	٢٠٩٧	٦٣٥٧.٧	٢٢٤٧.٥	٢٠٥٨	٢٠٥٢.٢	٥٢٩٧.٣	١٨٠٦.٧	١٧٥٧.٧	١٧٣٢.٩	المجموع	
٨٢٠٤.٤	٢٠٣٩.١	٦٣٣	٧١٦.١	٦٩٠	٢١٤٥.٨	٧١٦.١	٧٠٣.٧	٧٢٦	٢٢٢٠.٧	٨٠٢.٩	٧١١	٧٠٦.٨	١٧٩٨.٨	٦١٧.٧	٥٨٩	٥٩٢.١	مأرب	الهضبة الشرقية
٧٦٦٦.٤	١٨٥٠.٥	٥٥٨	٦٣٥.٥	٦٥٧	٢٠٢٧	٦٩٤.٤	٦٦٩.٦	٦٦٣	٢١١٥.٨	٧٤٤	٦٩٦	٦٧٥.٨	١٦٤٣.١	٥٨٢.٩	٥٣٦.٣	٥٢٣.٩	سينون	
١٥٨٤٠.٨	٣٨٨٩.٦	١١٩١	١٣٥١.٦	١٣٤٧	٤١٧٢.٨	١٤١٠.٥	١٣٧٣.٣	١٣٨٩	٤٣٣٦.٥	١٥٤٦.٩	١٤٠٧	١٣٨٢.٦	٣٤٤١.٩	١٢٠٠.٦	١١٢٥.٣	١١١٦	المجموع	
٨١٢٧٧.١	٢٠٢٦٤.٥	٦٢٩١	٧٢٣٨.٥	٦٧٣٥	٢٠٤٣٢.٧	٦٩١٣	٦٦٥٥.٧	٦٨٦٤	٢٢٢٧٩.٤	٧٧٨١	٧٣٥٦	٧١٤٢.٤	١٨٣٠٠.٥	٦٢٧٥.٦	٥٩٩٨.٥	٦٠٢٦.٤	مجموع الجمهورية	

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الملحق (٣)

٢- الإشعاع الشمسي في إقليم المنخفضات الوسطى:

يتميز هذا الإقليم بصفاء السماء لذلك تكون كمية الإشعاع الشمسي به تكون أكثر من الأقاليم الأخرى عدا إقليم الهضبة الشرقية، (الجدول ١٤) يحتل إقليم المنخفضات الوسطى المرتبة الثانية من حيث كمية الإشعاع الشمسي فيبلغ المعدل السنوي له ٢١.٢ ميغا جول/م^٢/يوم (خريطة ١٠)، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ١٩.٤ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٢٣ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الصيف يبلغ المعدل ٢١.٢ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الخريف ٢١.١ ميغا جول/م^٢/يوم، أما من حيث كمية الإشعاع (الجدول ١٥) فيكون مجموعها السنوي ٢٣٢٧٨.٦ ميغا جول/م^٢، في حين يتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الشتاء ٥٢٩٧.٣ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الربيع ٦٣٥٧.٧ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الصيف ٥٨٥٤.٢ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الخريف ٥٧٦٩.٤ ميغا جول/م^٢.

في حين على مستوى المحطات يتباين معدل الإشعاع الفصلي حيث يكون في صنعاء في فصل الشتاء ١٩.٩ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع ٢٣.٦ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الصيف ٢١.٨ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الخريف ٢٢.٢ ميغا جول/م^٢/يوم، في حين تتباين كمية الإشعاع الفصلية فتكون كميتها في صنعاء في فصل الشتاء ١٨٠٤.٨ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الربيع ٢١٧٠.٩ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الصيف ٢٠٠٣.٧ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الخريف ٢٠١٨.٢ ميغا جول/م^٢، بينما تكون كميتها في ذمار في فصل الشتاء ١٨٠٥ ميغا جول/م^٢ وبمعدل ١٩.٩ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الربيع ٢٠٦٩.٩ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٢.٥ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الصيف ١٩٣٠.٥ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢١ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الخريف ١٨٦٩.١ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٠.٥ ميغا جول/م^٢/يوم، بينما تكون كميتها في محطة صعده في الشتاء ١٦٨٧.٥ ميغا جول/م^٢ بمعدل ١٨.٧ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الربيع ٢١١٦.٩ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٣ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الصيف ١٩٢٠ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٠.٩ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الخريف ١٨٨٢.١ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢٠.٧ ميغا جول/م^٢.

أما التوزيع الشهري لمعدل وكمية الإشعاع فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الإشعاع في محطة صنعاء تتراوح بين ١٩ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر ديسمبر وكمية تبلغ ٥٨٩ ميغا جول/م^٢ وهذه تمثل أقل كمية إشعاع وبين ٢٤.٣ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر مايو بكمية تبلغ ٧٥٣.٣ ميغا جول/م^٢ وتمثل أعلى كمية إشعاع، وعليه يكون المعدل السنوي ٢١.٩ ميغا جول/م^٢/يوم (خريطة ١١) وكمية إشعاع سنوية تبلغ ٧٩٩٧.٦ ميغا جول/م^٢، بينما نجد معدل وكمية الإشعاع الشمسي في دمار يتراوح بين ١٨.٨ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر ديسمبر وكمية تبلغ ٥٨٢.٨ ميغا جول/م^٢ وتكون أقل كمية إشعاع وبين ٢٢.٨ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر مايو بكمية تبلغ ٧٠٦.٨ ميغا جول/م^٢ وهذه أعلى كمية، وعليه يبلغ المعدل السنوي ٢١ ميغا جول/م^٢/يوم بكمية إشعاع سنوية تبلغ ٧٦٧٤.٥ ميغا جول/م^٢، بينما نجد الإشعاع الشمسي في محطة صعده يتراوح بين ١٨ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر يناير وكمية تبلغ ٥٥٨ ميغا جول/م^٢ وتكون أقل كمية إشعاع وبين ٢٥.٤ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر مايو بكمية تبلغ ٧٨٧.٤ ميغا جول/م^٢ وهذه أعلى كمية، أما معدل الإشعاع السنوي فيكون ٢٠.٨ ميغا جول/م^٢/يوم بكمية تبلغ ٧٦٠٦.٥ ميغا جول/م^٢.

٣- الإشعاع الشمسي في إقليم السهول الساحلية:

تتباين كمية الإشعاع في هذا الإقليم بنسبة ضئيلة لكونه يمتاز بالجفاف معظم أيام السنة، ويتضح من خلال (الجدول ١٤) أن معدل كمية الإشعاع الشمسي السنوي في إقليم السهول الساحلية تبلغ ١٩.٦ ميغا جول/م^٢/يوم (خريطة ١٠)، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ١٨.٢ ميغا جول/م^٢/يوم ونتيجة لتعامد أشعة الشمس على البلاد في فصل الربيع يرتفع معدل كمية الإشعاع ليبلغ ٢١.٤ ميغا جول/م^٢/يوم، أما في فصل الصيف فتتخفض معدل كمية الإشعاع إلى ١٨.٩ ميغا جول/م^٢/يوم نتيجة لتشكيل السحب وسقوط الأمطار الصيفية، أما فصل الخريف فيرتفع معدل كمية الإشعاع إلى ٢٠ ميغا جول/م^٢/يوم، أما من حيث كمية الإشعاع الشهرية (أنظر الجدول ١٥) فيكون مجموعها السنوي ٢١٥٣٠.٨ ميغا جول/م^٢/شهر، في حين يتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الشتاء ٤٩٥٦ ميغا جول/م^٢/شهر، وفي فصل الربيع ٥٩١٠.٦ ميغا جول/م^٢/شهر،

وفي فصل الصيف ٥٢٠٩.٩ ميجا جول/م/٢/شهر، وفي فصل الخريف ٥٤٥٤.٣ ميجا جول/م/٢/شهر.

وكمية الإشعاع في السهل الغربي من هذا الإقليم يتباين معدلها الفصلي حيث يكون في الحديدية في فصل الشتاء ١٦.٩ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي فصل الربيع ٢٠.٢ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي فصل الصيف ١٧.٩ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي فصل الخريف ١٩ ميجا جول/م/٢/يوم، في حين تتباين كمية الإشعاع الفصلية فتكون كميته في الحديدية في فصل الشتاء ١٥٣٦.١ ميجا جول/م/٢/شهر، وفي فصل الربيع ١٨٦٠.٩ ميجا جول/م/٢/شهر، وفي فصل الصيف ١٦٥٠.١، وفي فصل الخريف ١٧٢٦.٩ ميجا جول/م/٢/شهر.

وتتباين كمية الإشعاع في السهل الجنوبي من هذا الإقليم أيضا، فتكون كميته في عدن في فصل الشتاء ١٦٧٤.٧ ميجا جول/م/٢/شهر وبمعدل ١٨.٤ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي الربيع ١٩٧٧.٩ ميجا جول/م/٢/شهر بمعدل ٢١.٥ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي الصيف ١٧٨٤.٨ ميجا جول/م/٢/شهر بمعدل ١٩.٤ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي الخريف ١٨٣٦ ميجا جول/م/٢/شهر بمعدل ٢٠.٢ ميجا جول/م/٢/يوم، بينما تكون كميته في محطة الريان في الشتاء ١٧٤٥.٢ ميجا جول/م/٢/شهر بمعدل ١٩.٢ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي الربيع ٢٠٧١.٨ ميجا جول/م/٢/شهر بمعدل ٢٢.٥ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي الصيف ١٧٧٥ ميجا جول/م/٢/شهر بمعدل ١٩.٣ ميجا جول/م/٢/يوم، وفي الخريف ١٨٩١.٤ ميجا جول/م/٢/شهر بمعدل ٢٠.٨ ميجا جول/م/٢/يوم.

ونجد أن التوزيع الشهري للإشعاع يكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الإشعاع في السهل الغربي في محطة الحديدية يتراوح بين ١٦.٣ ميجا جول/م/٢/يوم في شهر يناير وكمية تبلغ ٥٠٥.٣ ميجا جول/م/٢/شهر وهذه تمثل أقل كمية إشعاع وبين ٢١.١ ميجا جول/م/٢/يوم في شهر مايو بكمية تبلغ ٦٥٤.١ ميجا جول/م/٢/شهر وتمثل أعلى كمية إشعاع، وعليه يكون المعدل السنوي لكمية الإشعاع الشمسي في محطة الحديدية ١٨.٥ ميجا جول/م/٢/يوم (خريطة ١١)، وكمية تبلغ ٦٧٧٤ ميجا جول/م/٢.

أما في السهل الجنوبي من هذا الإقليم فنجد أن كمية الإشعاع الشمسي في عدن التي تمثل نقطة الالتقاء بين السهل الغربي والجنوبي تتراوح بين ١٧.٧ ميجا جول/م/٢/يوم في شهر

ديسمبر وبين ٢١.٦ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر مايو، وبكمية تتراوح بين ٥٤٨.٧ ميغا جول/م^٢/شهر وبين ٦٦٩.٦ ميغا جول/م^٢/شهر لنفس الشهرين، أما المعدل السنوي لكمية الإشعاع فهو ١٩.٩ ميغا جول/م^٢/يوم وبكمية شهرية تبلغ ٧٢٧٣.٤ ميغا جول/م^٢/شهر، بينما يتراوح معدل كمية الإشعاع في محطة الريان بين ١٦.٨ ميغا جول/م^٢/يوم وبكمية شهرية تبلغ ٥٠٤ ميغا جول/م^٢ في شهر يونيو وبين ٢٣.١ ميغا جول/م^٢/يوم وبكمية شهرية تبلغ ٧١٦.١ ميغا جول/م^٢ في شهر مايو، وعليه يكون المعدل السنوي لكمية الإشعاع في الريان ٢٠.٤ ميغا جول/م^٢/يوم وبكمية شهرية تبلغ ٧٤٨٣.٤ ميغا جول/م^٢/شهر.

٤- الإشعاع الشمسي في إقليم المرتفعات الجبلية:

تتباين كمية الإشعاع الشمسي في هذا الإقليم كغيره تبعاً لحركة الشمس الظاهرية، ويتضح من (الجدول ١٤) أن معدل كمية الإشعاع السنوي في إقليم المرتفعات الجبلية يكون ١٨.٨ ميغا جول/م^٢/يوم (خريطة ١٠)، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ١٦.٩ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٢٠.٦ ميغا جول/م^٢/يوم، أما في فصل الصيف فيبلغ المعدل ١٨.٨ ميغا جول/م^٢/يوم، ويكون المعدل في الخريف إلى ١٨.٨ ميغا جول/م^٢/يوم، أما من حيث كمية الإشعاع (أنظر الجدول ١٥) فيكون مجموعها السنوي ٢٠٦٢٦.٩ ميغا جول/م^٢، في حين تتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الشتاء ٤٦٠٥.٣ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الربيع ٥٦٧٤.٦ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الصيف ٥١٩٥.٨ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الخريف ٥١٥١.٢ ميغا جول/م^٢.

ويتباين معدل الإشعاع الفصلي على مستوى المحطات حيث يكون في تعز في فصل الشتاء ١٨.٦ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الربيع ٢١.٦ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الصيف ١٩ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الخريف ٢٠.٣ ميغا جول/م^٢، في حين تتباين كمية الإشعاع الفصلية فتكون في فصل الشتاء ١٦٨٩.٨ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الربيع ١٩٨٧ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الصيف ١٧٤٤.٨ ميغا جول/م^٢، وفي فصل الخريف ١٨٥١.٤ ميغا جول/م^٢، بينما تكون كميتها في إب في فصل الشتاء ١٦٧٣.٣ ميغا جول/م^٢ وبمعدل ١٨.٤ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الربيع ١٩٥٢.٨ ميغا جول/م^٢ بمعدل ٢١.٢ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الصيف ١٦٦٩.٨ ميغا جول/م^٢ بمعدل ١٨.٢ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الخريف

١٧٦١ ميغا جول/م^٢ بمعدل ١٩.٣ ميغا جول/م^٢/يوم، بينما تكون كمية الإشعاع في محطة حجة في الشتاء ١٢٤٢.٢ ميغا جول/م^٢ بمعدل ١٣.٧ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الربيع ١٧٣٤.٨ ميغا جول/م^٢ بمعدل ١٨.٩ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الصيف ١٧٨١.٢ ميغا جول/م^٢ بمعدل ١٩.٤ ميغا جول/م^٢/يوم، وفي الخريف ١٥٣٨.٨ ميغا جول/م^٢ بمعدل ١٦.٩ ميغا جول/م^٢/يوم.

أما التوزيع الشهري للمعدل والكميات الشهرية للإشعاع فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الإشعاع الشمسي في تعز يتراوح بين ١٧.٨ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر ديسمبر وبكمية تبلغ ٥٥١.٨ ميغا جول/م^٢ وهذا يمثل أقل معدل إشعاع لهذه المحطة وبين ٢١.٨ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر مايو بكمية تبلغ ٦٧٥.٨ ميغا جول/م^٢ وتمثل أعلى إشعاع، وعليه يكون المعدل السنوي للإشعاع في محطة تعز ١٩.٩ ميغا جول/م^٢/يوم (خريطة ١١) وبكمية تبلغ ٧٢٧٣ ميغا جول/م^٢، بينما في محطة إب تتراوح معدلات وكمية الإشعاع بين ١٧.٣ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر ديسمبر وأغسطس وبكمية تبلغ ٥٣٦.٣ ميغا جول/م^٢ وتكون أقل كمية للإشعاع وبين ٢١.٩ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر أبريل بكمية تبلغ ٦٥٧ ميغا جول/م^٢ وهذه أعلى كمية إشعاع، ويبلغ المعدل السنوي للإشعاع ١٩.٣ ميغا جول/م^٢/يوم بكمية تبلغ ٧٠٥٦.٩ ميغا جول/م^٢، بينما في محطة حجة يتراوح معدل وكمية الإشعاع بين ١٢.٧ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر يناير وبكمية تبلغ ٣٩٣.٧ ميغا جول/م^٢ وتكون أقل كمية للإشعاع وبين ١٩.٩ ميغا جول/م^٢/يوم في شهر يونيو بكمية تبلغ ٥٩٧ ميغا جول/م^٢ وهذه أعلى كمية إشعاع، أما معدلها السنوي فيكون ١٧.٢ ميغا جول/م^٢/يوم بكمية تبلغ ٦٢٩٧ ميغا جول/م^٢، ويلاحظ مما سبق أن انخفاض كمية الإشعاع الشمسي في محطتي إب وحجة يرجع إلى أن المرتفعات الجبلية تعمل على صعود الرياح للأعلى مما يؤدي إلى تغيم السماء وسقوط الأمطار التضاريسية، وعلى ذلك تقل كمية الطاقة الشمسية التي يمكن توليدها في هذا الإقليم.

ومن خلال الاستعراض السابق للتوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي يمكن أن نستنتج أن الأقاليم التضاريسية كلها ملائمة وذات مؤشرا جيد في إمكانية توليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي نتيجة لارتفاع كمية الإشعاع في كل الأقاليم لوقوع الجمهورية اليمنية ضمن

المنطقة شبه المدارية الشمالية وفي الشتاء تقل كمية الإشعاع نتيجة لانخفاض زاوية الإشعاع وقصر النهار^(١) ولكن نتيجة لكونها منطقة جافة وشبه جافة فهي تحظى بكمية كبيرة من الإشعاع، أما فصل الربيع فيعتبر من أكثر فصول السنة تلقياً للإشعاع الشمسي بسبب تعامد أشعة الشمس على سطح الجمهورية أثناء مسيرتها نحو مدار السرطان في النصف الثاني من هذا الفصل، فضلاً عن صفاء السماء وقلة الغيوم^(٢) ولهذا نجد المعدل العام لهذا الفصل في جميع المحطات يتراوح بين ٦٥٥.٤ - ٧١٣.٢ ميغا جول/م^٢/شهر، أي بمعدل ٦٨٠.٦ ميغا جول/م^٢/شهر.

كما تتعامد الشمس على الجمهورية اليمنية في منتصف الصيف ومع ذلك يحدث أكبر تباين لكمية الإشعاع الشمسي، وذلك لكون السماء تكون ملبدة بالغيوم بدرجات متباينة في جميع المحطات مما ينجم عنه زيادة الفروق في كمية الإشعاع الشمسي^(٣)، أما في الخريف فهناك تقارب في كمية الإشعاع الشمسي لهذا الفصل في جميع المحطات والتي تتراوح بين ٥٣٠ - ٧٤١ ميغا جول/م^٢/يوم، عدا محطة حجة التي تتراوح كمية الإشعاع بها بين ٤٢٠ - ٥٦٤.٢ ميغا جول/م^٢، وتكون السماء في هذا الفصل أكثر صحواً من فصل الشتاء.

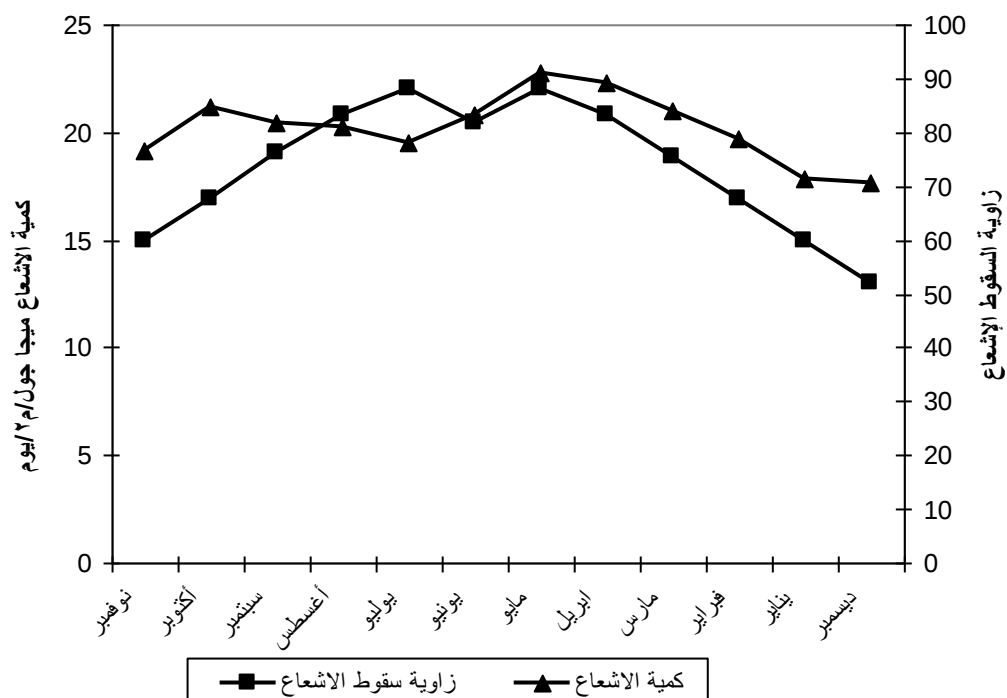
أما علاقة الارتباط بين زاوية سقوط الإشعاع وكميته فهناك علاقة طردية (الشكل ٨) ذات دلالة إحصائية عند مستوى ٠.٠٥ حيث بلغ معامل ارتباط بيرسون بينهما ٠.٧٤. لمستوى دلالة ٠.٠٠ وهي أكبر من ٠.٠٥ أي أنه كلما زادت زاوية السقوط ارتفعت معدلات كمية الإشعاع والعكس.

(١) السهمي، ناجي صالح، مصدر سابق، ص ٤٤.

(٢) علي، عبد الله حيدر سالم، خصائص مناخ اليمن السياحي، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التربية، جامعة البصرة، ٢٠٠٣م. ص ٢٢.

(٣) السهمي، ناجي صالح، مصدر سابق، ص ٤٤.

شكل (٨) العلاقة بين زاوية سقوط وكمية الإشعاع الشمسي



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على الجدولين ٩ و ١٤.

المبحث الثاني: التوزيع الجغرافي لحركة الرياح في الجمهورية اليمنية:

تتباين حركة الرياح من حيث الاتجاه والسرعة بحسب العامل المؤثر فيها، وغالباً يكون منشأها محلياً تبعاً للتباين الحراري من منطقة إلى أخرى وتبعاً لطبيعة التضاريس وأحياناً تكون امتداداً لرياح قادمة من أماكن بعيدة، وذلك لأهميتها في تحديد أماكن إنشاء المراوح المولدة للطاقة الكهربائية الذي يتوجب أن يكون مواجه بوضع عمودي لحركة الرياح حتى يسهل تحريكها لإنتاج الطاقة الكهربائية، لذلك ستنناول الدراسة حركة الرياح لتوفر البنية التي يمكن من خلالها تحديد كمية الطاقة المتوقعة إنتاجها، حيث أن قدرة خرج التوربين تتناسب مع مكعب سرعة الرياح، لذا فإن أي تغير طفيف في سرعة الريح ينعكس بشكل مباشر على قدرة الإنتاج ومن ثم تحسين اقتصاديات مزرعة الرياح، وبالتالي فإن دقة البيانات عن تغير سرعات واتجاه الريح هو أمر حيوي عند إنشاء مزرعة رياح، لذا تجمع البيانات لمدة لا تقل عن سنة للمواقع المرشحة لإقامة مزارع الرياح بها وفيما يأتي استعراض لحركة الرياح بحسب الأقاليم الجغرافية:

أولاً التوزيع الجغرافي لاتجاه الرياح:

يغلب على الاتجاهات السائدة للرياح في الجمهورية اليمنية صفة التغير من إقليم لآخر ومن وقت لآخر وكما يأتي:

١- اتجاه الرياح في إقليم السهول الساحلية:

تتباين اتجاهات الرياح في هذا الإقليم من مكان لآخر ومن وقت لآخر ولذلك ستنناول الدراسة بقسميه كلا على حده.

الجزء الغربي من هذا الإقليم يمثل محطة الحديد والتي نجد أن اتجاه الرياح السائد فيها هو الجنوبي (الجدول ١٦)، والذي يستمر لسبعة أشهر من أكتوبر حتى أبريل (أشهر الشتاء) والاتجاه الغربي يسود لمدة خمسة أشهر من شهر مايو إلى شهر سبتمبر (أشهر الصيف).

أما الجزء الجنوبي من هذا الإقليم فتمثله محطة عدن والتي نجد أن اتجاه الرياح فيها هو الشرقي طوال العام عدا فصل الصيف فتسود فيه الرياح الجنوبية الغربية، ونجد الاتجاه الجنوبي الغربي يستمر لشهري يوليو وأغسطس، وبذلك نشهد المنطقة تهطل للأمطار لان

جدول (١٦) التوزيع الجغرافي لاتجاهات الرياح السائدة في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٠ - ٢٠٠٦ م

الرياح السنوية السائدة	الخريف				الصيف				الربيع				الشتاء				الفصل	الإقليم
	رياح السائدة	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	رياح السائدة	اغسطس	يوليو	يونيو	رياح السائدة	مايو	ابريل	مارس	رياح السائدة	فبراير	يناير	ديسمبر	المحطة	
s	S	s	s	w	w	w	w	w	s	w	s	s	s	s	s	s	الحديدة	السهول الساحلية
se	Se	se	se	se	se	e	se	se	se	se	se	se	se	se	se	se	الريان	
e	E	e	e	se	sw	sw	sw	se	e	se	e	e	e	e	e	e	عدن	
ne	Ne	ne	ne	sw	sw	sw	sw	sw	ne	sw	ne	ne	ne	ne	ne	ne	سقطرى	
d	D	d	d	se	sw	sw	sw	se		se	d	d	d	d	d	d	الرياح السائدة	
s	S	s	s	s	w	w	w	w	s	s	s	s	s	s	s	s	إب	المرتفعات الجبلية
s	S	s	s	nw	nw	nw	nw	nw	s	s	s	s	s	s	s	s	تعز	
sw	Sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	حجة	
s	S	s	s						s	s	s	s	s	s	s	s	رياح السائدة	
ne	Ne	n	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	sw	n	n	n	n	صنعاء	المنخفضات الوسطى
s	E	e	e	n	n	s	n	n	s	e	s	s	s	s	s	e	صعدة	
e	E	e	e	e	e	w	e	e	e	e	e	sw	e	e	e	w	ذمار	
e	E	e	e	d	d	d	d	d	d	e	d	sw	d		d	d	رياح السائدة	
ne	Ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	مأرب	الهضبة الشرقية
ne	Ne	ne	ne	ne	ne	w	ne	ne	e	e	e	e	ne	ne	ne	e	سينون	
ne	ne	ne	ne	ne	ne	d	ne	ne	d	d	d	d	ne	ne	ne	d	رياح السائدة	

المصدر: عمل الباحث اعتمادا على الملحق (٤)

S = جنوبية، sw = جنوبية غربية، se = جنوبية شرقية، n = شمالية، ne = شمالية شرقية، nw = شمالية غربية، w = غربية، e = شرقية، d = مختلفة الاتجاه

الرياح تكون قادمة من المحيط الهندي وخليج عدن وبحر العرب، أما الاتجاه الجنوبي الشرقي فيكون في شهري يونيو وسبتمبر، أما الريان فيكون اتجاه الرياح السائد بها هو الجنوبي الشرقي طوال العام عدا شهر أغسطس.

ومحطة سقطرى التي تمثل الجزر اليمنية إضافة إلى كونها تعتبر امتداد للمناطق الساحلية، ويكون الاتجاه السائد للرياح هو الشمالي الشرقي حيث يمتد لسبعة أشهر ابتداء من أكتوبر حتى إبريل، بينما يسيطر الاتجاه الجنوبي الغربي على ما تبقى من الأشهر.

٢- اتجاه الرياح في إقليم المرتفعات الجبلية:

يسود اتجاه الرياح الجنوبي في هذا الإقليم لثمانية أشهر من أكتوبر حتى مايو (الشتاء والربيع والخريف)، جدول (١٦)، وهذا ما أدى إلى جعل هذه المنطقة أكثر مناطق الجمهورية من حيث كمية الأمطار لكون الرياح محملة ببخار الماء من المسطحات المائية الواقعة إلى الجنوب منها، بينما بقية الأشهر يكون اتجاه الرياح بها مختلف من محطة إلى أخرى ضمن هذا الإقليم.

بينما على مستوى المحطات نجد إتجاه الرياح في محطة إب هو الاتجاه الجنوبي الذي يستمر لتسعة أشهر من سبتمبر حتى مايو (الشتاء والربيع والخريف)، وهذا ما أدى إلى جعل هذه المنطقة أكثر مناطق الجمهورية من حيث كمية الأمطار لكون الرياح محملة ببخار الماء من المسطحات المائية الواقعة إلى الجنوب منها، بينما الاتجاه الغربي يستمر بقية الأشهر، أما محطة تعز فنجد أن الاتجاه السائد فيها هو الاتجاه الجنوبي الذي يستمر لثمانية أشهر من أكتوبر حتى مايو، بينما الاتجاه الشمالي الشرقي يستمر لأربعة أشهر من يونيو حتى سبتمبر، أما محطة حجة فيكون الاتجاه الجنوبي الغربي هو الاتجاه السائد طوال العام، وعلى ذلك يترتب قلة مدة السطوع الشمسي التي تتراوح بين ٥ - ٧.٥ ساعة لكون هذه الرياح تعمل على تشكل الضباب والسحب بكثرة في هذه المنطقة طوال العام.

٣- اتجاه الرياح في إقليم المنخفضات الوسطى:

يسود اتجاه الرياح الشرقي في هذا الإقليم لأربعة أشهر أما بقية الأشهر فتكون اتجاهات الرياح متباينة بحسب محطاته (جدول ١٦)، ويتباين اتجاه الرياح على مستوى المحطات في محطة ذمار الاتجاه الشرقي الذي يستمر لتسعة أشهر، ويكون اتجاه الرياح غربي

لشهرَي ديسمبر وأغسطس أما الاتجاه الجنوبي الغربي فيسود في شهر مارس، أما محطة صنعاء فيكون الاتجاه الشمالي الشرقي هو الاتجاه السائد لسبعة أشهر من أبريل حتى أكتوبر، بينما الاتجاه الشمالي يسيطر لمدة أربعة أشهر من نوفمبر حتى فبراير، أما الاتجاه الجنوبي الغربي فيسود في شهر مارس، ويكون الاتجاه السائد في محطة صعده هو الاتجاه الجنوبي لمدة خمسة أشهر تقريبا، بينما الاتجاه الشمالي يسيطر لأربعة أشهر تقريبا والاتجاه الشرقي يسيطر شهرين.

٤- اتجاه الرياح في إقليم الهضبة الشرقية:

يسود اتجاه الرياح الشمالي الشرقي في هذا الإقليم لسبعة أشهر أما بقية الأشهر هي أشهر الخريف وشهرَي يناير وفبراير في الشتاء ويونيو ويوليو في الصيف، وتتباين اتجاهات الرياح في فصل الربيع وديسمبر وأغسطس بين محطتي الإقليم، حيث نجد الاتجاه السائد للرياح في محطة مأرب هو الاتجاه الشمالي الشرقي طوال العام، بينما في محطة سيئون فإن الاتجاه السائد للرياح في الصيف والخريف والشتاء هو الاتجاه الشمالي الشرقي، بينما في فصل الربيع يسود اتجاه الرياح الشرقي.

ومن خلال التحليل السابق نجد سيطرة الرياح الشمالية والشمالية الشرقية وكذلك الشرقية على أشهر فصلي الشتاء والخريف وهذا يدل على تأثير الرياح الشمالية الشرقية القادمة من المرتفع السيبيري وسط آسيا مع الأخذ بعين الاعتبار طبيعة السطح في الجمهورية اليمنية ودوره في تغيير اتجاه الرياح من حين لآخر، كما يلاحظ أن اتجاه الرياح في محطة مأرب ظل طوال العام شمالي شرقي، وجنوبي غربي في محطة حجة، في حين ظل اتجاه الرياح جنوبي شرقي في الريان طوال العام عدا شهر أغسطس فهو شرقي، بينما كان الاتجاه الجنوبي الغربي أقل الاتجاهات سيطرة ويكاد ينحصر على حجة والأشهر من مايو إلى سبتمبر في سقطرى وشهرَي يوليو وأغسطس في عدن وشهر مارس في صنعاء وذمار، ويرجع ذلك لموسمية الرياح التي تهب على الجمهورية صيفا.

ثانياً: التوزيع الجغرافي لسرعة الرياح:-

تختلف سرعة الرياح في الجمهورية اليمنية من مكان لآخر ومن فصل إلى آخر تبعا للتغير الحاصل في انحدار الضغط الجوي من ناحية وتأثير التضاريس والتقاء الكتل الهوائية

من ناحية أخرى، ونتيجة لما لسرعة الرياح من أهمية كبيرة في حركة توربينات الرياح(*) كونهما مصدر لإنتاج الطاقة، ولدراسة سرعة الرياح وتوزيعها الجغرافي فقد تم تجميع بيانات سرعة الرياح موزعة بحسب الأقاليم التضاريسية وكما يأتي:

١ - سرعة الرياح في إقليم السهول الساحلية:

تتباين سرعة الرياح في هذا الإقليم من وقت لآخر، ويتضح من خلال (الجدول ١٧) أن إقليم السهول الساحلية يكون أكثر أقاليم الجمهورية اليمنية سرعة للرياح فيبلغ المعدل السنوي له ٥.٤ م/ث، أما معدلاتها الفصلية فتبلغ في الشتاء ٥.٢ م/ث، وفي فصل الربيع ينخفض المعدل ليبلغ ٤.٨ م/ث، أما في فصل الصيف فيرتفع المعدل إلى ٦.٧ م/ث ، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٤.٩ م/ث.

وتتباين سرعة الرياح في السهل الغربي من هذا الإقليم حيث يكون معدلها الفصلية في الحديدة في فصل الشتاء ٤.٨ م/ث، وفي فصل الربيع ٤.٦ م/ث، وفي فصل الصيف ٤ م/ث، وفي فصل الخريف ٤.١ م/ث، في حين تتباين سرعة الرياح في السهل الجنوبي من هذا الإقليم، فتكون سرعتها في عدن في فصل الشتاء ٥ م/ث، وفي الربيع ٤.٣ م/ث، وفي الصيف ٤.٥ م/ث، وفي الخريف ٤.٣ م/ث، بينما تكون سرعتها في محطة الريان في الشتاء ٤.٤ م/ث، وفي الربيع ٤.٣ م/ث، وفي الصيف ٤.٢ م/ث، وفي الخريف ٤.١ م/ث، في حين تكون سرعتها في جزيرة سقطرى في الشتاء ٦.٦ م/ث، وفي الربيع ٥.٩ م/ث، وفي الصيف ١٤.١ م/ث، وفي الخريف ٧.٣ م/ث، ومن خلال ذلك تكون جزيرة سقطرى أعلى مناطق السهول الساحلية سرعة للرياح.

وبالنسبة إلى التوزيع الشهري لسرعة الرياح فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل سرعة الرياح في محطة الحديدة يتراوح بين ٣.٨ م/ث في شهر أغسطس وهذه تمثل أقل سرعة للرياح وبين ٥ م/ث في شهر مارس وتمثل أعلى سرعة للرياح، وعليه يكون المعدل السنوي لسرعة الرياح في محطة الحديدة ٤.٤ م/ث.

(*) توربينات الرياح (مزارع الرياح): تمتد على مساحة عدة كيلومترات مربعة وتحتوي على مجموعة من توربينات الرياح يتم توصيلها سوياً لتوليد الطاقة الكهربائية التي تنقل عبر خطوط النقل والتوزيع للمستهلكين، ويمكن أن تستخدم الأرض المبنية عليها هذه التوربينات في أغراض أخرى مثل الزراعة وتتواجد هذه المزارع عادة على اليابسة أو بالقرب منها وتسمى المزارع الشاطئية وأحياناً أخرى بعيدة عنها في منتصف البحيرات والمحيطات ويطلق عليها المزارع البحرية للاستفادة من الرياح القوية التي تنتج عن نسيم البر والبحر.

أما في السهل الجنوبي من هذا الإقليم فتتباين سرعة الرياح فيه حيث نجد أن سرعة الرياح في عدن التي تمثل نقطة الالتقاء بين السهل الغربي والجنوبي تتراوح بين ٣.٦ م/ث في شهر مايو وبين ٥.٣ م/ث في شهري ديسمبر وأغسطس، أما المعدل السنوي لسرعة الرياح فهو ٤.٥ م/ث، بينما تتراوح معدلات سرعة الرياح في محطة الريان بين ٣.٧ م/ث في شهر أغسطس وبين ٤.٥ م/ث في شهر يناير، وعليه يكون المعدل السنوي لسرعة الرياح ٤.٢ م/ث، وفي محطة سقطرى والتي تمثل الجزر اليمنية يتراوح معدل سرعة الرياح بين ٤.٩ م/ث في ابريل وبين ١٥.٣ م/ث في يوليو، ويكون المعدل السنوي لسرعة الرياح في المحطة ٨.٥ م/ث.

ويلاحظ من خلال ما سبق أن ارتفاع سرعة الرياح في هذا الإقليم يرجع إلى تقارب المنظومات الضغطية الناتجة عن اختلاف التسخين بين اليابس والماء الذي يؤدي إلى هبوب نسيم البر والبحر بينهما، بالإضافة إلى قلة تأثير عامل الاحتكاك على حركة الرياح.

٢- سرعة الرياح في إقليم الهضبة الشرقية:

تتباين سرعة الرياح في هذا الإقليم من وقت لآخر، ويتضح من خلال (الجدول ١٧) أن إقليم الهضبة الشرقية يكون في المرتبة الثانية من حيث سرعة الرياح فيبلغ المعدل السنوي لها ٣.٩ م/ث، أما معدلها الفصلي فيبلغ في الشتاء ٣.٣ م/ث، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٣.٩ م/ث، أما في فصل الصيف فيرتفع المعدل إلى ٤.٥ م/ث، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٣.٨ م/ث.

بينما يتباين معدل سرعة الرياح الفصلي على مستوى المحطات حيث يكون في مأرب في فصل الشتاء ٤.٣ م/ث، وفي فصل الربيع ٥.١ م/ث، وفي فصل الصيف ٦.١ م/ث، وفي فصل الخريف ٥.١ م/ث، بينما يكون معدلها في سيئون في فصل الشتاء ٢.٣ م/ث، وفي الربيع ٢.٨ م/ث، وفي الصيف ٢.٨ م/ث، وفي الخريف ٢.٥ م/ث.

جدول (١٧) التوزيع الجغرافي لمعدلات سرعة الرياح في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٦ م (م/ث)

المعدل السنوي	الخريف				الصيف				الربيع				الشتاء				الفصل	
	المعدل	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	المعدل	أغسطس	يوليو	يونيو	المعدل	مايو	أبريل	مارس	المعدل	فبراير	يناير	ديسمبر	المحطة	الإقليم
٤.٤	٤.١	٤.٣	٤.١	٣.٩	٤.٠	٣.٨	٤.١	٤.٠	٤.٦	٤.٠	٤.٨	٥.٠	٤.٨	٤.٩	٤.٧	٤.٧	الحديدة	السهول الساحلية
٤.٥	٤.٣	٤.٥	٤.٤	٤.١	٤.٥	٥.٣	٤.٥	٣.٨	٤.٣	٣.٦	٤.٣	٥.٠	٥.٠	٤.٩	٤.٧	٥.٣	عدن	
٤.٢	٤.١	٤.٢	٤.١	٣.٩	٤.٢	٣.٧	٤.٤	٤.٤	٤.٣	٤.٢	٤.٣	٤.٣	٤.٤	٤.٤	٤.٥	٤.٣	الريان	
٨.٥	٧.٣	٦.٣	٥.٦	٩.٩	١٤.١	١٤.٣	١٥.٣	١٢.٧	٥.٩	٧.٤	٤.٩	٥.٥	٦.٦	٦.٢	٦.٦	٧.٠	سقطرى	
٥.٤	٤.٩	٤.٨	٤.٦	٥.٥	٦.٧	٦.٨	٧.١	٦.٢	٤.٨	٤.٨	٤.٦	٥.٠	٥.٢	٥.١	٥.١	٥.٣	المعدل	
٣.٤	٣.٠	٣.١	٢.٩	٣.١	٣.٨	٣.٦	٤.٢	٣.٧	٣.٧	٣.٥	٣.٨	٣.٨	٣.١	٣.٥	٣.١	٢.٦	تعز	المرتفعات الجبلية
٢.٤	٢.٥	٢.٤	٢.٦	٢.٦	٢.٥	٢.٤	٢.٥	٢.٧	٢.٥	٢.٤	٢.٤	٢.٦	٢.٣	٢.٣	٢.٢	٢.٣	حجة	
٣.٠	٢.٧	٣.٢	٢.٦	٢.٤	٣.١	٢.٨	٣.١	٣.٥	٣.٠	٢.٨	٣.١	٣.٢	٢.٩	٣.١	٢.٧	٣.٠	إب	
٢.٩	٢.٨	٢.٩	٢.٧	٢.٧	٣.٢	٢.٩	٣.٣	٣.٣	٣.١	٢.٩	٣.١	٣.٢	٢.٨	٣.٠	٢.٧	٢.٦	المعدل	
٣.٧	٣.٥	٣.٢	٣.٤	٤.٠	٤.٠	٣.٩	٤.١	٣.٩	٣.٥	٣.٦	٣.٥	٣.٥	٣.٦	٣.٦	٣.٧	٣.٤	صنعاء	المنخفضات الوسطى
٤.١	٣.٩	٣.٤	٤.١	٤.١	٤.١	٤.١	٤.١	٤.٢	٤.٢	٤.١	٤.٢	٤.٣	٤.٠	٤.٣	٤.١	٣.٦	صعدة	
٤.٤	٤.٣	٤.٠	٤.٤	٤.٥	٤.٦	٥.١	٤.٣	٤.٥	٤.٤	٤.٣	٤.٣	٤.٦	٤.٢	٤.٣	٤.٢	٤.٠	ذمار	
٤.١	٣.٩	٣.٥	٤.٠	٤.٢	٤.٢	٤.٤	٤.٢	٤.٢	٤.٠	٤.٠	٤.٠	٤.١	٣.٩	٤.١	٤.٠	٣.٧	المعدل	
٥.٢	٥.١	٤.٥	٥.٣	٥.٥	٦.١	٦.٠	٦.٣	٦.٠	٥.١	٥.٥	٤.٨	٥.٠	٤.٣	٤.٦	٤.٢	٤.٢	مأرب	الهضبة الشرقية
٢.٦	٢.٥	٢.٣	٢.٥	٢.٧	٢.٨	٢.٦	٣.٠	٢.٨	٢.٨	٢.٩	٢.٧	٢.٧	٢.٣	٢.٥	٢.٣	٢.١	سينون	
٣.٩	٣.٨	٣.٤	٣.٩	٤.١	٤.٥	٤.٣	٤.٧	٤.٤	٣.٩	٤.٢	٣.٨	٣.٩	٣.٣	٣.٦	٣.٣	٣.٢	المعدل	
٢.٦	٣.٩	٣.٨	٣.٨	٤.٢	٤.٨	٤.٨	٥.٠	٤.٧	٤.٠	٤.٠	٣.٩	٤.١	٣.٩	٤.١	٣.٩	٣.٩	المعدل الجمهورية	

المصدر: الباحث اعتماداً على:

- (١) الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٣-٢٠٠٧ م.
- (٢) الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٥ م.
- (٣) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء، كتاب الإحصاء السنوي لسنوات مختلفة.

أما من حيث التوزيع الشهري لسرعة الرياح فنجد أن معدل سرعة الرياح في محطة مارب يتراوح بين ٤.٢ م/ث في شهري ديسمبر ويناير وهذه تمثل أقل سرعة رياح لها وبين ٦.٣ م/ث في شهر يوليو وتمثل أعلى سرعة رياح، وعليه يكون المعدل السنوي لسرعة الرياح في محطة مارب ٥.٢ م/ث، بينما نجد معدل سرعة الرياح في سيئون يتراوح بين ٢.١ م/ث في شهر ديسمبر وتكون أقل سرعة رياح وبين ٣ م/ث في شهر يوليو وهذه تمثل أعلى سرعة، ويبلغ المعدل السنوي لسرعة الرياح ٢.٦ م/ث. ويلاحظ من خلال ما سبق أن سرعة الرياح في مارب تحتل المرتبة الثانية بعد سقطرى من حيث السرعة، ويرجع ذلك إلى الانفتاح على السهول الصحراوية في الشمال والشرق الذي يسهم في زيادة السرعة، وهذا يعتبر مؤشرا على إمكانية توليد طاقة الرياح في هذا الإقليم.

٣- سرعة الرياح في إقليم المنخفضات الوسطى:

تتباين سرعة الرياح في هذا الإقليم من وقت لآخر، ويتضح من خلال (الجدول ١٧) أن إقليم المنخفضات الوسطى يكون في المرتبة الثالثة من حيث سرعة الرياح فيبلغ المعدل السنوي له ٤.١ م/ث، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٣.٩ م/ث، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٤ م/ث، أما في فصل الصيف فيرتفع المعدل إلى ٤.٢ م/ث، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٣.٩ م/ث.

كما تتباين سرعة الرياح الفصلية على مستوى المحطات فتكون في صنعاء في فصل الشتاء ٣.٦ م/ث، وفي فصل الربيع ٣.٥ م/ث، وفي فصل الصيف ٤ م/ث، وفي فصل الخريف ٣.٥ م/ث، بينما تكون سرعتها في ذمار في فصل الشتاء ٤.٢ م/ث، وفي الربيع ٤.٤ م/ث، وفي الصيف ٤.٦ م/ث، وفي الخريف ٤.٣ م/ث، بينما تكون سرعتها في محطة صعده في الشتاء ٤ م/ث، وفي الربيع ٤.٢ م/ث، وفي الصيف ٤.١ م/ث، وفي الخريف ٣.٩ م/ث.

أما من حيث التوزيع الشهري لسرعة الرياح فنجد أن معدل طاقة الرياح في محطة صنعاء تتراوح بين ٣.٢ م/ث في شهر نوفمبر وهذه تمثل أقل سرعة رياح وبين ٤.١ م/ث في شهر يوليو وتمثل أعلى سرعة رياح، وعليه يكون المعدل السنوي لسرعة الرياح في محطة صنعاء ٣.٧ م/ث، بينما نجد سرعة الرياح في محطة ذمار تتراوح بين ٤ م/ث في

شهري نوفمبر وديسمبر وتكون أقل سرعة رياح وبين ٥.١ م/ث في شهر أغسطس وهذه أعلى سرعة رياح، ويبلغ المعدل السنوي لسرعة الرياح ٤.٤ م/ث، بينما نجد سرعة الرياح في محطة صعدة تتراوح بين ٣.٤ م/ث في شهر نوفمبر وتكون أقل سرعة رياح وبين ٤.٣ م/ث في شهري فبراير ومارس وهذه أعلى سرعة رياح لها، أما معدلها السنوي فيكون ٤.١ م/ث.

ويلاحظ من خلال ما سبق أن المرتفعات الجبلية تعيق سرعة الرياح نتيجة للاحتكاك بها فتقل سرعتها ويتغير اتجاهها، وهذا بدوره ينعكس على كمية الطاقة للرياح التي تتوافق طردياً مع سرعة الرياح، ومع ذلك فهذه المرتفعات لها دور ايجابي كذلك من خلال دورها في اختلاف التسخين الذي ينتج عنه نسيم الوادي والجبل ورياح ألفوهن وغيرها التي تعمل على استمرارية حركة الرياح، وعليه إمكانية استمرار توليد الطاقة.

٤- سرعة الرياح في إقليم المرتفعات الجبلية:

تتباين سرعة الرياح في هذا الإقليم، ويتضح من خلال (الجدول ١٧) أن إقليم المرتفعات الجبلية يكون أقل الأقاليم سرعة للرياح فيبلغ المعدل السنوي له ٢.٩ م/ث، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٢.٨ م/ث ، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٣.١ م/ث، أما في فصل الصيف فيرتفع المعدل إلى ٣.٢ م/ث، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٢.٨ م/ث.

وتتباين سرعة الرياح الفصلية على مستوى المحطات حيث تكون في تعز في فصل الشتاء ٣.١ م/ث، وفي فصل الربيع ٣.٧ م/ث، وفي فصل الصيف ٣.٨ م/ث، وفي فصل الخريف ٣ م/ث، بينما تكون سرعتها في إب في فصل الشتاء ٢.٩ م/ث، وفي الربيع ٣ م/ث ، وفي الصيف ٣.١ م/ث، وفي الخريف ٢.٧ م/ث، بينما تكون سرعتها في محطة حجة في الشتاء ٢.٣ م/ث، وفي الربيع ٢.٥ م/ث، وفي الصيف ٢.٥ م/ث، وفي الخريف ٢.٥ م/ث.

بينما يكون التوزيع الشهري لسرعة الرياح أكثر تبايناً، فنجد أن معدل سرعة الرياح في تعز تتراوح بين ٢.٦ م/ث في شهر ديسمبر وهذه تمثل أقل سرعة رياح وبين ٤.٢ م/ث في شهر يوليو وتمثل أعلى سرعة رياح، وعليه يكون المعدل السنوي لسرعة الرياح في محطة تعز ٣.٤ م/ث، بينما نجد سرعة الرياح في محطة إب تتراوح بين ٢.٤ م/ث في شهر سبتمبر وتكون أقل سرعة رياح وبين ٣.٥ م/ث في شهر يونيو وهذه أعلى سرعة رياح، ويبلغ

المعدل السنوي لسرعة الرياح ٣ م/ث، بينما نجد سرعة الرياح في محطة حجة تتراوح بين ٢.٢ م/ث في شهر يناير وتكون أقل سرعة رياح وبين ٢.٧ م/ث في شهر يونيو وهذه أعلى سرعة رياح، أما معدلها السنوي فيكون ٢.٤ م/ث.

ويلاحظ من خلال ما سبق أن انخفاض سرعة الرياح في محطتي إِب وحجة يرجع لتباين التضاريس بهما والذي يعيق حركة الرياح فتقل سرعتها ويتغير اتجاهها، وهذا بدوره ينعكس على كمية طاقة الرياح التي تتوافق طردياً مع سرعة الرياح، ومع ذلك فهذه المرتفعات لها دور ايجابي كذلك من خلال دورها في اختلاف التسخين الذي ينتج عنه حركة الرياح وحدوث نسيم الوادي والجبل وغيرها التي تعمل على استمرارية حركة الرياح، وبذلك تكون المرتفعات الجبلية أقل المناطق سرعة للرياح وتكون المنخفضات الوسطى متوسطة السرعة والمناطق الساحلية ومأرب تكون أشد المناطق سرعة للرياح، ويرجع سبب زيادة سرعة الرياح في هذا الفصل إلى الرياح الموسمية التي تهب على الجمهورية.

خلاصة:

توصلت الدراسة في المبحث الأول من هذا الفصل إلى أن للموقع الجغرافي للجمهورية اليمنية تأثير على طول النهار وكمية الإشعاع الشمسي، وأن إقليم المنخفضات الوسطى احتل المرتبة الأولى من حيث ساعات السطوع السنوية حيث كانت ٩.١ ساعة/يوم، وجاء إقليم الهضبة الشرقية في المرتبة الثانية من حيث كمية الطاقة على الرغم من أن مأرب تحتل المرتبة الأولى على مستوى الجمهورية من حيث ساعات السطوع اليومية، وكان أقل الأقاليم سطوعاً إقليم المرتفعات الجبلية حيث بلغ السطوع السنوي به ٧.٦ ساعة/يوم، وتعد حجة أقل المناطق سطوعاً بمعدل شهري يتراوح بين ٥ - ٧.٤ ساعة/يوم، وأن إقليم الهضبة الشرقية يحتل المرتبة الأولى من حيث كمية الإشعاع الشمسي بمعدل سنوي بلغ ٢١.٧ ميغا جول/م^٢/يوم، وجاء إقليم المرتفعات الجبلية في المرتبة الأخيرة بكمية إشعاع شمسي بلغت ١٨.٨ ميغا جول/م^٢/يوم، وعلى ذلك كانت علاقة الارتباط (بيرسون) بين زاوية السقوط وكمية الإشعاع الشمسي ٠.٧٤ وبذلك تكون العلاقة بينهما طردية.

وتوصلت في المبحث الثاني إلى أن الرياح السائدة في الجزء الغربي من إقليم السهول الساحلية هي الرياح الجنوبية لمدة سبعة أشهر، وأن الرياح الشرقية تسود على الجزء الجنوبي من هذا الإقليم حيث تستمر لثمانية أشهر، وتسود الرياح الشرقية إقليم المنخفضات الوسطى لأربعة أشهر أما بقية الأشهر فتكون متباينة الاتجاه، وتسود الرياح الشمالية الشرقية على إقليم الهضبة الشرقية لسبعة أشهر، وبينت أن إقليم السهول الساحلية يحتل المرتبة الأولى من حيث سرعة الرياح بمعدل سنوي ٥.٤ م/ث على ارتفاع ١٠ أمتار، وبه توجد أفضل المناطق إنتاجاً للطاقة الكهربائية لكون سرعة الرياح تصل إلى ١٥.٣ م/ث في يوليو، جاء بعد ذلك إقليم المنخفضات الوسطى بمعدل سنوي بلغ ٤.١ م/ث، وفي هذا الإقليم محطة ذمار التي يبلغ معدل سرعة الرياح السنوية ٤.٤ م/ث، وجاء إقليم الهضبة الشرقية في المرتبة الثالثة بمعدل سرعة رياح سنوية بلغت ٣.٩ م/ث إلا أنه يحتوي على محطة مأرب التي تصل سرعة الرياح بها إلى ٥.٢ م/ث وتعد هذه السرعات للرياح ملائمة لإنتاج الطاقة الريحية والتي يكون المعدل لتكون ذا جدوى اقتصادية هو ٤ م/ث.

الفصل الرابع

التحليل الجغرافي لتوليد الطاقة الكهربائية بحسب الأقاليم الطبيعية

المبحث الأول: التحليل الجغرافي لتوليد الطاقة الكهربائية من

الإشعاع الشمسي

المبحث الثاني: التحليل الجغرافي لتوليد الطاقة الكهربائية من

الرياح

مدخل:

تواجه الجمهورية اليمنية مشكلة نقص الطاقة الكهربائية وعجزها عن سد متطلبات السكان من هذا المورد وخصوصاً سكان المناطق الريفية التي تتباين نسبتهم من محافظة لأخرى، إذ يشكلون سكان الريف ٧٠% من إجمالي سكان الجمهورية اليمنية، وشملت إمدادات الكهرباء ٤٧% من إجمالي السكان حتى ٢٠٠٧م، ويرجع السبب الرئيسي لذلك إلى انتشار القرى على مساحات شاسعة ومتباعدة عن الشبكة الوطنية، فضلاً عن وعورة التضاريس التي تحول دون توصيل هذه الخدمة إلى بعض المناطق^(١)، وتؤثر هذه المشكلة على نوعية المعيشة في تلك المناطق، ولذلك ينبغي البحث عن مصادر أخرى متاحة خصوصاً المتجددة منها والتي يمكن أن تسهم في زيادة تلبية احتياجات السكان من الطاقة الكهربائية لأن ذلك شرطاً أساسياً لا يمكن بدونه تحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة التي تعتمد على الموارد المتاحة بمواقع الاستخدام ما أمكن، وتكفل الظروف المعيشية الملائمة للسكان، ويتطلب ذلك توفير خليط متوازن من المصادر التقليدية والمتجددة، والحد من الآثار البيئية الناجمة عن إنتاج واستهلاك الطاقة على البيئة وصحة الإنسان.

ونتيجة لتوفر مصادر الطاقة المتجددة ومنها الشمس والرياح بشكل ملائم لإنتاج الطاقة في الجمهورية اليمنية فهي تعتبر أحد الحلول الممكنة لمشكلة نقص الطاقة الكهربائية في البلاد، وفيما يأتي تحليل جغرافي لما يمكن توليده من طاقة كهربائية عن طريق الإشعاع الشمسي والرياح وبحسب الأقاليم الطبيعية.

(١) اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكو)، التقرير السنوي ٢٠٠٩ عام في سطور، الأمم المتحدة، ٢٠١٠م. ص ١٦.

المبحث الأول: التحليل الجغرافي لتوليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي

أولاً: التحليل الجغرافي للطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية:

تعد الشمس من أعظم نعم الله، فهي ترسل أشعتها إلى الأرض، فتبعث فيها الحياة، ويحتل الإشعاع الشمسي المركز الأول من حيث قوة الطاقة المتولدة البالغة 174.000×10^{12} واط، منها ٣٠% ينعكس مباشرة في الغلاف الغازي، ولا يستفاد منه في تسخين الأرض، ويتحول ٤٧% من مجموع الإشعاع إلى حرارة، تستهلك عمليات التساقط والتبخر ما يعادل ٢٣%^(١)، ويتراوح مقدار الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الكرة الأرضية والساقط على كل سنتيمتر مربع مئة ما بين ٧٠ كيلو سعره حرارية في العروض العليا إلى أكثر من ٢٢٠ كيلو سعره حرارية في شبه جزيرة العرب^(٢).

ويتضح من ذلك أن الجمهورية اليمنية تقع ضمن المنطقة المثالية لتوفر الطاقة الشمسية التي يمكن الاستفادة في توليد الكهرباء وذلك للمساهمة في التنمية الاقتصادية، خصوصاً أن الطاقة الكهربائية تلبي احتياج ٩.٦ مليون نسمة فقط من سكان البلاد البالغ عددهم ٢٠.٣ مليون نسمة نهاية ٢٠٠٥م، وبذلك تكون نسبة المزودين بالكهرباء ٤٧.٣٥% من مجموع السكان^(٣) لذلك ينبغي التوجه إلى مصادر الطاقة الأخرى المتاحة لسد متطلبات السكان خصوصاً المتجددة نتيجة لمجانيته ووصولها إلى المناطق النائية التي لا يمكن إيصال مصادر الطاقة الأخرى إليها بسبب شدة تضرر بعض هذه المناطق، كما أنها لا تساهم في تلوث البيئة الذي أصبح من أعظم المشاكل التي تواجه الإنسان المعاصر.

وفيما يأتي سنتناول الدراسة التحليل الجغرافي لمعدلات الطاقة الشمسية وانحرافات المعيارية للتأكد من جدواها الاقتصادية لإمكانية توليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي عن طريق الخلايا الشمسية وتحديد المناطق الملائمة والتي يكون انحرافها المعياري بسيط.

١ - الطاقة الشمسية في إقليم الهضبة الشرقية:

تتباين كمية الطاقة التي يمكن توليدها في هذا الإقليم، ويتضح ذلك من (الجدول ١٨) حيث أن معدل الطاقة الشمسية الفصلي يبلغ في الشتاء ٥.٣ كيلو واط^(*) ساعة/م^٢/يوم

(١) الراوي، عادل سعيد، وقصي عبد المجيد السامرائي، المناخ التطبيقي، جامعة بغداد، ١٩٩٠م. ص ٢٨٧.

(٢) الخفاف، عبد علي، وثعبان كاسم خضير، الطاقة وتلوث البيئة، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمان، ٢٠٠٧م. ص ١١٨.

(٣) الجمهورية اليمنية، وزارة الكهرباء، التقرير السنوي ٢٠٠٥م. ص ٧.

(*) تم استخراج كمية الطاقة بالكيلو واط بناءً على أن الكيلو واط = ٣.٦٠ ميغا جول

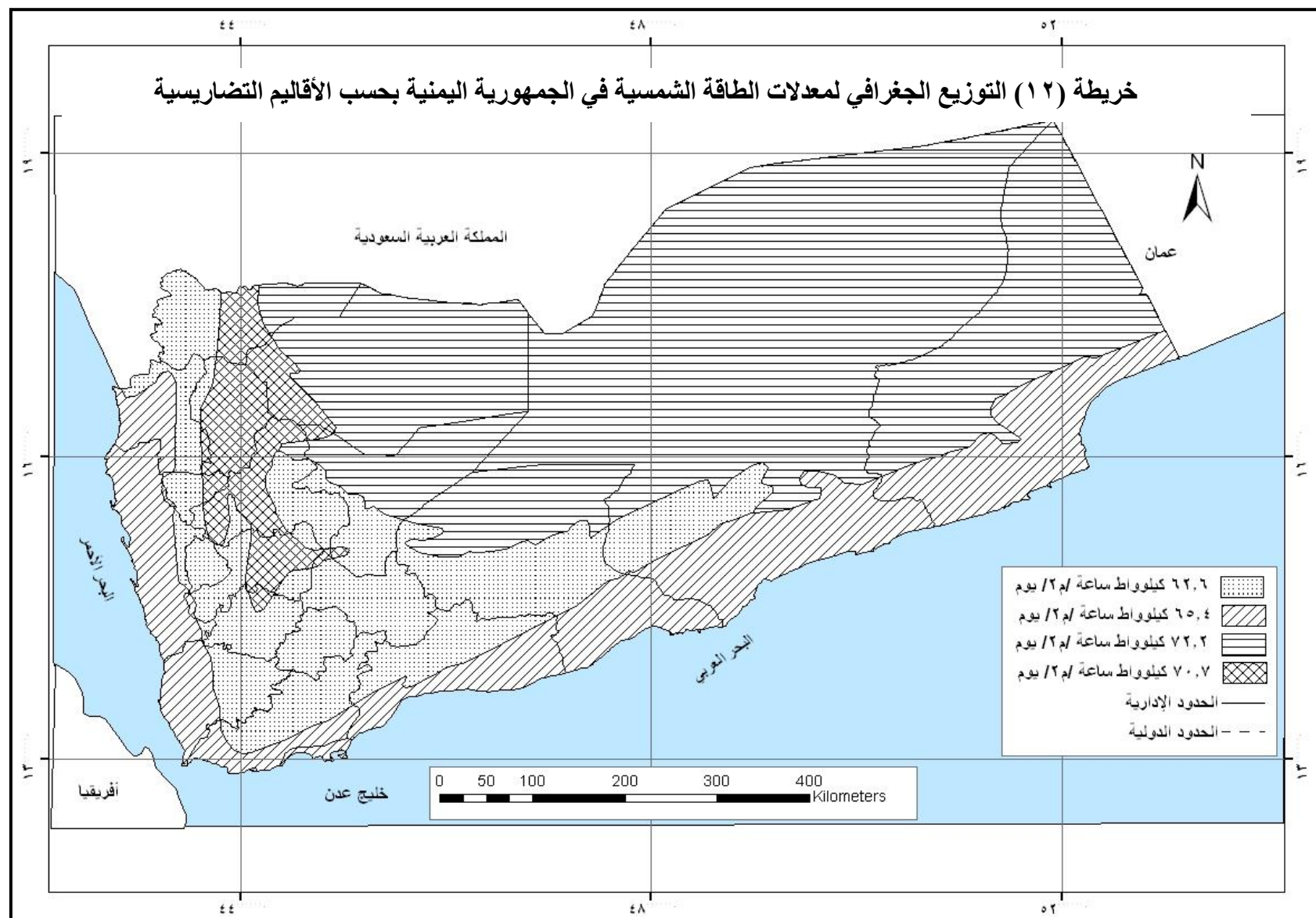
جدول (١٨) التوزيع الجغرافي لمعدلات الطاقة الشمسية وانحرافها المعياري في الجمهورية اليمنية (كيلو واط ساعة/م^٢/يوم)

الإقليم		المحطة		الفصل		الشتاء				الربيع				الصيف				الخريف			
المرتفعات الجبلية	تعز	حجة	إب	البيان	المحطة	ديسمبر	يناير	فبراير	المعدل الفصلي	مارس	أبريل	مايو	المعدل الفصلي	يونيو	يوليو	أغسطس	المعدل الفصلي	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	المعدل الفصلي
						٤.٩	٥	٥.٦	٥.١٧	٥.٩	٦.١	٦	٦.٠٠	٥.٣	٥.١	٥.٤	٥.٢٧	٥.٤	٦	٥.٥	٥.٦٣
المرتفعات الجبلية	تعز	حجة	إب	المعدل الشهري	٣.٩	٣.٥	٤	٣.٨٠	٤.٦	٥.٥	٥.١٧	٥.١٥	٥.١٦	٥.١٦	٥.١٣	٥.١٥	٥.١	٥.١	٥.٠٦	٥.٠٥	٥.٠٧
				الانحراف المعياري	٠.١	٠.١	٠.٠٦	٠.٠٧	٠.١٢	٠.١٧	٠.١٧	٠.١٥	٠.١٦	٠.١٦	٠.١٣	٠.١٥	٠.١	٠.١	٠.٠٦	٠.٠٥	٠.٠٧
	حجة	إب	إب	المعدل الشهري	٤.٨	٤.٩	٥.٧	٥.١٣	٥.٩	٦.١	٥.٧	٥.٩٠	٥.١١	٥.٠٥	٥.٠٨	٥	٥.٠٧	٥.٢	٥.٨	٥.١٣	٤.٧٠
				الانحراف المعياري	٠.١	٠.١	٠.٠٥	٠.٠٨	٠.١٥	٠.٠٨	٠.١	٠.١١	٠.١	٠.٠٨	٠	٥.٠٤	٥.٠٧	٥.٨	٥.١٣	٥.٠٩	٤.٧٠
	حجة	إب	إب	المعدل الشهري	٤.٨	٤.٩	٥.٧	٥.١٣	٥.٩	٦.١	٥.٧	٥.٩٠	٥.١١	٥.٠٥	٥.٠٨	٥	٥.٠٧	٥.٢	٥.٨	٥.١٣	٤.٧٠
				الانحراف المعياري	٠.٢٥	٠.٣٢	٠.٣٥	٠.٣١	٠.١٢	٠.٢١	٠.٣٢	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.٢	٠.٣٣	٠.١٢	٠.٠٦	٠.١٥	٠.١١
المنخفضات الوسطى	صنعاء	صعدة	ذمار	المعدل الشهري	٥.٣	٥.٤	٦	٥.٥٧	٦.٣	٦.٦	٦.٨	٦.٥٧	٦.٥٧	٦.٦	٥.٦	٦	٦.٠٧	٦.٣	٦.٤	٥.٧	٦.١٣
				الانحراف المعياري	٠.٢٤	٠.١٧	٠.١٩	٠.٢٠	٠.٠٤	٠.٢	٠.٢٧	٠.١٧	٠.١٧	٠.٢٧	٠.٢	٠.٢١	٠.٣٠	٠	٠	٠	٠.٠٠
	صعدة	ذمار	ذمار	المعدل الشهري	٥	٥	٥.٥	٥.١٧	٦	٦.١	٧.١	٦.٤٠	٦.٤٠	٦.٦	٥.٢	٥.٦	٥.٨٠	٥.٧	٦.١	٥.٤	٥.٧٣
				الانحراف المعياري	٠.٠٦	٠.٠٥	٠.١	٠.٠٧	٠.١٣	٠.١٧	٠.١	٠.١٣	٠.١٣	٠.٠٦	٠.٠٨	٠.١	٠.٠٨	٠.١٣	٠.١٧	٠.٠٥	٠.١٢
	صعدة	ذمار	ذمار	المعدل الشهري	٥.٢	٥.٤	٥.٩	٥.٥٠	٦.١	٦.٣	٦.٣	٦.٢٣	٦.٢٣	٦.٢	٥.٥	٥.٧	٥.٨٠	٥.٩	٥.٩	٥.٤	٥.٧٣
				الانحراف المعياري	٠.٣١	٠.٢١	٠.٢٩	٠.٢٧	٠.٣٨	٠.٤١	٠.٥٢	٠.٤٤	٠.٤٤	٠.٦	٠.٥	٠.٣٢	٠.٤٧	٠.٤٢	٠.١٣	٠.١٩	٠.٢٥
السهول الساحلية	عدن	الحديدة	الريان	المعدل الشهري	٤.٩	٤.٩	٥.٥	٥.١٠	٥.٩	٦	٦	٥.٩٧	٥.٩٧	٥.٤	٥.٣	٥.٥	٥.٤٠	٥.٥	٥.٨	٥.٤	٥.٥٧
				الانحراف المعياري	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٠٦	٠	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٠٥	٠.٠٥	٠.١٣	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٨	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٠٦
	الحديدة	الريان	الريان	المعدل الشهري	٤.٨	٤.٥	٤.٩	٤.٧٣	٥.٦	٥.٩	٥.٩	٥.٨٠	٥.٨٠	٥.٢	٥.١	٥.٤	٥.٢٣	٥.٤	٥.٧	٥.٣	٥.٤٧
				الانحراف المعياري	٠.٠٨	٠.١٤	٠.٢٢	٠.١٥	٠.٠٥	٠.١	٠.١	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.١٤	٠.١٥	٠.٢	٠.١٦	٠.١٥	٠.٠٨	٠.١٧	٠.١٣
	الريان	الريان	الريان	المعدل الشهري	٥.٣	٥.١	٥.٦	٥.٣٣	٥.٧	٦.٦	٦.٤	٦.٢٣	٦.٢٣	٤.٧	٥.٥	٥.٩	٥.٣٧	٥.٥	٦.٢	٥.٦	٥.٧٧
				الانحراف المعياري	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.١٥	٠.٠٩	٠.٢٣	٠.٢	٠.٢	٠.٣١	٠.٢٥	٠.٣٢	٠.٢٣	٠.٢٣	٠.٣٠	٠.٣٦	٠.١٢	٠.١	٠.١٩
الهضبة الشرقية	مأرب	سينون	سينون	المعدل الشهري	٥.٣	٥.٣	٥.٩	٥.٥٠	٦.٣	٦.٦	٧.٢	٦.٧٠	٦.٧٠	٦.٧	٦.٣	٦.٤	٦.٤٧	٦.٤	٦.٤	٥.٩	٦.٢٣
				الانحراف المعياري	٠	٠.٠٥	٠.٠٥	٠.٠٣	٠.٠٥	٠.١	٠.١٤	٠.١٠	٠.١٠	٠.١	٠.١٣	٠.٠٦	٠.١٠	٠.١	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٧
	سينون	سينون	سينون	المعدل الشهري	٤.٧	٤.٨	٥.٦	٥.٣	٦.١	٦.٥	٦.٧	٦.٤٣	٦.٤٣	٦.١	٦.١	٦.٣	٦.١٣	٦.١	٥.٧	٥.٢	٥.٦٧
				الانحراف المعياري	٠.٢٩	٠.٢٣	٠.١٨	٠.٢٣	٠.١٦	٠.١٩	٠.٢١	٠.١٩	٠.١٩	٠.١٥	٠.٣٢	٠.١٤	٠.٢٠	٠.٢٤	٠.٣	٠.٣٤	٠.٣٤

المصدر: عمل الباحث اعتماداً على الملحق (٥)

بانحراف معياري قدره ٠.١٣ ونتيجة لانخفاض قيمة الانحراف المعياري في هذا الفصل فهذا يعني استقرار توليد الكهرباء سواء كان ذلك لتغطية القرى أو الضخ لمنظومة الشبكة الوطنية، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٦.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٤٥ وقلة الانحراف المعياري في الفصل أيضاً تعني استقرار توليد الكهرباء، أما في فصل الصيف فينخفض المعدل إلى ٦.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٥ وكون المنطقة تتصف بالحرارة المرتفعة فهذا يؤثر سلباً على قدرة الألواح الإنتاجية ومع ذلك يمكن أن يسهم في تزويد السكان بالطاقة اللازمة لتبريد المياه وتشغيل المكيفات الهوائية من أجل راحة السكان وتخفيف الضغط على محطات توليد الكهرباء الحرارية وتوفير كميات كبيرة من الوقود الإحفوري التي يمكن الاستفادة منها في تغطية العجز في السوق المحلية أو في التصدير لما لذلك من أثر كبير في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٦.٠ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢١ وكون الانحراف المعياري ارتفع قليلاً إلا أنه لا يزال يؤكد استقرار ما يمكن توليده من طاقة، أما معدلها السنوي فيبلغ ٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم (أنظر الخريطة ١٢) بانحراف معياري قدره ٠.٦٠ ومع أن ارتفاع هذه القيمة التي تعتبر عيباً لكونها تعني عدم استقرار كمية الطاقة الممكن إنتاجها إلا أنه من خلال النظر إلى أقل قيمة لكمية الطاقة نجدها تساوي المعدل السنوي للطاقة الشمسية في حجة وبذلك يمكن الاعتماد على أقل قيمة كمعيار لما يمكن توليده من طاقة، ومن خلال قيم الانحراف المعياري نلاحظ أن اختلاف كمية الطاقة يكون ضئيلاً مما يؤكد إمكانية توليد الطاقة الكهربائية على مدار العام .

أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في مآرب في فصل الشتاء ٥.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٣ ومن ذلك نلاحظ أنه مع أن إمكانية توليد الطاقة الكهربائية ممكن ويتصف بالثبات كون الانحراف المعياري صغير على الرغم من أن كمية الطاقة الشمسية في هذا الفصل تعد الأقل على مدار العام، وفي فصل الربيع ترتفع كمية الطاقة الشمسية بسبب حركة الشمس الظاهرية التي تصبح أشعتها عمودية على الجمهورية خلال هذا الفصل نتيجة لحركتها من خط الاستواء إلى مدار السرطان وعليه تصل كمية الطاقة الشمسية إلى ٦.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٠

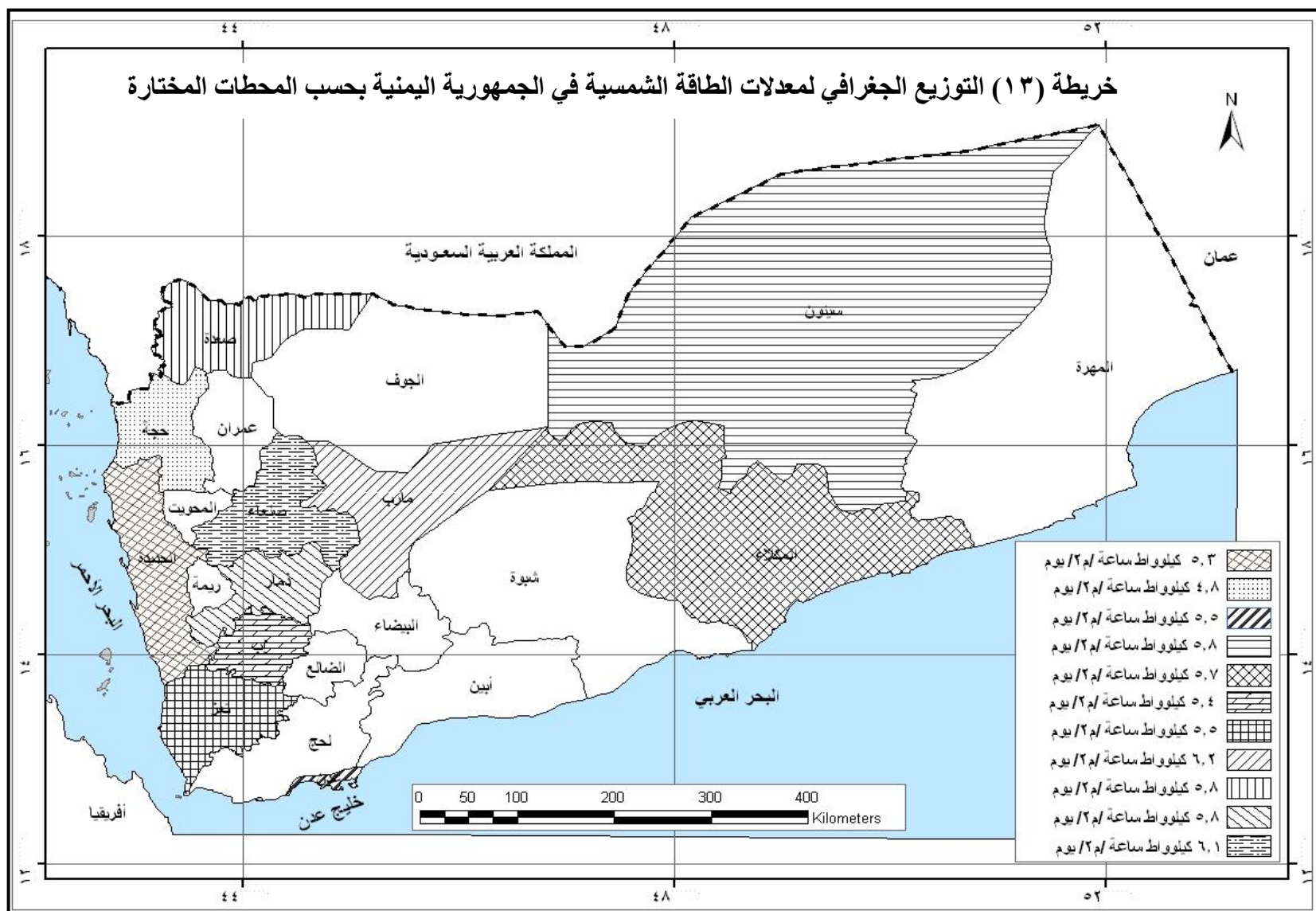


المصدر: الباحث اعتماداً على الجدول (١٨)

ومن خلال ذلك يتضح أن كمية الطاقة الكهربائية الممكن إنتاجها في هذا الفصل تكون الأكثر على بقية الفصول، وفي فصل الصيف تظل كمية الطاقة الشمسية مرتفعة لتعتمد الأشعة على الجمهورية أثناء عودة الشمس من مدار السرطان إلى خط الاستواء فتكون ٦.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٠ وهذا يعني ارتفاع ما يمكن توليده من كهرباء مع استقرارية هذه الكمية، وفي فصل الخريف تنخفض كمية الطاقة الشمسية نتيجة لحركة الشمس الظاهرية من خط الاستواء نحو مدار الجدي لتصل إلى ٦.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٧ ومع ذلك تظل هذه المنطقة هي الأكثر إمكانية لتوليد الكهرباء على مدار العام (الجدول ١٨ والخريطة ١٣)، بينما في سيئون في فصل الشتاء يبلغ المعدل ٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٣ ومع أن كمية الطاقة الشمسية هي الأقل على مستوى بقية الفصول إلا إنها تكون من المعدلات المرتفعة على مستوى الجمهورية وكون الانحراف المعياري قليل فإن ذلك يعني أن كمية الطاقة الممكن توليدها يتصف بالإستقرارية على مدار الفصل (جدول ١٩)، وفي الربيع ترتفع كمية الطاقة الشمسية لحركة الشمس المذكورة سابقاً لتصل إلى ٦.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٩ ، وتظل كمية الطاقة مرتفعة في الصيف لنفس السبب المذكور سابقاً فتكون ٦.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٠ ، وفي الخريف تنخفض كمية الطاقة الشمسية إلى ٥.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٣٤ ،

نستنتج مما سبق أن كمية الطاقة الشمسية في فصول السنة في كلا المحطتان مشجعة لإنتاج الطاقة الكهربائية وهذا ما يتضح من خلال الانحراف المعياري لمعدل الطاقة الشمسية عن المتوسط.

أما التوزيع الشهري للطاقة الشمسية فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدلها في محطة مأرب يتراوح بين ٥.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهري ديسمبر ويناير بانحراف معياري وقدره ٠.٠٠ و ٠.٠٥ على التوالي وهذا يعني عدم اختلاف كمية الطاقة خلال سنوات الدراسة وبين ٧.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف معياري وقدره ٠.١٤ شكل (٩ أ)، وعليه يكون المعدل السنوي للطاقة الشمسية في محطة مأرب ٦.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري وقدره ٠.٥٥ ومع أن ارتفاع كمية الطاقة الشمسية في هذه المنطقة يكون



المصدر: الباحث اعتماداً على الجدول (١٨)

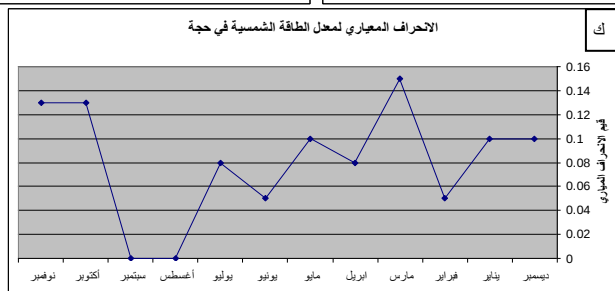
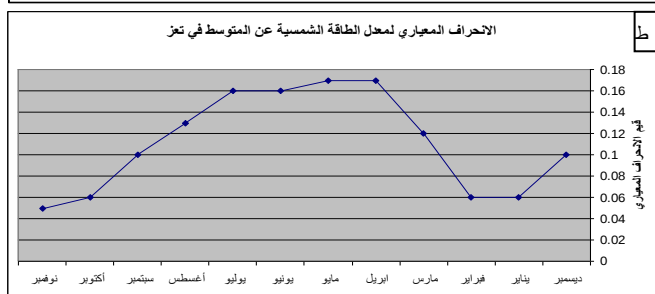
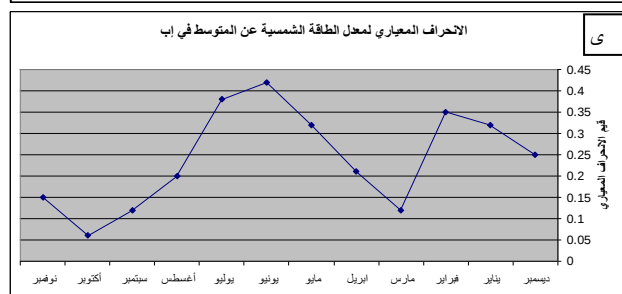
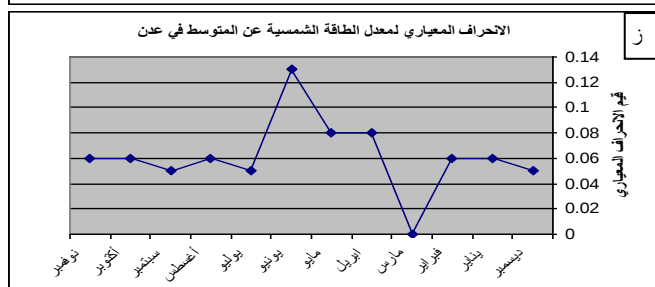
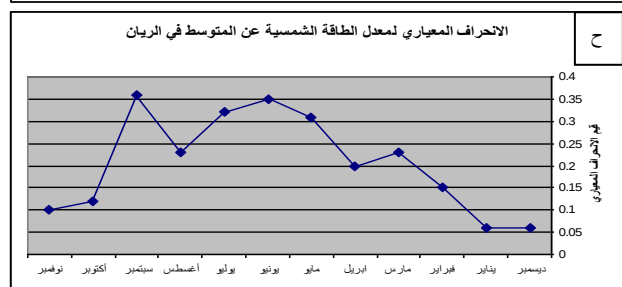
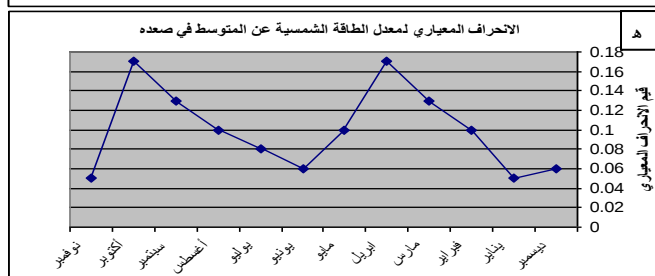
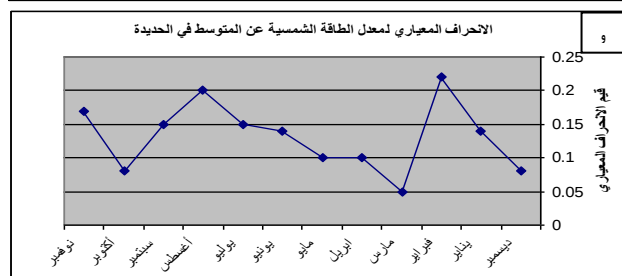
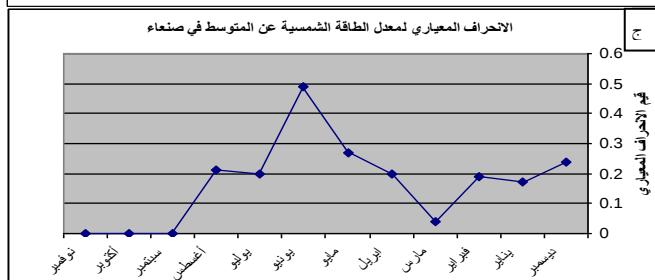
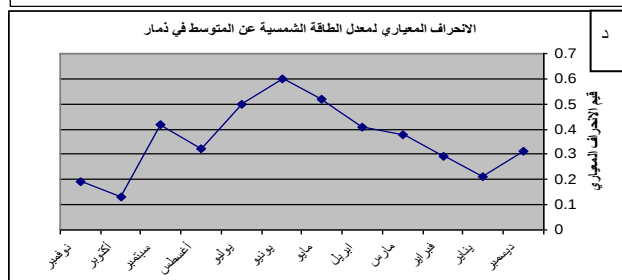
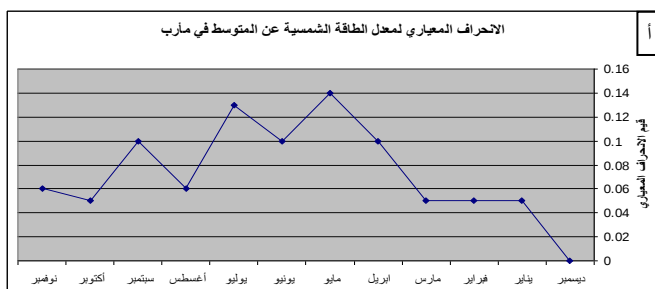
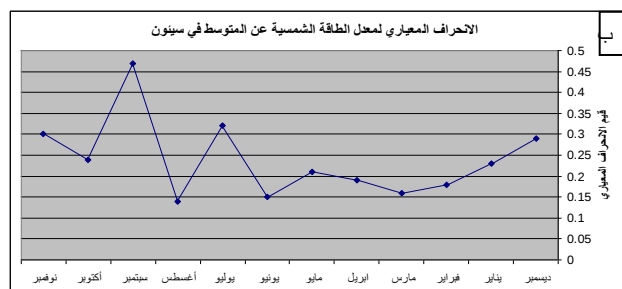
مؤكد لكمية كبيرة من الطاقة الممكن توليدها إلا إن هذا الارتفاع يكون له بعض الجوانب السلبية كونه يعني زيادة في درجة الحرارة التي تقلل من قدرة الخلايا الفوتوفولطية على إنتاج الكهرباء وإن ارتفاع قيمة الانحراف المعياري يعد سلبيا كونه يعني عدم استقرار في كمية الطاقة الممكن إنتاجها إلا أنه بالنظر إلى أقل كمية الطاقة الشمسية في هذه المنطقة نجد أنها مساوية لمعدل الطاقة في إب والحديدة وهذا يعني أن هذه المنطقة مشجعة بدرجة كبيرة لإنتاج الطاقة الكهربائية حتى بالاعتماد على أقل معدل للطاقة الشمسية، بينما نجد معدل الطاقة الشمسية في سيئون يتراوح بين ٤.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر ديسمبر بانحراف معياري وقدره ٠.٢٩ وبين ٦.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف معياري وقدره ٠.٢١ (شكل ٩ ب)، ويبلغ المعدل السنوي للطاقة الشمسية في سيئون ٥.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري وقدره ٠.٦٤.

ويلاحظ مما سبق أن كمية الطاقة الشمسية في مأرب تحتل المرتبة الأولى من حيث ما يمكن توليده من طاقة في الجمهورية اليمنية، ويرجع ذلك لكونها منطقة يغلب عليها الصفة الصحراوية أي أنها تمتاز بصفاء السماء وقلة الأمطار طوال العام وهذا يؤدي إلى زيادة ساعات السطوع وكمية الإشعاع الشمسي التي يتم استفاد منها بتحويلها إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الفوتوفولطية، خصوصا أن قيم الانحراف المعياري لجميع الأشهر لا تختلف إلا بنسبة ضئيلة جداً (الشكل ٩).

٢ - الطاقة الشمسية في إقليم المنخفضات الوسطى:

تتباين كمية طاقة التي يمكن توليدها في هذا الإقليم ، ويتضح من خلال (الجدول ١٩) أن إقليم المنخفضات الوسطى يكون في المرتبة الثانية من حيث إمكانية توليد الطاقة الشمسية فيبلغ المعدل السنوي له ٥.٩ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري وقدره ٠.٥١ ومع ارتفاع كمية الطاقة الشمسية في هذا الإقليم إلا أن الانحراف المعياري المرتفع يدل على عدم استقرار في كمية الطاقة الممكن إنتاجها خصوصا إذا كان إنتاج الطاقة الكهربائية لتغطية القرى الريفية وعلى ذلك يفضل الاعتماد على أدنى كمية طاقة شمسية كمعيار لما يمكن توليده من طاقة ، أما معدل الطاقة الشمسية الفصلي (الجدول ١٨ والشكل ٩) فيبلغ في الشتاء

شكل (٩) الانحراف المعياري لمعدلات الطاقة الشمسية عن المتوسط للمحطات المختارة



المصدر: عمل الباحث اعتمادا على الجدول (١٨)

٥.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٨ وتعد كمية الطاقة الشمسية قليلة في هذا الفصل نتيجة لميل زاوية ارتفاع الشمس نتيجة لحركتها نحو مدار الجدي وقصر طول النهار، وفي فصل الربيع يرتفع المعدل نتيجة لتعامد أشعة الشمس على الجمهورية ليلبلغ ٦.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٥ ، تظل كمية الطاقة الشمسية مرتفعة في فصل الصيف لنفس السبب بمعدل ٥.٩ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٨ ، وفي الخريف ٥.٩ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٢ ، ومن خلال قيم الانحراف المعياري نلاحظ أن اختلاف كمية الطاقة يكون ضئيلاً مما يؤكد إمكانية توليد الطاقة الكهربائية في فصول السنة الأربعة خصوصاً لتغطية القرى الريفية النائية نتيجة لقلة قيم الانحراف المعياري في هذا الإقليم والتي تعني استقراراً واستمرارية التوليد.

أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في صناعاء في فصل الشتاء ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٠ ، وفي فصل

جدول (١٩) المعدل السنوي للطاقة الشمسية وانحرافها المعياري في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٥-٢٠٠٧ م

الإقليم	موقع المحطات	المعدل السنوي (كيلو واط)	الانحراف المعياري
المرتفعات الجبلية	تعز	٥.٥	٠.٤١
	حجة	٤.٨	٠.٧٤
	إب	٥.٤	٠.٤٧
	المعدل	٥.٢	٠.٥٤
المنخفضات الوسطى	صناعاء	٦.١	٠.٥
	صعدة	٥.٨	٠.٦٤
	ذمار	٥.٨	٠.٣٨
	المعدل	٥.٩	٠.٥١
السهول الساحلية	عدن	٥.٥	٠.٣٧
	الحديدة	٥.٣	٠.٤٤
	الريان	٥.٧	٠.٥٤
	المعدل	٥.٥	٠.٤٥
الهضبة الشرقية	مأرب	٦.٢	٠.٥٥
	سينون	٥.٨	٠.٦٤
	المعدل	٦	٠.٦٠

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على الجدول (١٨)

الربيع ٦.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٧ ، وفي فصل الصيف ٦.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٣٠ ، وفي فصل الخريف ٦.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٠ وعليه نجد أن هذه المنطقة من أكثر المناطق المبشرة بإمكانية توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية عن طريق الخلايا الفوتوفولطية على مدار العام، بينما في دمار في فصل الشتاء يكون المعدل ٥.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٧ ، وفي الربيع ٦.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤٤ ، وفي الصيف ٥.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤٧ ، وفي الخريف ٥.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٥ ، وعليه نجد أن كمية الطاقة الشمسية في هذه المنطقة تعد من الكميات الملائمة لإنتاج الطاقة الكهربائية، بينما في محطة صعده في الشتاء يكون المعدل ٥.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٧ ، وفي الربيع ٦.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٣ ، وفي الصيف ٥.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٨ ، وفي الخريف ٥.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٢ ، وبذلك نجد أن كمية الطاقة وانحرافها المعياري في هذه المنطقة ملائمة لإنتاج الكهرباء، ومما سبق نستنتج أن كمية الطاقة الشمسية في جميع فصول السنة في المحطات الثلاث مشجعة لإنتاج الطاقة الكهربائية وهذا ما يتضح من خلال انخفاض قيم الانحراف المعياري عن معدل الطاقة الشمسية.

أما التوزيع الشهري للطاقة الشمسية فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الطاقة الشمسية في صنعاء يتراوح بين ٥.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر ديسمبر بانحراف معياري قدره ٠.٢٤ وبين ٦.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف معياري قدره ٠.٢٧ شكل (٩ ج)، وعليه يكون المعدل السنوي للطاقة الشمسية في محطة صنعاء ٦.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٥٠ ، بينما في دمار تتراوح الطاقة الشمسية بين ٥.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر ديسمبر بانحراف معياري قدره ٠.٣١ وبين ٦.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف معياري قدره ٠.٥٢ شكل (٩ د)، ويبلغ المعدل السنوي للطاقة الشمسية بها ٥.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم (خريطة ١٣) بانحراف معياري قدره ٠.٣٨ ، بينما تراوحت الطاقة الشمسية في محطة صعده بين ٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في

شهري ديسمبر ويناير بانحراف معياري قدره ٠.٠٦ و ٠.٠٥ على التوالي وبين ٧.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف معياري قدره ٠.١ شكل (٩ هـ)، أما معدلها السنوي فيكون ٥.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٦٤ .

ويلاحظ من خلال ما سبق أن زيادة كمية الطاقة الشمسية في إقليم المنخفضات الوسطى ينتج عن صفاء السماء طوال العام الذي ينعكس عليه زيادة في ساعات السطوع وشفاء السماء مرده إلى المرتفعات الجبلية التي تحيط بالمنخفضات الوسطى من ثلاث جهات خصوصا الجنوبية والغربية والتي تعترض الرياح المحملة ببخار الماء القادمة من البحر الأحمر والمحيط الهندي وهذا يظهر من خلال قيم الانحراف المعياري التي تختلف بنسبة ضئيلة عن المتوسط.

٣- الطاقة الشمسية في إقليم السهول الساحلية:

تتباين كمية الطاقة التي يمكن توليدها، ويتضح من (الجدول ١٩ والخريطة ١٢) أن المعدل السنوي للطاقة في إقليم السهول الساحلية يبلغ ٥.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤٥ ، أما معدله الفصلي (الجدول ١٨ والشكل ٩) فيبلغ في الشتاء ٥.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٠ ، وفي فصل الربيع يرتفع المعدل ليبلغ ٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٣ ، أما في فصل الصيف فيبلغ المعدل ٥.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٨ ، ثم يرتفع المعدل في الخريف إلى ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٣ ، ومن خلال قيم الانحراف المعياري نلاحظ أن اختلاف كمية الطاقة يكون ضئيلاً مما يؤكد إمكانية توليد الطاقة الكهربائية في فصول السنة الأربعة .

أما الطاقة في السهل الغربي من هذا الإقليم فيتباين معدلها الفصلي حيث يكون في الحديدة في فصل الشتاء ٤.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٥ ، وفي فصل الربيع ٥.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٨ ، وفي فصل الصيف ٥.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٦ ، وفي فصل الخريف ٥.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٣ .

وتتباين الطاقة في السهل الجنوبي من هذا الإقليم أيضا، فيكون معدلها في عدن في فصل الشتاء ٥.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٦، وفي الربيع ٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٥، وفي الصيف ٥.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٨، وفي الخريف ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٦، بينما يكون معدلها في محطة الريان في الشتاء ٥.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٩، وفي الربيع ٦.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٥، وفي الصيف ٥.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٣٠، وفي الخريف ٥.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٩، ومما سبق نستنتج أن كمية الطاقة الشمسية في جميع فصول السنة في المحطات الثلاث مشجعة لإنتاج الطاقة الكهربائية وهذا ما يتضح من خلال الانحراف المعياري لمعدل الطاقة الشمسية عن المتوسط خصوصا في محطتي عدن والحديدة لكون الموطن يكيف نفسه على القدر المنتج من الطاقة، أما الريان وعلى الرغم من أن المعدل أكبر إلا أن انحرافها المعياري كبير مما يعني عدم الاستقرار خاصة إذا تم بناء المحطة لتغطية متطلبات القرى النائية.

نجد أن التوزيع الشهري لمعدل الطاقة الشمسية يكون أكثر تبايناً في السهل الغربي ففي محطة الحديدة يتراوح بين ٤.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر يناير بانحراف معياري قدره ٠.٠٨ وبين ٥.٩ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف معياري قدره ٠.١٠ شكل (٩ و)، وعليه يكون المعدل السنوي للطاقة الشمسية في محطة الحديدة ٥.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤٤ وهذا يعني عدم اختلاف كمية الطاقة الشمسية.

أما في السهل الجنوبي من هذا الإقليم فنجد أن الطاقة في عدن تتراوح بين ٤.٩ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهري ديسمبر ويناير بانحراف معياري قدره ٠.٠٥ و ٠.٠٦ على التوالي وبين ٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في مايو بانحراف معياري قدره ٠.٠٨ شكل (٩ ز)، أما المعدل السنوي فهو ٥.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٣٧، بينما تتراوح معدلات الطاقة في محطة الريان بين ٥.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر يناير بانحراف معياري قدره ٠.٠٦ وبين ٦.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف

معياري قدره ٠.٣١ شكل (٩ ح)، وعليه يكون المعدل السنوي للطاقة ٥.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري وقدره ٠.٥٤.

ويلاحظ مما سبق أن معدل الطاقة الشمسية يعد مشجع لاستخدامه في توليد الطاقة الكهربائية حيث نجد أن تباين الطاقة الشمسية في هذا الإقليم وانحرافها المعياري ضئيل على مدى جميع الأشهر في المحطات المذكورة.

٤ - الطاقة الشمسية في إقليم المرتفعات الجبلية:

تتباين كمية الطاقة التي يمكن توليدها في هذا الإقليم من وقت لآخر، ويتضح من خلال (الجدول ١٩ والخريطة ١٢) أن المعدل السنوي لإمكانية توليد الطاقة في إقليم المرتفعات الجبلية يبلغ ٥.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٥٤، أما معدله الفصلي (الجدول ١٨ والشكل ٩) فيبلغ في الشتاء ٤.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٥، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٥.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٦، أما في فصلي الصيف والخريف فينخفض المعدل إلى ٥.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٧ و ٠.٠٩ على التوالي، ومن خلال ما سبق نلاحظ أن معدلات الطاقة الشمسية وقيم الانحراف المعياري لا تختلف كثيراً مما يعني إمكانية توليد الطاقة الكهربائية في فصول السنة الأربعة في هذا الإقليم.

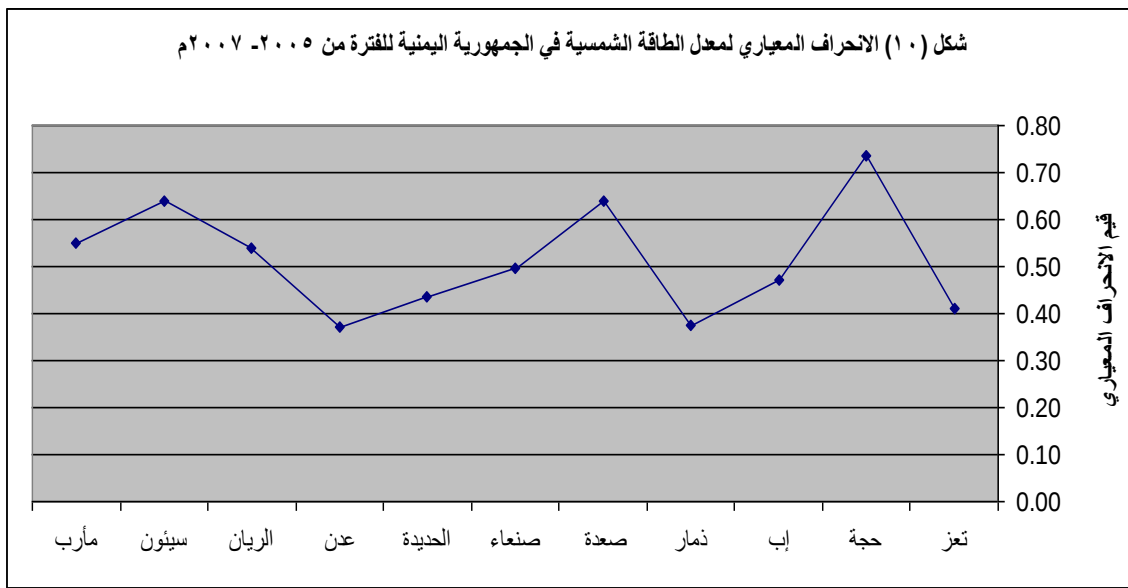
أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في تعز في فصل الشتاء ٥.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٧، وفي فصل الربيع ٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٥، وفي فصل الصيف ٥.٣ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١٥، وفي فصل الخريف ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٧، بينما يكون معدلها في إب في فصل الشتاء ٥.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٣١، وفي الربيع ٥.٩ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٢٢، وفي الصيف ٥.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٣٣، وفي الخريف ٥.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.١١، بينما يكون معدل الطاقة في محطة حجة في الشتاء ٣.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٨، وفي الربيع ٥.٢ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم

بانحراف معياري قدره ٠.١١ ، وفي الصيف ٥.٤ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٤ ، وفي الخريف ٤.٧ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٠٩ وهذا يعني عدم اختلاف كمية الطاقة في هذا الإقليم.

أما التوزيع الشهري للطاقة الشمسية فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الطاقة في تعز تتراوح بين ٤.٩ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر ديسمبر بانحراف معياري قدره ٠.١٠ وبين ٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهري مايو وأكتوبر بانحراف معياري قدره ٠.١٧ و ٠.٠٦ شكل (٩ ط)، وعليه يكون المعدل السنوي للطاقة الشمسية في محطة تعز ٥.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤١ ، بينما نجد معدلات الطاقة في إب تتراوح بين ٤.٨ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهري أغسطس و ديسمبر بانحراف معياري قدره ٠.٢٠ و ٠.٢٥ وبين ٦.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر أبريل بانحراف معياري قدره ٠.٢١ شكل (٩ ي)، ويبلغ المعدل السنوي للطاقة الشمسية ٥.٤ كيلو واط ساعة/م^٢ بانحراف معياري قدره ٠.٤٧ ، بينما نجد الطاقة الشمسية في حجة تتراوح بين ٣.٥ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر يناير بانحراف معياري قدره ٠.١٠ وبين ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم في شهر مايو بانحراف معياري قدره ٠.١٠ شكل (٩ ك)، أما معدلها السنوي فيكون ٤.٨ كيلو واط ساعة/م^٢ بانحراف معياري قدره ٠.٧٤ ، ومما سبق نلاحظ أن انخفاض كمية الطاقة الشمسية في محطتي إب وحجة يرجع لتباين التضاريس بهما والذي يعيق حركة الرياح فترفعها إلى الأعلى فتتكاثف وتشكل الغيوم التي تحجب كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي، وهذا بدوره ينعكس على كمية الطاقة الشمسية التي تتوافق طردياً مع صفاء السماء.

ومما سبق نخلص إلى أن معدل الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية يبلغ ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢ بانحراف معياري قدره ٠.٣٨ ، أما تباينها الفصلي فيكون معدلها في الشتاء ٥.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤٨ ، وفي الربيع ٦.١ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤٤ ، وفي الصيف ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٥٠ ، وفي الخريف تكون ٥.٦ كيلو واط ساعة/م^٢/يوم بانحراف معياري قدره ٠.٤٢ ، وعليه فإنه يمكن توليد الطاقة الكهربائية في جميع الأقاليم الجغرافية

المذكورة أعلاه في فصول السنة الأربعة مع بعض التفاوت البسيط فيما بينها، (أنظر الشكل ١٠) الذي يتضح منه أن المناطق التي يكون انحرافها أقل من ٠.٥٠ تعد أفضل إنتاجاً للكهرباء لتغطية المناطق الريفية كونها تتصف بالثبات في كمية التوليد وهذا يتيح تكيف المواطنين عليها لسد متطلباتهم الضرورية بشكل دائم على عكس المناطق التي يكون الانحراف أكبر من ٠.٥٠ والتي تحتاج أن يتأقلم معها المواطنون من حيث زيادة أو نقص كمية الطاقة المنتجة.



المصدر: عمل الباحث اعتماداً على الجدول (١٩)

ثانياً: التحليل الجغرافي للطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها من الطاقة الشمسية:

يعد ارتفاع كمية الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية مؤشر مؤكد لارتفاع ما يمكن توليده من طاقة كهربائية، وسيتم التركيز في الدراسة على إنتاج الطاقة الكهربائية عبر ألواح الخلايا الشمسية^(*) كونها تعمل بشكل مختلف عن الأنظمة الحرارية للطاقة الشمسية فهي تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء بدون تحريك لأي أجزاء ، إضافة لكونها أفضل تطبيقات الطاقة المتجددة في المناطق النائية ذات الأحمال الصغيرة والمنازل المتناثرة البعيدة عن الشبكة الوطنية للكهرباء.

(*) الخلايا الشمسية: تستخدم هذه الخلايا لتوليد الكهرباء بصورة مباشرة، وتتكون هذه الخلايا من رقائق رفيعة من السيلكون المنقى (غالبا ما يصنع من الرمل) يضاف إليه كميات صغيرة من مواد أخرى، وعند سقوط ضوء الشمس على هذه الرقائق تبتث الإلكترونات التي تنتج كميات صغيرة من الكهرباء عبر كل خلية، لذلك تجمع عدد كبير من الخلايا معا (لوح شمسي) حتى يتسنى توليد كميات صالحة للاستعمال من الطاقة الكهربائية.

وبناء على أن كفاءة لوح الخلايا ١٧% سيتم حساب كمية الطاقة الكهربائية الممكن إنتاجها بناء على المعادلة الآتية^(١):

كمية الطاقة الكهربائية الناتجة عن المتر المربع من الألواح الشمسية = معدل الطاقة الشمسية (واط) × ١٧% (كفاءة اللوح^(*)) × ٩٠% في المناطق الباردة أو ٨٥% في المناطق المتوسطة الحرارة أو ٨٠% في المناطق الحارة.

وعليه ذلك تكون النتائج كما في الجدول (٢٠) والخريطة (١٤) وهذا عرض لما يمكن توليده من كهرباء بحسب الأقاليم الجغرافية :

١- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم المنخفضات الوسطى:

نتيجة للمميزات الجغرافية لإقليم المنخفضات الوسطى المذكورة سابقا يكون في المرتبة الأولى من حيث كمية التوليد الكهربائي المتوقع كونه يتصف بالبرودة خصوصا في الشتاء وهذا يؤدي إلى أن الخلايا الشمسية تعمل بشكل أفضل عن بقية الأقاليم فيبلغ المعدل السنوي له ٨٧٥ واط/م^٢/يوم، أما معدل الإنتاج الفصلي فيبلغ في الشتاء ٨٣١ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٩٢٠ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الصيف ينخفض المعدل إلى ٨٥٣ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الخريف يرتفع المعدل إلى ٨٩٨ واط/م^٢/يوم نتيجة لانخفاض درجة الحرارة وشفاء السماء.

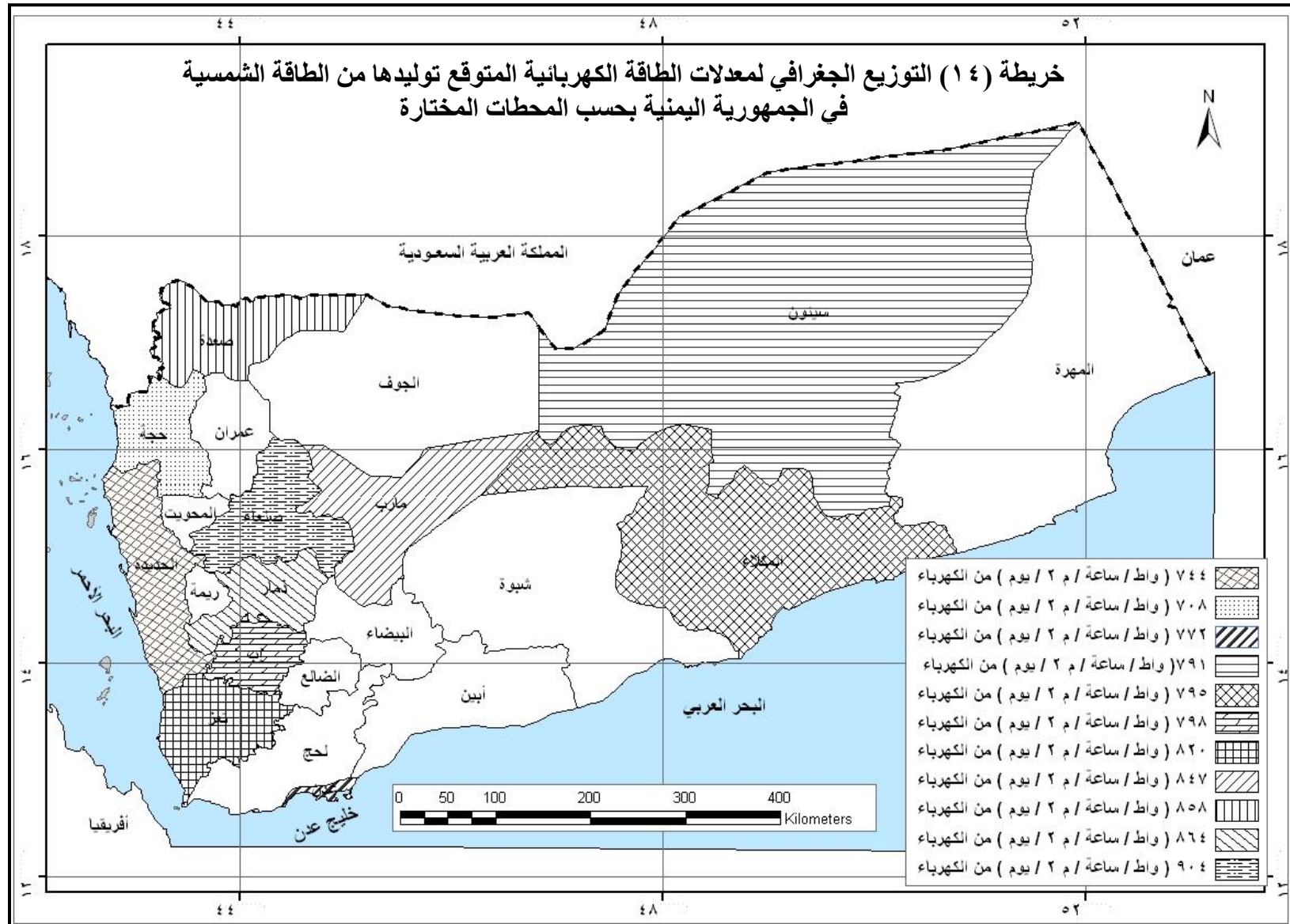
أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الإنتاج حيث يكون في صنعاء في فصل الشتاء ٨٥٢ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع يرتفع إلى ٩٤٩ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الصيف ينخفض إلى ٨٧٧ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الخريف ٩٣٨ واط/م^٢/يوم، بينما يكون معدلها في ذمار في فصل الشتاء ٨٤٢ واط/م^٢/يوم، وفي الربيع ٩٠١ واط/م^٢/يوم، وفي الصيف ٨٣٨ واط/م^٢/يوم، وفي الخريف ٨٧٧ واط/م^٢/يوم، بينما يكون معدلها في صعده في الشتاء ٧٩١ واط/م^٢/يوم، وفي الربيع ٩٢٥ واط/م^٢/يوم، وفي الصيف ٨٣٨ واط/م^٢/يوم، وفي الخريف ٨٧٧ واط/م^٢/يوم.

(١) مقابلة مع الدكتور عبد العزيز الذبحاني، مدير مركز الطاقة الشمسية، جامعة العلوم والتكنولوجيا، تاريخ ٢٠١١/٤/١٢ م.
(*) كفاءة تحويل الطاقة: عندما يتم تحويل الطاقة من شكل لآخر لسبب ما فإن الطاقة الناتجة بعد التحويل لن تكون مساوية للطاقة المتوفرة قبل التحويل، والنسبة بين لطاقة بعد وقبل التحويل تدعى الكفاءة. وتختلف قيمة الكفاءة بحسب طريقة تحويلها، فقد تصل إلى ٩٠% كما هو الحال في التوربينات المائية أو الموتور الكهربائي، أو تكون أقل من ذلك بكثير فتتراوح بين ١٠ - ٢٠% في معدات الطاقة الشمسية وتحديدًا الخلايا الشمسية، أو تتراوح بين ٣٥ - ٤٠% في محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تستخدم الوقود الأحفوري أو طاقة الرياح كمصدر للطاقة لمزيد من المعلومات أنظر، الطاقة مصادرها- أنواعها- استخداماتها، لمحمد مصطفى محمد الخياط، وزارة الكهرباء والطاقة، القاهرة، ٢٠٠٦ م. ص ١٥.

جدول (٢٠) التوزيع الجغرافي لمعدلات الطاقة الكهربائية المتوقع توليدها من الطاقة الشمسية في الجمهورية (واط ساعة/م^٢/يوم)

المعدل السنوي	الخريف				الصيف				الربيع				الشتاء				الفصل	
	المعدل	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	المعدل	أغسطس	يوليو	يونيو	المعدل	مايو	ابريل	مارس	المعدل	فبراير	يناير	ديسمبر	المحطة	الأقليم
٧٧٢	٨٠٤	٧٨٠	٨٣٨	٧٩٥	٧٣٤	٧٤٨	٧٢١	٧٣٤	٨١٢	٨١٦	٨١٦	٨٠٢	٧٣٧	٧٩٥	٧٠٨	٧٠٨	عدن	السهول الساحلية
٧٤٤	٧٩٠	٧٦٦	٨٢٤	٧٨٠	٧١٢	٧٣٤	٦٩٤	٧٠٧	٧٨٩	٨٠٢	٨٠٢	٧٦٢	٦٨٤	٧٠٨	٦٥٠	٦٩٤	الحديدة	
٧٩٥	٨٣٣	٨٠٩	٨٩٦	٧٩٥	٧٣٠	٨٠٢	٧٤٨	٦٣٩	٨٤٨	٨٧٠	٨٩٨	٧٧٥	٧٧١	٨٠٩	٧٣٧	٧٦٦	الريان	
٧٧٠	٨٠٩	٧٨٠	٨٥٣	٧٩٥	٧٢٥	٧٦٢	٧٢١	٦٩٤	٨١٦	٨٣٠	٨٤٣	٧٧٥	٧٢٧	٧٦٦	٦٩٤	٧٢٣	المعدل	
٨٢٠	٨٦٢	٨٤٢	٩١٨	٨٢٦	٧٦١	٧٨٠	٧٣٧	٧٦٦	٨٦٧	٨٦٧	٨٨١	٨٥٣	٧٩١	٨٥٧	٧٦٥	٧٥٠	تعز	المرتفعات الجبلية
٧٠٨	٧١٩	٦٢٧	٧٥٠	٧٨٠	٧٧٦	٧٣٧	٧٩٥	٧٩٥	٧٥٦	٨٠٩	٧٩٥	٦٦٥	٥٨١	٦١٢	٥٣٦	٥٩٧	حجة	
٧٩٨	٨٢١	٧٨٠	٨٨٧	٧٩٦	٧٣٢	٦٩٤	٧٠٨	٧٩٥	٨٥٣	٨٢٤	٨٨١	٨٥٣	٧٨٥	٨٧٢	٧٥٠	٧٣٤	إب	
٧٧٦	٨٠١	٧٥٠	٨٥٧	٧٩٦	٧٥٦	٧٣٧	٧٥١	٧٨٠	٨٢٨	٨٣٨	٨٥٣	٧٩٥	٧١٩	٧٨٠	٦٨٩	٦٨٩	المعدل	
٩٠٤	٩٣٨	٨٧٢	٩٧٩	٩٦٤	٨٧٧	٨٦٧	٨٠٩	٩٥٤	٩٤٩	٩٨٣	٩٥٤	٩١٠	٨٥٢	٩١٨	٨٢٦	٨١١	صنعاء	المنخفضات الوسطى
٨٥٨	٨٧٧	٨٢٦	٩٣٣	٨٧٢	٨٣٨	٨٠٩	٧٥١	٩٥٤	٩٢٥	١٠٢٦	٨٨١	٨٦٧	٧٩١	٨٤٢	٧٦٥	٧٦٥	صعدة	
٨٦٤	٨٧٧	٨٢٦	٩٠٣	٩٠٣	٨٣٨	٨٢٤	٧٩٥	٨٩٦	٩٠١	٩١٠	٩١٠	٨٨١	٨٤٢	٩٠٣	٨٢٦	٧٩٦	ذمار	
٨٧٥	٨٩٨	٨٤٢	٩٣٣	٩١٨	٨٥٣	٨٣٨	٧٨٠	٩٣٩	٩٢٠	٩٦٨	٩١٠	٨٨١	٨٣١	٨٨٧	٨١١	٧٩٦	المعدل	
٨٤٧	٨٤٨	٨٠٢	٨٧٠	٨٧٠	٨٨٠	٨٧٠	٨٥٧	٩١١	٩١١	٩٧٩	٨٩٨	٨٥٧	٧٤٨	٨٠٢	٧٢١	٧٢١	مأرب	الهضبة الشرقية
٧٩١	٧٧١	٧٠٧	٧٧٥	٨٣٠	٨٣٤	٨٥٧	٨١٦	٨٣٠	٨٧٥	٩١١	٨٨٤	٨٣٠	٦٨٤	٧٦٢	٦٥٣	٦٣٩	سينون	
٨٢٤	٨١٦	٧٦٢	٨٣٠	٨٥٧	٨٦١	٨٧٠	٨٤٣	٨٧٠	٨٩٨	٩٥٢	٨٩٨	٨٤٣	٧٢١	٧٨٩	٦٩٤	٦٨٠	المعدل	
٨١٠	٨٣١	٧٨٥	٨٧٠	٨٣٨	٧٩٤	٧٩٥	٧٦٨	٨١٨	٨٦٣	٨٩٢	٨٧٤	٨٢٣	٧٥١	٨٠٧	٧٢٢	٧٢٥	معدل الجمهورية	

المصدر: اعتمادا على الجدول (١) والمعادلة الآتية: الطاقة الكهربائية الناتجة من المتر المربع من الألواح الشمسية = معدل الطاقة الشمسية بالواط (جدول ١٨) * كفاءة اللوح الشمسي ١٧% * (٩٠% في إقليم المرتفعات الجبلية والمنخفضات الوسطى شتاءً و ٨٥% صيفا كونها متوسطة الحرارة ، أما إقليم السهول الساحلية تضرب في ٨٠% صيفا كونها حارة وفي ٨٥% في الشتاء كونها متوسطة الحرارة ، وفي الإقليم الصحراوي تضرب في ٨٠% باعتبارها حار طوال العام) .



المصدر: الباحث اعتماداً على الجدول (٢٠)

أما التوزيع الشهري لمعدل الطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الطاقة في صنعاء تتراوح بين ٨٠٩ واط/م^٢/يوم في يوليو وبين ٩٨٣ واط/م^٢/يوم في شهر مايو ، وعليه يكون المعدل السنوي لها ٩٠٤ واط/م^٢/يوم (خريطة ١٤)، بينما نجد معدل الطاقة في ذمار يتراوح بين ٧٩٥ واط/م^٢/يوم في شهر يوليو وبين ٩١٠ واط/م^٢/يوم في شهري أبريل ومايو ، وعليه يبلغ المعدل السنوي لها ٨٦٤ واط/م^٢/يوم ، بينما نجد معدل الطاقة في صعده يتراوح بين ٧٥١ واط/م^٢/يوم في شهر يوليو وبين ١٠٢٦ واط/م^٢/يوم في شهر مايو ، أما معدلها السنوي فيكون ٨٥٨ واط/م^٢/يوم.

٢- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم الهضبة الشرقية :

يتميز إقليم الهضبة الشرقية بأعلى معدل إشعاع شمسي كما ذكرنا سابقا ولكن هذا الارتفاع جعل درجة الحرارة مرتفعة وكون الخلايا الشمسية تتأثر قدرتها الإنتاجية للكهرباء بالحرارة فقد تدنت إلى المرتبة الثانية من حيث إنتاج الطاقة المتوقع، ويلاحظ من الجدول (٢٠) أن المعدل السنوي له ٨٢٤ واط/م^٢/يوم ، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٧٢١ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٨٩٨ واط/م^٢/يوم ، أما في فصل الصيف فيكون ٨٦١ واط/م^٢/يوم ، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٨١٦ واط/م^٢/يوم.

أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في مأرب في فصل الشتاء ٧٤٨ واط/م^٢/يوم ، وفي فصل الربيع ٩١١ واط/م^٢/يوم ، وفي فصل الصيف ٨٨٠ واط/م^٢/يوم ، وفي فصل الخريف ٨٤٨ واط/م^٢/يوم، بينما يكون معدلها في سيئون في فصل الشتاء ٦٨٤ واط/م^٢/يوم، وفي الربيع ٨٧٥ واط/م^٢/يوم، وفي الصيف ٨٣٤ واط/م^٢/يوم، وفي الخريف ٧٧١ واط/م^٢/يوم.

أما التوزيع الشهري لمعدل الطاقة فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل الطاقة في مأرب يتراوح بين ٧٢١ واط/م^٢/يوم في شهري ديسمبر ويناير وبين ٩٧٩ واط/م^٢/يوم في شهر مايو ، وعليه يكون المعدل السنوي للطاقة الكهربائية في مأرب ٨٤٧ واط/م^٢/يوم (خريطة ١٤)، بينما نجد معدل الطاقة في سيئون يتراوح بين ٦٣٩ واط/م^٢/يوم في شهر ديسمبر وبين ٩١١ واط/م^٢/يوم في شهر مايو ، ويبلغ المعدل السنوي ٧٩١ واط/م^٢/يوم.

٣- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم المرتفعات الجبلية:

يتضح من (الجدول ٢٠) أن معدل الطاقة الكهربائية السنوي في إقليم المرتفعات الجبلية يكون ٧٧٦ واط/م^٢/يوم، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٧١٩ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٨٢٨ واط/م^٢/يوم، أما في فصل الصيف فيبلغ المعدل ٧٥٦ واط/م^٢/يوم، ويكون المعدل في الخريف إلى ٨٠١ واط/م^٢/يوم.

أما على مستوى المحطات فيتباين معدلها الفصلي حيث يكون في تعز في فصل الشتاء ٧٩١ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الربيع ٨٦٧ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الصيف ٧٦١ واط/م^٢/يوم، وفي فصل الخريف ٨٦٢ واط/م^٢/يوم، بينما يكون معدلها في إب في فصل الشتاء ٧٨٥ واط/م^٢/يوم، وفي الربيع ١٩٥٢.٨ واط/م^٢/يوم، وفي الصيف ٧٣٢ واط/م^٢/يوم، وفي الخريف ٨٢١ واط/م^٢/يوم، بينما يكون معدلها في حجة في الشتاء ٥٨١ واط/م^٢/يوم، وفي الربيع ٧٥٦ واط/م^٢/يوم، وفي الصيف ٧٧٦ واط/م^٢/يوم، وفي الخريف ٧١٩ واط/م^٢/يوم.

أما التوزيع الشهري للمعدل فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن المعدل في تعز يتراوح بين ٧٥٠ واط/م^٢/يوم في شهر ديسمبر وبين ٩١٨ واط/م^٢/يوم في شهر أكتوبر، وعليه يكون المعدل السنوي ٨٢٠ واط/م^٢/يوم (خريطة ١٤)، بينما في محطة إب تتراوح معدلات الطاقة بين ٦٩٤ واط/م^٢/يوم في شهر أغسطس وبين ٨٨٧ واط/م^٢/يوم في شهر أكتوبر، ويبلغ المعدل السنوي للطاقة ٧٩٨ واط/م^٢/يوم، بينما في حجة يتراوح معدل الطاقة الكهربائية بين ٥٣٦ واط/م^٢/يوم في شهر يناير وبين ٨٠٩ واط/م^٢/يوم في شهر، أما معدلها السنوي فيكون ٧٠٨ واط/م^٢/يوم، ومن خلال ما سبق نجد انخفاض كمية الطاقة الكهربائية في حجة يرجع إلى كثرة تغيم السماء وكثرة العوالق بالجو، وعلى ذلك تقل كمية الطاقة الممكن إنتاجها في هذا الإقليم وإن كانت لا تزال أكبر من الدول الأوروبية التي تنتج كميات كبيرة من احتياجاتها الكهربائية عبر هذا النوع من المصادر .

٤- إنتاج الكهرباء المتوقع في إقليم السهول الساحلية:

يتضح من خلال (الجدول ٢٠) أن معدل الطاقة الكهربائية السنوي في إقليم السهول الساحلية يبلغ ٧٧٠ واط/م^٢/يوم، أما معدله الفصلي فيبلغ في الشتاء ٧٢٧ واط/م^٢/يوم، أما في

الربيع نتيجة لتعامد أشعة الشمس على البلاد يرتفع معدل الطاقة ليلبلغ ٨١٦ واط/م^٢/يوم ، أما في فصل الصيف فينخفض المعدل إلى ٧٢٥ واط/م^٢/يوم نتيجة لتشكيل السحب وسقوط الأمطار الصيفية، أما فصل الخريف فيرتفع المعدل إلى ٨٠٩ واط/م^٢/يوم.

أما في السهل الغربي من هذا الإقليم فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في الحديدة في فصل الشتاء ٦٨٤ واط/م^٢/يوم ، وفي فصل الربيع ٧٨٩ واط/م^٢/يوم ، وفي فصل الصيف ٧١٢ واط/م^٢/يوم ، وفي فصل الخريف ٧٩٠ واط/م^٢/يوم.

ويتباين معدل الطاقة في السهل الجنوبي من هذا الإقليم أيضا، فيكون في عدن في فصل الشتاء ٧٣٧ واط/م^٢/يوم ، وفي الربيع ٨١٢ واط/م^٢/يوم ، وفي الصيف ٧٣٤ واط/م^٢/يوم، وفي الخريف ٨٠٤ واط/م^٢/يوم ، بينما يكون معدلها في الريان في الشتاء ٧٧١ واط/م^٢/يوم، وفي الربيع ٨٤٨ واط/م^٢/يوم، وفي الصيف ٧٣٠ واط/م^٢/يوم، وفي الخريف ٨٣٣ واط/م^٢/يوم .

أما التوزيع الشهري لمعدل الطاقة فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدلها في الحديدة يتراوح بين ٦٥٠ واط/م^٢/يوم في شهر يناير وبين ٨٢٤ واط/م^٢/يوم في شهر أكتوبر، وعليه يكون معدلها السنوي في الحديدة ٧٤٤ واط/م^٢/يوم.

أما في السهل الجنوبي من هذا الإقليم فنجد معدلها في عدن يتراوح بين ٧٠٨ واط/م^٢/يوم في شهري ديسمبر ويناير وبين ٨٣٨ واط/م^٢/يوم في شهر أكتوبر، أما معدلها السنوي فهو ٧٧٢ واط/م^٢/يوم، بينما يتراوح معدلها في الريان بين ٦٣٩ واط/م^٢/يوم في شهر يونيو وبين ٨٩٨ واط/م^٢/يوم في شهر أبريل، وعليه يكون معدلها السنوي ٧٩٥ واط/م^٢/يوم.

ومما سبق يمكن أن نستنتج أن الأقاليم التضاريسية كلها ملائمة وذات مؤشرا جيد في إمكانية توليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي نتيجة لارتفاع كمية الإشعاع في كل الأقاليم لوقوع الجمهورية اليمنية ضمن المنطقة شبه المدارية الشمالية وفي الشتاء تقل كمية الإشعاع نتيجة لانخفاض زاوية الإشعاع وقصر النهار^(١) ولكن نتيجة لكونها منطقة جافة وشبه جافة فهي تحظى بكمية كبيرة من الإشعاع، أما فصل الربيع فيعتبر من أكثر فصول السنة تلقياً

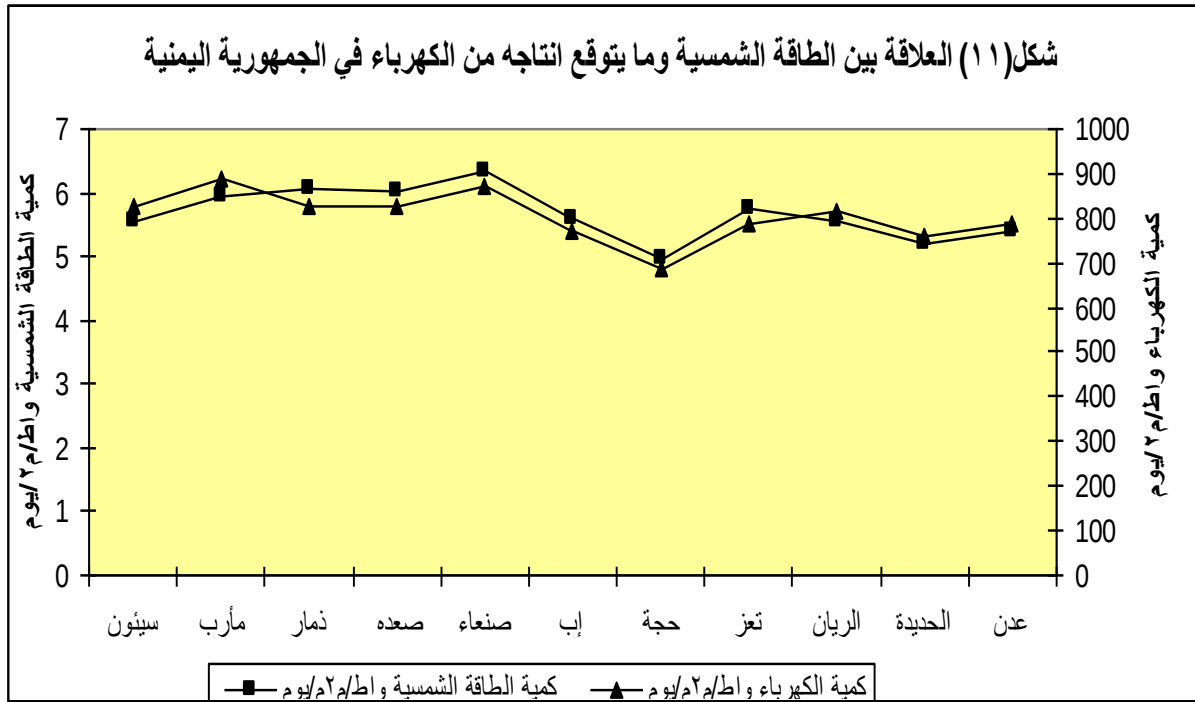
(١) السهمي، ناجي صالح، مصدر سابق، ص ٤٤ .

للإشعاع الشمسي بسبب تعامد أشعة الشمس على سطح الجمهورية أثناء مسيرتها نحو مدار السرطان في النصف الثاني من هذا الفصل، فضلا عن صفاء السماء وقلة الغيوم^(١) ولهذا نجد المعدل العام لهذا الفصل في جميع المحطات يتراوح بين ٦٥٥.٤ - ٧١٣.٢ ميغا جول/م^٢، أي بمعدل ٦٨٠.٦ ميغا جول/م^٢/شهر.

أما في الصيف فتتعامد الشمس على الجمهورية اليمنية في منتصف هذا الفصل ومع ذلك يحدث أكبر تباين لكمية الإشعاع الشمسي، وذلك لكون السماء تكون ملبدة بالغيوم بدرجات متباينة في جميع المحطات مما ينجم عنه زيادة الفروق في كمية الإشعاع الشمسي^(٢) ونتيجة لكون المناطق الساحلية تتصف بسماء صافية نوعا ما فترتفع درجة حرارتها وبذلك تحتاج إلى الكهرباء بشكل أكبر من بقية الفصول لتشغيل مكيفات الهواء ولكن هذا الارتفاع في كمية الإشعاع له دور ايجابي في الاستفادة منه لتوليد كميات أكبر من الكهرباء بالألواح الشمسية لمواجهة زيادة الطلب على الكهرباء، أما في الخريف فهناك تقارب في كمية الإشعاع الشمسي لهذا الفصل في جميع المحطات عدا محطة حجة، وعليه يمكن توليد الكهرباء في جميع الأقاليم نتيجة لكون السماء في هذا الفصل أكثر صحوًا من بقية الفصول. أما العلاقة بين معدل الطاقة الشمسية ومعدل الطاقة الكهربائية الناتجة عنها بالخلايا الشمسية فهناك علاقة ايجابية (أنظر الشكل ١١) ذات دلالة إحصائية عند مستوى ٠.٠٥ حيث بلغ معامل ارتباط بيرسون بينهما ٠.١٣ لمستوى دلالة ٠.٠٠ وهي أكبر من ٠.٠٥ أي أنه كلما زاد معدل الطاقة الشمسية ارتفعت معدلات الطاقة الكهربائية الممكن إنتاجها والعكس.

(١) علي، عبد الله حيدر سالم، خصائص مناخ اليمن السياحي، مصدر سابق، ص ٢٢.

(٢) السهمي، ناجي صالح، مصدر سابق، ص ٤٤.



المصدر: عمل الباحث اعتماداً على الجدولين رقم ١٨ و ٢٠.

وعليه وبناء على أن استهلاك المنزل في المناطق الريفية يستهلك حوالي ٢ كيلو واط ساعة للإضاءة وتشغيل التلفاز والراديو فإن المنزل يحتاج إلى ٣ متر مربع من الألواح الشمسية بمساحة تقدر بـ ٢٣.٦ م^٢ كون اللوح الشمسي يحتوي على فواصل بين الخلايا وإطار محيط باللوح مما يجعل مساحة المتر المربع من الألواح ١.٢ م^٢، أما تسخين المياه فيمكنه استخدام السخانات الشمسية، أما بالنسبة لتكلفة هذا المشروع فتكون بحسب الأدوات اللازمة للتشغيل والتي تتكون من ٣ ألواح خلايا شمسية ذات كفاءة ١٧% وسعر اللوح تكون حسب قدرته الإنتاجية وبالتالي تكون ٣ دولار سعر الواط × ١٧٠ كفاءته اللوح الشمسي (بإجمالي ٥١٠ دولار) وبطارية سعتها التخزينية ٣٠٠ أمبير ويمكنها الخزن لعدة أيام حتى تعمل على تزويد المنزل بالكهرباء في الأيام الغائمة، ولكن خزن الطاقة في البطاريات يفقدها جزء من الطاقة، وعليه يحتاج المنزل إلى ٨٥ × ٨١٠ / ٢٠٠٠ % كفاءة خزن البطارية لنصل إلى أن المنزل يحتاج إلى ٢٥ م^٢ من الألواح الشمسية.

أما إذا أردنا إنشاء محطة توليد كهرباء بالخلايا الفوتوفولطية لتزويد قرية تتكون من ١٥٠ منزل فإننا نحتاج إلى ٢٤٥٠ م^٢ من الألواح الخلايا الشمسية وما تحتاجه من أدوات كبطاريات الخزن وغيرها لتلبية متطلبات هذه القرية من الإنارة وتشغيل الأدوات الضرورية، وعليه

ستحتاج هذه المحطة إلى مساحة ٢٥٤٠ م^٢ للسبب المذكور سابقاً، إضافة إلى مساحة لبناء مقر لوحدة التحكم بهذه المحطة، وبالنظر إلى التكلفة نلاحظها كبيرة ولكن إن نظرنا إلى المدى البعيد نجدها اقتصادية حيث يمكنها أن تستمر في إنتاج الكهرباء لمدة تتراوح بين ٢٥-٣٠ سنة، وتتميز أيضاً بأنها لا تحتاج إلى وقود وكل ما تحتاجه بعض العمال للإشراف عليها وعلى التوزيع والصيانة وتنظيفها من الغبار، وعلية فإن تكلفة توليد الطاقة عبر الألواح الشمسية عادةً ما تكون أقل من تكلفة توليد الطاقة من مولدات الديزل على المدى المتوسط والبعيد، وهذا يعني أنه يمكن لتكنولوجيا الألواح الضوئية أن تشكل بديلاً فعالاً من حيث التكلفة للمولدات في المناطق النائية.

أما في حالة عمل محطة تتكون من ٢٤٥٠ م^٢ من الألواح الشمسية في مدينة فإنها تكون مكلفة جداً كوننا نحتاج إلى ٢٥٤٠ م^٢ من الأرض، وسعر المتر المربع في المدن مرتفع بدرجة كبيرة عنها في الريف، كما يتباين سعر المتر بين المدن بحسب كونها رئيسية أو ثانوية، كما يتباين سعر المتر في إطار المدينة الواحدة فمثلاً يكون سعر المتر المربع في منطقة حده بمدينة صنعاء أعلى من بقية المناطق، ونتيجة لكون المحطة تحتاج إلى مساحة أرض تتناسب مع أدائها اللازمة للعمل وبحسب حجم المحطة، فإن سعر المتر الربع في هذه المناطق يزيد من صعوبة إنشاء مثل هذه المحطات في هذه الأماكن، على العكس من ذلك في المناطق الصحراوية التي تكون مساحة الأرض مجانية أو قليلة التكلفة كون معظمها مناطق جرداء شاسعة، وعلى ذلك يفضل إنشاء محطة توليد كبرى ترتبط بالمنظومة الكهربائية الوطنية كون الظروف ملائمة (مساحة، كمية إشعاع، صفاء السماء) وكل ما تحتاجه هو التمويل لشراء وتركيب معدات التوليد، ويمكن أن نستفيد من تجارب الدول ذات السبق في هذا المجال خصوصاً فيما يتعلق بالبحث عن شركة أجنبية ذات خبرة للمساهمة في تمويل وتنفيذ بناء هذا المشروع.

المبحث الثاني: التحليل الجغرافي لتوليد طاقة الكهربائية من الرياح:-

نتيجة لتباين سرعة الرياح في أنحاء الجمهورية اليمنية بحسب الأقاليم الجغرافية تبعاً للفصول والأشهر خلال العام فإن لهذا التباين تأثير على كمية توليد طاقة الرياح فهناك علاقة طردية بين سرعة الرياح وكمية الطاقة المنتجة أو الممكن إنتاجها، وتوجد عددا من المعادلات الرياضية لاستخراج كمية طاقة الرياح المولدة من المراوح وحسب سرعة الهواء وكثافته، ومنها المعادلة الآتية^(١):

$$\text{طاقة الرياح} = \frac{1}{2} \times \text{كثافة الهواء}^{(*)} \times (\text{سرعة الرياح})^3$$

ولتطبيق ذلك فقد تم جمع بيانات معدلات سرعة الرياح الشهرية لعدد ١٢ محطة رصد على ارتفاع ١٠م وكما هو موضح في الجدول (١٧) ونتيجة لعدم توفر نسبة التكرار لسرعة الرياح المتباينة في اليوم فإن المعدل الشهري سيستخدم في المعادلة الرياضية الموضحة أعلاه للحصول على ما يمكن توليده من طاقة (واط/م/ساعة) من مروحة واحدة، وكانت النتائج كما في (الجدول ٢١ والخريطتين ١٥ و ١٦)، ومن خلالها نلاحظ أن هنالك تباين لكمية الطاقة يتوافق مع تباين سرعات الرياح، وبما أن حركة الرياح في الإقليم الساحلي أسرع من إقليم المرتفعات الجبلية فإن طاقة الرياح فيها تكون أكبر، لذلك سيتناول هذا الفصل التوزيع الجغرافي لطاقة الرياح بحسب تباينها المكاني والشهري والفصلي والسنوي بهدف تحديد المناطق المناسبة لإنتاج الطاقة بشكل اقتصادي وبحسب الأهمية:

١- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم السهول الساحلية:

تتباين كمية طاقة الرياح التي يمكن توليدها من وقت لآخر، ويتضح من خلال (الجدول ٢١) أن إقليم السهول الساحلية يكون أكثر أقاليم الجمهورية اليمنية من حيث إمكانية توليد طاقة الرياح فيبلغ المعدل السنوي له ١٨.٣ واط/م/٣ ساعة (خريطة ١٥)، أما معدله الفصلي فيبلغ في فصل الصيف ٢٣٧ واط/م/٣ ساعة، وينخفض هذا المعدل في فصل الشتاء إلى ٨٩.٧ واط/م/٣ ساعة، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٧٧.٣ واط/م/٣ ساعة، ويصل المعدل في فصل الربيع إلى ٦٩ واط/م/٣ ساعة (الجدول ٢١).

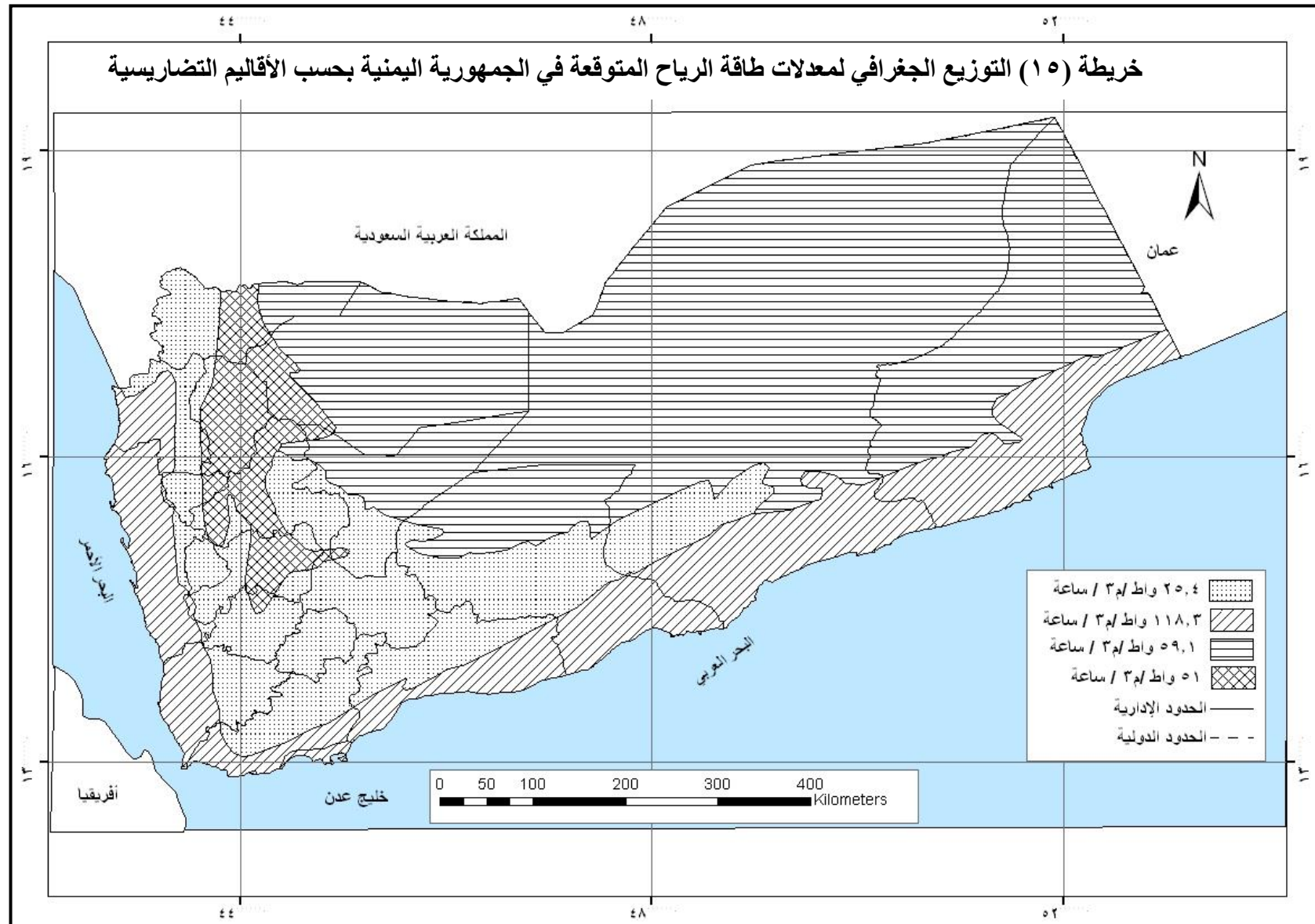
^(١) Oliver, John, Climatology: Selected Application, Edward Arnold, London, ١٩٨١, p.٩٩.

^(*) كثافة الهواء = ١.٢٩ كيلو غرام/متر.

جدول (٢١) التوزيع الجغرافي لمعدلات طاقة الرياح في الجمهورية اليمنية (واط/م³/ساعة)

المعدل	الخريف				الصيف				الربيع				الشتاء				الفصل	
	المعدل	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	المعدل	أغسطس	يوليو	يونيو	المعدل	مايو	أبريل	مارس	المعدل	فبراير	يناير	ديسمبر	المحطة	الإقليم
٥٨	٤٨.٤	٥٥.٥	٤٩.٩	٣٩.٩	٤٣	٣٨.٢	٤٦.١	٤٤.٧	٦٥.٠٣	٤٣.٩	٧١.٧	٧٩.٥	٧٥.٥	٨٠	٧٤.١	٧٢.٣	الحديدة	السهول الساحلية
٥١.٢	٤٤.٤	٤٨	٤٥.٢	٣٩.٩	٥٣.٧	٣٥.٧	٦١.٣	٦٤.٢	٥٠.٥	٤٧.٩	٥١.٨	٥١.٩	٥٦.٣	٥٥.٦	٥٨.١	٥٥.٣	الريان	
٧١.٤	٥٧.٤	٦٣.٧	٦١.٤	٤٧.٢	٧٨.٨	١٠٩.٨	٧٥	٥١.٥	٥٩.٧	٣٢.٧	٥٦.٧	٨٩.٧	٨٩.٧	٩١	٨٠	٩٨.١	عدن	
٢٩٢.٤	١٥٩.١	١٣١.٨	٧١.٨	٢٧٣.٧	٧٧٢.٦	٧٦٤.٢	٩٨١.١	٥٧٢.٥	١٠٠.٨	١٣٧.٤	٦٦.٢	٩٨.٧	١٣٧.١	١٣٤.٩	١٣١.٣	١٤٥.٢	سقطرى	
١١٨.٣	٧٧.٣	٧٤.٨	٥٧.١	١٠٠.٢	٢٣٧	٢٣٧	٢٩٠.٩	١٨٣.٢	٦٩.٠١	٦٥.٥	٦١.٦	٨٠	٨٩.٧	٩٠.٤	٨٥.٩	٩٢.٧	المعدل	
٤٠.٦	٣٦.٣	٢٨.٧	٣٢.٦	٤٧.٥	٤٨.٤	٤٨.٤	٥٠.٦	٤٦.٢	٣٥.٧	٣٤.٩	٣٤.٦	٣٧.٦	٤١.٩	٤٠.٧	٤٩.٣	٣٥.٨	صنعاء	المنخفضات الوسطى
٤٦.١	٣٩.٣	٢٧.٢	٤٥.٦	٤٥.١	٤٦.٢	٤٣.٦	٤٥.١	٤٩.٩	٥١.٢	٤٧.٣	٤٩.٨	٥٦.٥	٤٧.٨	٥٧	٥٠.٦	٣٥.٩	صعدة	
٦٦.٤	٦٤.٩	٥٠.١	٦٨.٤	٧٦.٢	٨١.٨	١١٢.٤	٥٤.٨	٧٨.٢	٦١.٥	٦٠.٢	٥٩.٧	٦٤.٧	٥٧.٢	٦٦.٣	٥٦.٧	٤٨.٦	ذمار	
٥١	٤٦.٨	٣٥.٣	٤٨.٩	٥٦.٤	٥٨.٨	٦٨.١	٥٠.٢	٥٨.١	٤٩.٥	٤٧.٥	٤٨.٠٣	٥٢.٩	٤٩	٥٤.٧	٥٢.٢	٤٠.١	المعدل	
٢٦.٨	٢٢.١	٢٩.٦	١٩.١	١٧.٦	٣٢.١	٣٠.١	٢٨.٩	٣٧.٤	٢٦.٤	١٩.١	٢٩.٧	٣٠.٣	٢٦.٤	٣١.٥	٢٢.٧	٢٥	إب	المرتفعات الجبلية
٣٨.٨	٣٢.٥	٣٨.٦	٢٦.٦	٣٢.٣	٥٣.١	٤٣.٤	٦٥.٢	٥٠.٨	٤٣.٨	٤١.٦	٤٥.١	٤٤.٨	٢٥.٦	٣٢.٨	٢٤.٢	١٩.٧	تعز	
١٠.٧	١١.٧	٩.٥	١٢.٩	١٢.٦	١١.٦	١٠.٣	١١.٣	١٣.٢	١٠.٩	١٠.٥	٩.٧	١٢.٤	٨.٥	٩.٣	٧.٨	٨.٥	حجة	
٢٥.٤	٢٢.١	٢٥.٩	١٩.٥	٢٠.٨	٣٢.٣	٢٧.٩	٣٥.١	٣٣.٨	٢٧	٢٣.٧	٢٨.٢	٢٩.٢	٢٠.٢	٢٤.٥	١٨.٢	١٧.٧	المعدل	
٩٩.٣	٩٨.٣	٦٢.٩	٩٨.٤	١٣٣.٦	١٥١.٩	١٤٦.٤	١٦٨.٤	١٤٠.٩	٩١.٢	١١٢.٥	٧٥.١	٨٥.٩	٥٥.٧	٦٤.١	٥١.٩	٥١	مأرب	الهضبة الشرقية
١٨.٩	١٦.٦	١٤.٥	١٥.١	٢٠.١	٢٣.٩	١٧.٥	٣٠.٤	٢٣.٧	٢١.٥	٢٥	١٩	٢٠.٥	١٣.٦	١٦.٤	١٤.١	١٠.٢	سينون	
٥٩.١	٥٧.٤	٣٨.٧	٥٦.٨	٧٦.٩	٨٧.٩	٨٢	٩٩.٤	٨٢.٣	٥٦.٣	٦٨.٨	٤٧.١	٥٣.٢	٣٤.٦	٤٠.٣	٣٣	٣٠.٦	المعدل	
٦٨.٤	٥٢.٦	٤٦.٧	٤٥.٦	٦٥.٥	١١٦.٥	١١٦.٧	١٣٤.٩	٩٧.٨	٥١.٥	٥١.١	٤٧.٤	٥٦	٥٢.٩	٥٦.٦	٥١.٧	٥٠.٥	المعدل	المعدل

المصدر: من عمل الباحث اعتماد على الملحق (٦)



المصدر: الباحث اعتماداً على الجدول (٢١)

وبمجموع سنوي ٤١٦٥.٦ كيلو واط/م^٣، في حين يتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الصيف ٢٠٩٨.٥ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الشتاء ٧٨٣.١ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ٦٧٣.٧ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ٦١٠.٢ كيلو واط/م^٣.

أما طاقة الرياح في السهل الغربي من هذا الإقليم فيتباين معدلها الفصلي حيث يكون في الحديدة في فصل الشتاء ٧٥.٥ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الربيع ٦٥ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الخريف ٤٨.٤ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الصيف ٤٣ واط/م^٣/ساعة، في حين تتباين كمياتها الفصلية فتكون كمية الطاقة في الحديدة في فصل الشتاء ١٦٤.٦ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ١٤٣.٥ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ١٠٥.٨ كيلو واط/م^٣ وفي فصل الصيف ٩٤.٩ كيلو واط/م^٣.

وتتباين طاقة الرياح في السهل الجنوبي من هذا الإقليم أيضا، فتكون كميتها في عدن في فصل الشتاء ١٩٥.٨ كيلو واط/م^٣ وبمعدل ٨٩.٧ واط/م^٣/ساعة، وفي الصيف ١٧٤.٦ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٧٨.٨ واط/م^٣/ساعة، وفي الربيع ١٣١.٨ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٥٩.٧ واط/م^٣/ساعة، وفي الخريف ١٢٥.٦ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٥٧.٤ واط/م^٣/ساعة، بينما تكون كميتها في محطة الريان في الشتاء ١٢٣.١ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٥٦.٣ واط/م^٣/ساعة، وفي الصيف ١١٨.٤ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٥٣.٧ واط/م^٣/ساعة، وفي الربيع ١١١.٥ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٥٠.٥ واط/م^٣/ساعة، وفي الخريف ٩٦.٩ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٤٤.٤ واط/م^٣/ساعة، في حين تكون كميتها في جزيرة سقطرى في الصيف ١٧١٠.٧ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٧٧٢.٦ واط/م^٣/ساعة، وفي الخريف ٣٤٥.٤ كيلو واط/م^٣ بمعدل ١٥٩.١ واط/م^٣/ساعة، وفي الشتاء ٢٩٩.٦ كيلو واط/م^٣ بمعدل ١٣٧.١ واط/م^٣/ساعة، وفي الربيع ٢٢٣.٣ كيلو واط/م^٣ بمعدل ١٠٠.٨ واط/م^٣/ساعة، ومن خلال ذلك تكون جزيرة سقطرى أعلى مناطق السهول الساحلية من حيث إمكانية توليد طاقة الرياح حيث يبلغ مجموعها السنوي ٢٥٧٩ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٢٩٢.٤ واط/م^٣/ساعة.

أما التوزيع الشهري لطاقة الرياح فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل طاقة الرياح في محطة الحديدة تتراوح بين ٣٨.٢ واط/م^٣/ساعة في شهر أغسطس وبكمية تبلغ ٢٨.٤ كيلو

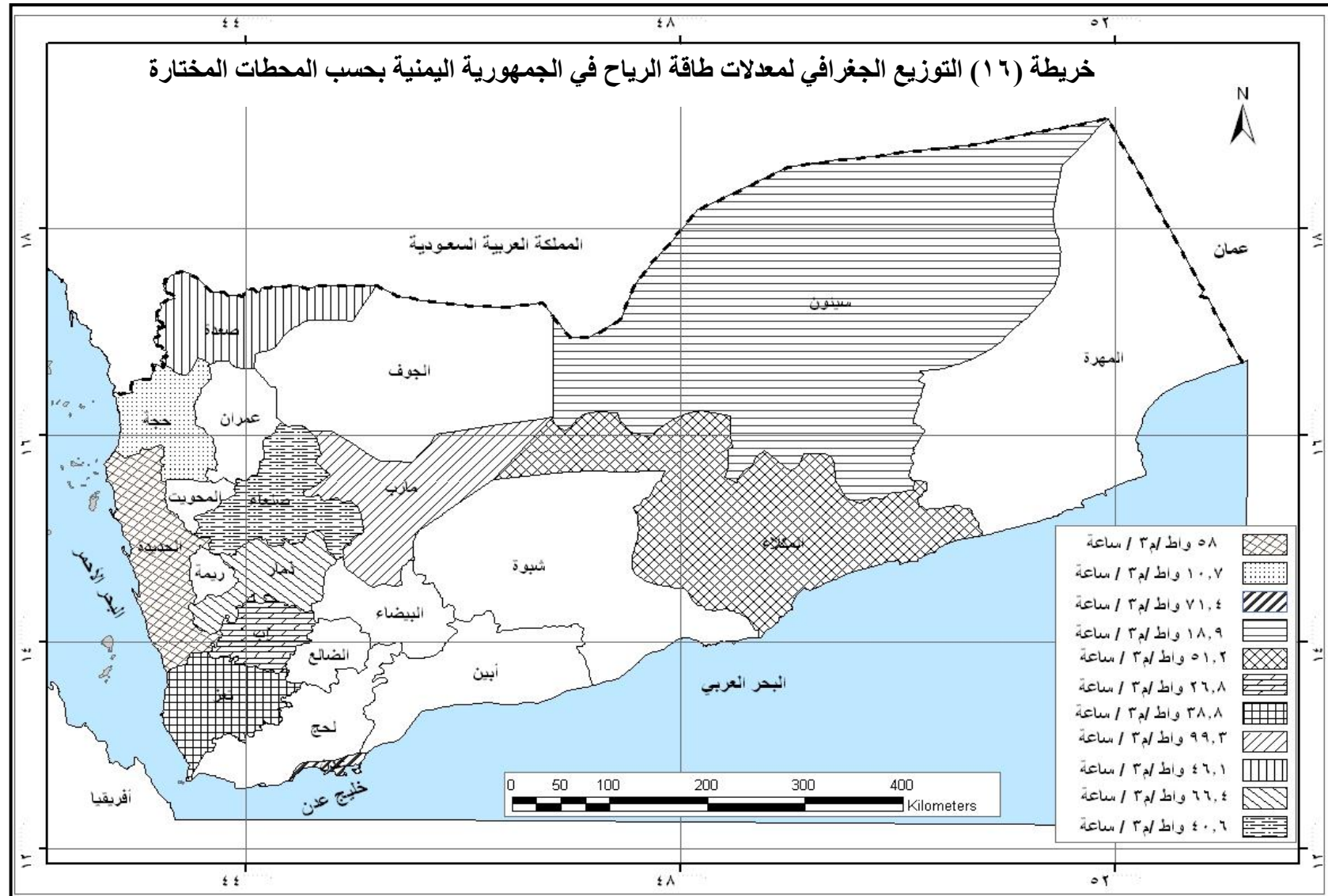
واط/م^٣ (*) وهذه تمثل أقل كمية طاقة وبين ٧٩.٥ واط/م^٣/ساعة في شهر مارس بكمية تبلغ ٥٩.٢ كيلو واط/م^٣ وتمثل أعلى كمية طاقة، وعليه يكون المعدل السنوي لطاقة الرياح في محطة الحديد ٥٨ واط/م^٣/ساعة وبكمية تبلغ ٥٠٨.٨ كيلو واط(خريطة ١٦).

أما في السهل الجنوبي من هذا الإقليم فنجد أن طاقة الرياح في عدن التي تمثل نقطة الالتقاء بين السهل الغربي والجنوبي تتراوح بين ٣٢.٧ واط/م^٣/ساعة في شهر مايو وبين ١٠٩.٨ واط/م^٣/ساعة أغسطس، وبكمية تتراوح بين ٢٤.٣ كيلو واط/م^٣ وبين ٨١.٧ كيلو واط/م^٣ لنفس الشهرين على التوالي، أما المعدل السنوي لطاقة الرياح فهو ٧١.٤ واط/م^٣/ساعة وبكمية ٦٢٧.٨ كيلو واط/م^٣، بينما تتراوح معدل طاقة الرياح في محطة الريان بين ٣٥.٧ واط/م^٣/ساعة وبكمية شهرية تبلغ ٢٦.٦ كيلو واط/م^٣ في شهر أغسطس وبين ٦٤.٢ واط/م^٣/ساعة بكمية شهرية تبلغ ٤٦.٢ كيلو واط/م^٣ في شهر يونيو، وعليه يكون المعدل السنوي لطاقة الرياح ٥١.٢ واط/م^٣/ساعة وبكمية شهرية تبلغ ٤٤٩.٨ كيلو واط/م^٣، وفي محطة سقطرى والتي تمثل أيضا الجزر اليمنية يتراوح معدل طاقة الرياح بين ٦٦.٢ واط/م^٣/ساعة في ابريل وبين ٩٨١.١ واط/م^٣/ساعة في يوليو وبكمية شهرية تتراوح بين ٤٧.٧ كيلو واط/م^٣ وبين ٧٢٩.٩ كيلو واط/م^٣ لنفس الشهرين على التوالي، ويكون المعدل السنوي لطاقة الرياح في المحطة ٢٩٢.٤ واط/م^٣/ساعة وبكمية تبلغ ٢٥٧٩ كيلو واط/م^٣.

ففي جزيرة سقطرى مثلا الواقعة في جنوب الجمهورية داخل المحيط الهندي نجد أعلى معدل سنوي لطاقة الرياح ويبلغ ٢٩٢.٤ واط/م^٣/ساعة.

وبلاحظ من خلال ما سبق أن ارتفاع كمية طاقة الرياح في هذا الإقليم يرجع إلى تقارب المنظومات الضغطية الناتج عن اختلاف التسخين بين اليابس والماء الذي يؤدي إلى هبوب نسيم البر والبحر بينهما، بالإضافة إلى قلة تأثير عامل الاحتكاك على حركة الرياح وبذلك تزداد طاقة الرياح طردياً مع زيادة سرعتها.

(*) لتحويل من واط/م^٣/ساعة إلى كيلو واط/م^٣/شهر نضرب المعدل في ٢٤ ثم يقسم على ١٠٠٠ يعطي كيلو واط/م^٣/يوم ثم يضرب في عدد أيام الشهر يعطي الكمية الشهرية كيلو واط/م^٣/شهر.



المصدر: عمل الباحث اعتماداً على الجدول (٢١)

٢- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم المنخفضات الوسطى:

تتباين كمية طاقة الرياح التي يمكن توليدها في هذا الإقليم من وقت لآخر، ويتضح من الجدول (٢١) أن إقليم المنخفضات الوسطى يكون في المرتبة الثانية من حيث إمكانية توليد طاقة الرياح فيبلغ المعدل السنوي له ٥١ واط/م^٣/ساعة، أما معدله الفصلي فيبلغ في فصل الصيف ٥٨.٨ واط/م^٣/ساعة، وينخفض هذا المعدل في فصل الربيع ليلبلغ ٤٩.٥ واط/م^٣/ساعة، ثم ينخفض المعدل في فصل الشتاء إلى ٤٩ واط/م^٣/ساعة، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٤٦.٨ واط/م^٣/ساعة، أما من حيث كمية الطاقة (أنظر الجدول ٢٢) فيكون مجموعها السنوي ١٣٤٤.٥ كيلو واط/م^٣، في حين يتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الصيف ٣٨٩.٦ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ٣٢٧.٩ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الشتاء ٣٢٠.٢ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ٣٠٦.٩ كيلو واط/م^٣.

أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في صناعاء في فصل الصيف ٤٨.٤ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الشتاء ٤١.٩ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الخريف ٣٦.٣ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الربيع ٣٥.٧ واط/م^٣/ساعة، في حين تتباين كمياتها الفصلية فتكون كمية الطاقة في صناعاء في فصل الصيف ١٠٧ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الشتاء ٩١.٦ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ٧٩.٢ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ٧٨.٩ كيلو واط/م^٣، بينما تكون كميتها في زمار في الصيف ١٨٠.٧ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٨١.٨ واط/م^٣/ساعة، وفي الخريف ١٤١.٩ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٦٤.٩ واط/م^٣/ساعة، وفي الربيع ١٣٥.٩ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٦١.٥ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الشتاء ١٢٤.٥ كيلو واط/م^٣ وبمعدل ٥٧.٢ واط/م^٣/ساعة، بينما تكون كميتها في محطة صعده في الربيع ١١٣.١ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٥١.٢ واط/م^٣/ساعة، في الشتاء ١٠٤ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٤٧.٨ واط/م^٣/ساعة، وفي الصيف ١٠١.٩ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٤٦.٢ واط/م^٣/ساعة، وفي الخريف ٨٦ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٣٩.٣ واط/م^٣/ساعة.

أما التوزيع الشهري لطاقة الرياح فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل طاقة الرياح في محطة صناعاء تتراوح بين ٢٨.٧ واط/م^٣/ساعة في شهر نوفمبر وبكمية تبلغ ٣٦.١ كيلو

واط/م^٣ وهذه تمثل أقل كمية طاقة وبين ٥٠.٦ واط/م^٣/ساعة في شهر يوليو بكمية تبلغ ٣٧.٧ كيلو واط/م^٣ وتمثل أعلى كمية طاقة، وعليه يكون المعدل السنوي لطاقة الرياح في محطة صنعاء ٤٠.٦ واط/م^٣/ساعة وبكمية تبلغ ٣٥٦.٧ كيلو واط/م^٣. بينما نجد طاقة الرياح في محافظة ذمار تتراوح بين ٤٨.٦ واط/م^٣/ساعة في شهر ديسمبر وبكمية تبلغ ٣٦.٢ كيلو واط/م^٣ وتكون أقل كمية للطاقة وبين ١١٢.٤ واط/م^٣/ساعة في شهر أغسطس بكمية تبلغ ٨٣.٦ كيلو واط/م^٣ وهذه أعلى كمية، ويبلغ المعدل السنوي لطاقة الرياح ٦٦.٤ واط/م^٣/ساعة بكمية تبلغ ٥٨٣.١ كيلو واط/م^٣، بينما نجد طاقة الرياح في محافظة صعده تتراوح بين ٢٧.٢ واط/م^٣/ساعة في شهر نوفمبر وبكمية تبلغ ١٩.٦ كيلو واط/م^٣ وتكون أقل كمية للطاقة وبين ٥٦.٥ واط/م^٣/ساعة في شهر مارس بكمية تبلغ ٤٢ كيلو واط/م^٣ وهذه أعلى كمية، أما معدلها السنوي فيكون ٤٦.١ واط/م^٣/ساعة بكمية تبلغ ٤٠٥.١ كيلو واط/م^٣.

ويلاحظ من خلال ما سبق أن ارتفاع كمية طاقة الرياح في هذا الإقليم يرجع إلى تقارب المنظومات الضغطية الناتج عن اختلاف التسخين بين الوادي والجبل الذي يؤدي إلى هبوب نسيم الوادي والجبل بينهما.

٣- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم الهضبة الشرقية:

تتباين كمية طاقة الرياح التي يمكن توليدها في هذا الإقليم من وقت لآخر، ويتضح من خلال (الجدول ٢١) أن إقليم الهضبة الشرقية يكون في المرتبة الثالثة من حيث إمكانية توليد طاقة الرياح فيبلغ المعدل السنوي له ٥٩.١ واط/م^٣/ساعة، أما معدله الفصلي فيبلغ في فصل الصيف ٨٧.٩ واط/م^٣/ساعة، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٥٧.٤ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٥٦.٣ واط/م^٣/ساعة، وفي الشتاء يبلغ المعدل ٣٤.٦ واط/م^٣/ساعة، أما من حيث كمية الطاقة (أنظر الجدول ٢٢) فيكون مجموعها السنوي ١٠٣٩ كيلو واط/م^٣، في حين يتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الصيف ٣٨٨.٣ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ٢٥٠.٨ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ٢٤٩.٣ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الشتاء ١٥٠.٧ كيلو واط/م^٣.

جدول (٢٢) التوزيع الجغرافي لكمية طاقة الرياح الشهرية في الجمهورية اليمنية (كيلو واط/م٣/شهر)

المجموع	فصل الخريف				فصل الصيف				فصل الربيع				فصل الشتاء				الفصل	
	المجموع	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	المجموع	أغسطس	يوليو	يونيو	المجموع	مايو	ابريل	مارس	المجموع	فبراير	يناير	ديسمبر	المحطة	الإقليم
٥٠٨.٨	١٠٥.٨	٤٠	٣٧.١	٢٨.٧	٩٤.٩	٢٨.٤	٣٤.٣	٣٢.٢	١٤٣.٥	٣٢.٧	٥١.٦	٥٩.٢	١٦٤.٦	٥٥.٧	٥٥.١	٥٣.٨	الحديدة	السهول الساحلية
٤٤٩.٨	٩٦.٩	٣٤.٦	٣٣.٦	٢٨.٧	١١٨.٤	٢٦.٦	٤٥.٦	٤٦.٢	١١١.٥	٣٥.٦	٣٧.٣	٣٨.٦	١٢٣.١	٣٨.٧	٤٣.٢	٤١.١	الريان	
٦٢٧.٨	١٢٥.٦	٤٥.٩	٤٥.٧	٣٤	١٧٤.٦	٨١.٧	٥٥.٨	٣٧.١	١٣١.٨	٢٤.٣	٤٠.٨	٦٦.٧	١٩٥.٨	٦٣.٣	٥٩.٥	٧٣	عدن	
٢٥٧٩	٣٤٥.٤	٩٤.٩	٥٣.٤	١٩٧.١	١٧١٠.٧	٥٦٨.٦	٧٢٩.٩	٤١٢.٢	٢٢٣.٣	١٠٢.٢	٤٧.٧	٧٣.٤	٢٩٩.٦	٩٣.٩	٩٧.٧	١٠.٨	سقطرى	
٤١٦٥.٦	٦٧٣.٧	٢١٥.٣	١٦٩.٩	٢٨٨.٥	٢٠٩٨.٥	٧٠٥.٢	٨٦٥.٦	٥٢٧.٧	٦١٠.٢	١٩٤.٩	١٧٧.٤	٢٣٧.٩	٧٨٣.١	٢٥١.٦	٢٥٥.٦	٢٧٦	المجموع	
٣٤٠.٦	٧٠.٩	٢٧.٨	١٩.٨	٢٣.٣	١١٧.٤	٣٢.٣	٤٨.٥	٣٦.٦	٩٦.٨	٣١	٣٢.٥	٣٣.٣	٥٥.٥	٢٢.٨	١٨	١٤.٧	تعز	المرتفعات الجبلية
٢٣٤.٥	٤٨.٢	٢١.٣	١٤.٢	١٢.٧	٧٠.٨	٢٢.٤	٢١.٥	٢٦.٩	٥٨.١	١٤.٢	٢١.٤	٢٢.٥	٥٧.٤	٢١.٩	١٦.٩	١٨.٦	إب	
٩٣.٨	٢٥.٦	٦.٩	٩.٦	٩.١	٢٥.٦	٧.٧	٨.٤	٩.٥	٢٤	٧.٨	٧	٩.٢	١٨.٦	٦.٥	٥.٨	٦.٣	حجة	
٦٦٨.٦	١٤٤.٥	٥٥.٩	٤٣.٦	٤٥	٢١٣.٧	٦٢.٣	٧٨.٤	٧٣	١٧٨.٩	٥٣	٦٠.٨	٦٥.١	١٣١.٥	٥١.٢	٤٠.٧	٣٩.٦	المجموع	
٥٨٣.١	١٤١.٩	٣٦.١	٥٠.٩	٥٤.٩	١٨٠.٧	٨٣.٦	٤٠.٨	٥٦.٣	١٣٥.٩	٤٤.٨	٤٣	٤٨.١	١٢٤.٥	٤٦.٢	٤٢.٢	٣٦.٢	نمار	المنخفضات الوسطى
٣٥٦.٧	٧٩.٢	٢٠.٧	٢٤.٣	٣٤.٢	١٠٧	٣٦	٣٧.٧	٣٣.٣	٧٨.٩	٢٦	٢٤.٩	٢٨	٩١.٦	٢٨.٣	٣٦.٧	٢٦.٦	صنعاء	
٤٠٥.١	٨٦	١٩.٦	٣٣.٩	٣٢.٥	١٠١.٩	٣٢.٤	٣٣.٦	٣٥.٩	١١٣.١	٣٥.٢	٣٥.٩	٤٢	١٠.٤	٣٩.٧	٣٧.٧	٢٦.٧	صعدة	
١٣٤٤.٥	٣٠٦.٩	٧٦.٣	١٠٩.١	١٢١.٥	٣٨٩.٦	١٥٢.١	١١٢	١٢٥.٥	٣٢٧.٩	١٠.٦	١٠٣.٨	١١٨.١	٣٢٠.٢	١١٤.١	١١٦.٥	٨٩.٥	المجموع	
٨٧٣.٢	٢١٤.٧	٤٥.٣	٧٣.٢	٩٦.٢	٣٣٥.٧	١٠٨.٩	١٢٥.٣	١٠١.٥	٢٠١.٧	٨٣.٧	٥٤.١	٦٣.٩	١٢١.٢	٤٤.٦	٣٨.٦	٣٧.٩	مأرب	الهضبة الشرقية
١٦٥.٩	٣٦.١	١٠.٤	١١.٢	١٤.٥	٥٢.٧	١٣	٢٢.٦	١٧.١	٤٧.٦	١٨.٦	١٣.٧	١٥.٣	٢٩.٥	١١.٤	١٠.٥	٧.٦	سينون	
١٠٣٩	٢٥٠.٨	٥٥.٧	٨٤.٤	١١٠.٧	٣٨٨.٣	١٢١.٩	١٤٧.٩	١١٨.٥	٢٤٩.٣	١٠٢.٣	٦٧.٨	٧٩.٢	١٥٠.٧	٥٦	٤٩.١	٤٥.٥	المجموع	
٧٢١٧.٨	١٣٧٦	٤٠٣.٣	٤٠٧	٥٦٥.٧	٣٠٩٠.٢	١٠٤١.٦	١٢٠٣.٩	٨٤٤.٧	١٣٦٦.٢	٤٥٦.١	٤٠٩.٨	٥٠٠.٣	١٣٨٥.٤	٤٧٣	٤٦١.٩	٤٥٠.٦	المجموع	

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على الملحق (٧)

أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في مأرب في فصل الصيف ١٥١.٩ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الخريف ٩٨.٣ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الربيع ٩١.٢ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الشتاء ٥٥.٧ واط/م^٣/ساعة، في حين تتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الصيف ٣٣٥.٧ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ٢١٤.٧ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ٢٠١.٧ كيلو واط/م^٣، في فصل الشتاء ١٢١.٢ كيلو واط/م^٣، بينما تكون كميتها في سيئون في الصيف ٥٢.٧ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٢٣.٩ واط/م^٣/ساعة، وفي الربيع ٤٧.٦ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٢١.٥ واط/م^٣/ساعة، وفي الخريف ٣٦.١ كيلو واط/م^٣ بمعدل ١٦.٦ واط/م^٣/ساعة في فصل الشتاء ٢٩.٥ كيلو واط/م^٣ وبمعدل ١٣.٦ واط/م^٣/ساعة.

أما التوزيع الشهري لطاقة الرياح فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل طاقة الرياح في محطة مأرب يتراوح بين ٥١ واط/م^٣/ساعة في شهر ديسمبر وبكمية تبلغ ٣٧.٩ كيلو واط/م^٣ وهذه تمثل أقل كمية طاقة وبين ١٦٨.٤ واط/م^٣/ساعة في شهر يوليو بكمية تبلغ ١٢٥.٣ كيلو واط/م^٣ وتمثل أعلى كمية طاقة، وعليه يكون المعدل السنوي لطاقة الرياح في محطة مأرب ٩٩.٣ واط/م^٣/ساعة وبكمية تبلغ ٨٧٣.٢ كيلو واط/م^٣، بينما نجد معدل طاقة الرياح في سيئون يتراوح بين ١٠.٢ واط/م^٣/ساعة في شهر ديسمبر وبكمية تبلغ ٧.٦ كيلو واط/م^٣ وتكون أقل كمية للطاقة وبين ٣٠.٤ واط/م^٣/ساعة في شهر يوليو بكمية تبلغ ٢٢.٦ كيلو واط/م^٣ وهذه أعلى كمية، ويبلغ المعدل السنوي لطاقة الرياح ١٨.٩ واط/م^٣/ساعة بكمية تبلغ ١٦٥.٩ كيلو واط/م^٣.

ويلاحظ من خلال ما سبق أن كمية طاقة الرياح في مأرب تحتل المرتبة الثانية بعد سقطرى من حيث ما يمكن توليده من طاقة، ويرجع ذلك إلى انفتاح مأرب على السهول الصحراوية في الشمال والشرق وقلّة وعورة السطح فيها مما أسهم في زيادة سرعة الرياح الذي ينعكس عليه زيادة كمية الطاقة الريحية التي يمكن إنتاجها.

٤- طاقة الرياح المتوقعة في إقليم المرتفعات الجبلية:

تتباين كمية طاقة الرياح التي يمكن توليدها في هذا الإقليم من وقت لآخر، ويتضح من خلال (الجدول ٢١) أن إقليم المرتفعات الجبلية يكون أقل الأقاليم من حيث إمكانية توليد

طاقة الرياح فيبلغ المعدل السنوي له ٢٥.٤ واط/م^٣/ساعة، أما معدله الفصلي فيبلغ في فصل الصيف ٣٢.٣ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الربيع يبلغ المعدل ٢٧ واط/م^٣/ساعة، ثم ينخفض المعدل في الخريف إلى ٢٢.١ واط/م^٣/ساعة، وينخفض المعدل في الشتاء إلى ٢٠.٢ واط/م^٣/ساعة، أما من حيث كمية الطاقة (أنظر الجدول ٢٢) فيكون مجموعها السنوي ٦٦٨.٦ كيلو واط/م^٣، في حين يتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الصيف ٢١٣.٧ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ١٧٨.٩ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ١٤٤.٥ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الشتاء ١٣١.٥ كيلو واط/م^٣.

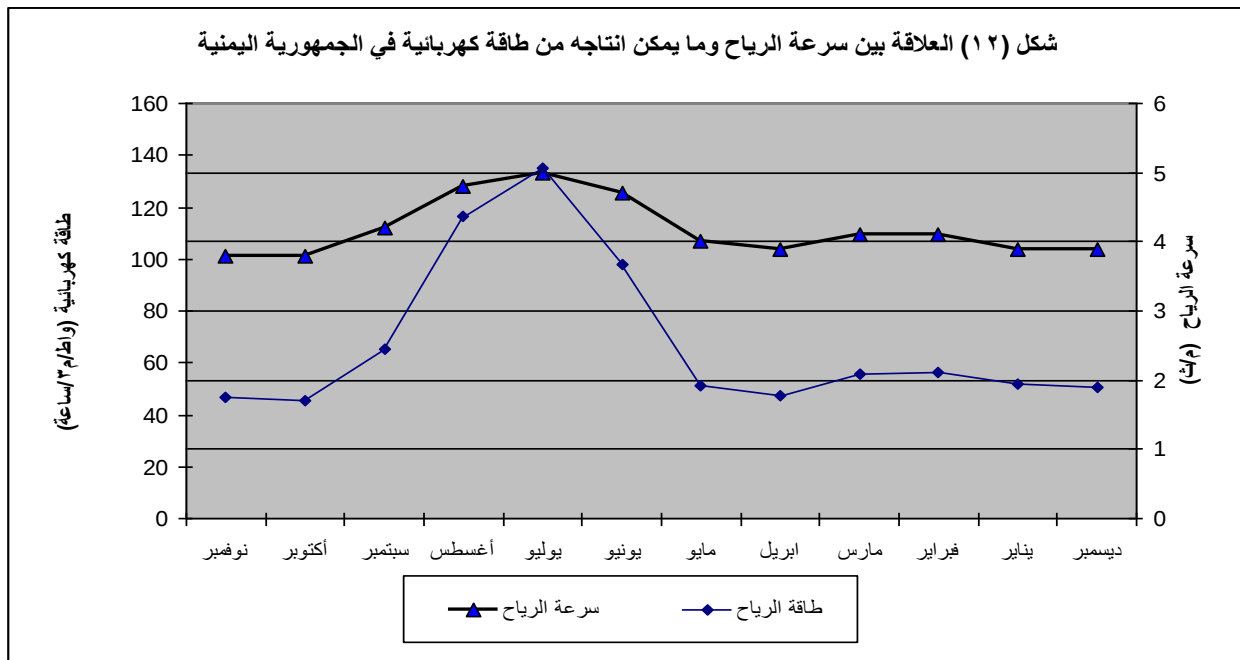
أما على مستوى المحطات فيتباين معدل الطاقة الفصلي حيث يكون في تعز في فصل الصيف ٥٣.١ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الربيع ٤٣.٨ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الخريف ٣٢.٥ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الشتاء ٢٥.٦ واط/م^٣/ساعة، في حين تتباين كمياتها الفصلية فتكون في فصل الصيف ١١٧.٤ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الربيع ٩٦.٨ كيلو واط/م^٣، وفي فصل الخريف ٧٠.٩ كيلو واط/م^٣، بينما في فصل الشتاء ٥٥.٥ كيلو واط/م^٣، بينما تكون كميتها في إب في الصيف ٧٠.٨ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٣٢.١ واط/م^٣/ساعة، في الربيع ٥٨.١ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٢٦.٤ واط/م^٣/ساعة، وفي فصل الشتاء ٥٧.٤ كيلو واط/م^٣ وبمعدل ٢٦.٤ واط/م^٣/ساعة، وفي الخريف ٤٨.٢ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٢٢.١ واط/م^٣/ساعة، بينما تكون كمية الطاقة في محطة حجة في الصيف والخريف ٢٥.٦ كيلو واط/م^٣/فصل بمعدل ١١.٦ واط/م^٣/ساعة، وفي الربيع ٢٤ كيلو واط/م^٣ بمعدل ١٠.٩ واط/م^٣/ساعة، وفي الشتاء ١٨.٦ كيلو واط/م^٣ بمعدل ٨.٥ واط/م^٣/ساعة.

أما التوزيع الشهري لطاقة الرياح فيكون أكثر تبايناً، فنجد أن معدل طاقة الرياح في تعز تتراوح بين ١٩.٧ واط/م^٣/ساعة في شهر ديسمبر وبكمية تبلغ ١٤.٧ كيلو واط/م^٣ وهذه تمثل أقل كمية طاقة وبين ٦٥.٢ واط/م^٣/ساعة في شهر يوليو وبكمية تبلغ ٤٨.٥ كيلو واط/م^٣ وتمثل أعلى كمية طاقة، وعليه يكون المعدل السنوي لطاقة الرياح في محطة تعز ٣٨.٨ واط/م^٣/ساعة وبكمية تبلغ ٣٤٠.٦ كيلو واط/م^٣، بينما نجد طاقة الرياح في محافظة إب تتراوح بين ١٧.٦ واط/م^٣/ساعة في شهر سبتمبر وبكمية تبلغ ١٢.٧ كيلو واط/م^٣ وتكون أقل كمية للطاقة وبين ٣٧.٤ واط/م^٣/ساعة في شهر يونيو وبكمية تبلغ ٢٦.٩ كيلو

واط/م^٣ وهذه أعلى كمية، ويبلغ المعدل السنوي لطاقة الرياح ٢٦.٨ واط/م^٣/ساعة بكمية تبلغ ٢٣٤.٥ كيلو واط/م^٣ ، بينما نجد طاقة الرياح في محطة حجة تتراوح بين ٧.٨ واط/م^٣/ساعة في شهر يناير وبكمية تبلغ ٥.٨ كيلو واط/م^٣ وتكون أقل كمية للطاقة وبين ١٣.٢ واط/م^٣/ساعة في شهر يونيو بكمية تبلغ ٩.٥ كيلو واط/م^٣ وهذه أعلى كمية، أما معدلها السنوي فيكون ١٠.٧ واط/م^٣/ساعة بكمية تبلغ ٩٣.٨ كيلو واط/م^٣.

ويلاحظ من خلال ما سبق أن انخفاض كمية طاقة الرياح في محطتي إِب وحجة يرجع لتباين التضاريس بهما والذي يعيق حركة الرياح فتقل سرعتها ويتغير اتجاهها، وهذا بدوره ينعكس على كمية طاقة الرياح التي تتوافق طردياً مع سرعة الرياح، ومع ذلك فهذه المرتفعات لها دور ايجابي كذلك من خلال دورها في اختلاف التسخين الذي ينتج عنه حركة الرياح وحدوث نسيم الوادي والجبل وغيرها التي تعمل على استمرارية حركة الرياح، وعليه ينتج إمكانية استمرار توليد الطاقة.

أما علاقة الارتباط بين سرعة الرياح وكمية طاقة الرياح فهناك علاقة ايجابية(أنظر الشكل ١٢) ذات دلالة إحصائية عند مستوى ٠.٠٥ حيث بلغ معامل ارتباط بيرسون بينهما ٠.٩٨ لمستوى دلالة ٠.٠٠ وهي أكبر من ٠.٠٥ أي أنه كلما زادت سرعة الرياح ارتفعت معدلات الطاقة والعكس.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الجدولين (١٧) و (٢١)

وبما أن سرعة الرياح في كثير من المواقع (الحديدة- عدن- ذمار) تبلغ ٤.٤ م/ث على ارتفاع ١٠م، ونتيجة لزيادة سرعة الرياح مع الارتفاع فإنها تبلغ ٥.٣ م/ث على ارتفاع ٣٠م وعلى ارتفاع ٧٨م ستكون سرعة الرياح ٦.٠٨ م/ث، وبناء على أنه سيتم تركيب توربين رياح لإنتاج الكهرباء بقدرة ٦٠٠ كيلو واط وارتفاعها ٧٨م فسيكون كمية ما تنتجه من طاقة كهربائية في هذا الموقع هو ١٢١٠ ميغا واط ساعة/سنة^(١)، وأما إنتاج مزرعة مكونة من ١٠٠ توربين فسيكون إنتاجها من الكهرباء ١٢١٠٠٠ ميغا واط ساعة/سنة، أما إقامة مزرعة رياح في كلا من المناطق المذكورة أعلاه بنفس المواصفات سيكون إنتاجها ٣٦٣٠٠٠ ميغا واط ساعة/سنة، وعليه يمكن أن نصنف هذه المناطق من حيث كمية الطاقة الناتجة عنها بأنها متوسطة إلى جيدة وهذا ما يتضح من خلال الجدول (٢٣)، والذي يوضح العلاقة بين سرعة الرياح والطاقة الكهربائية الناتجة عنها.

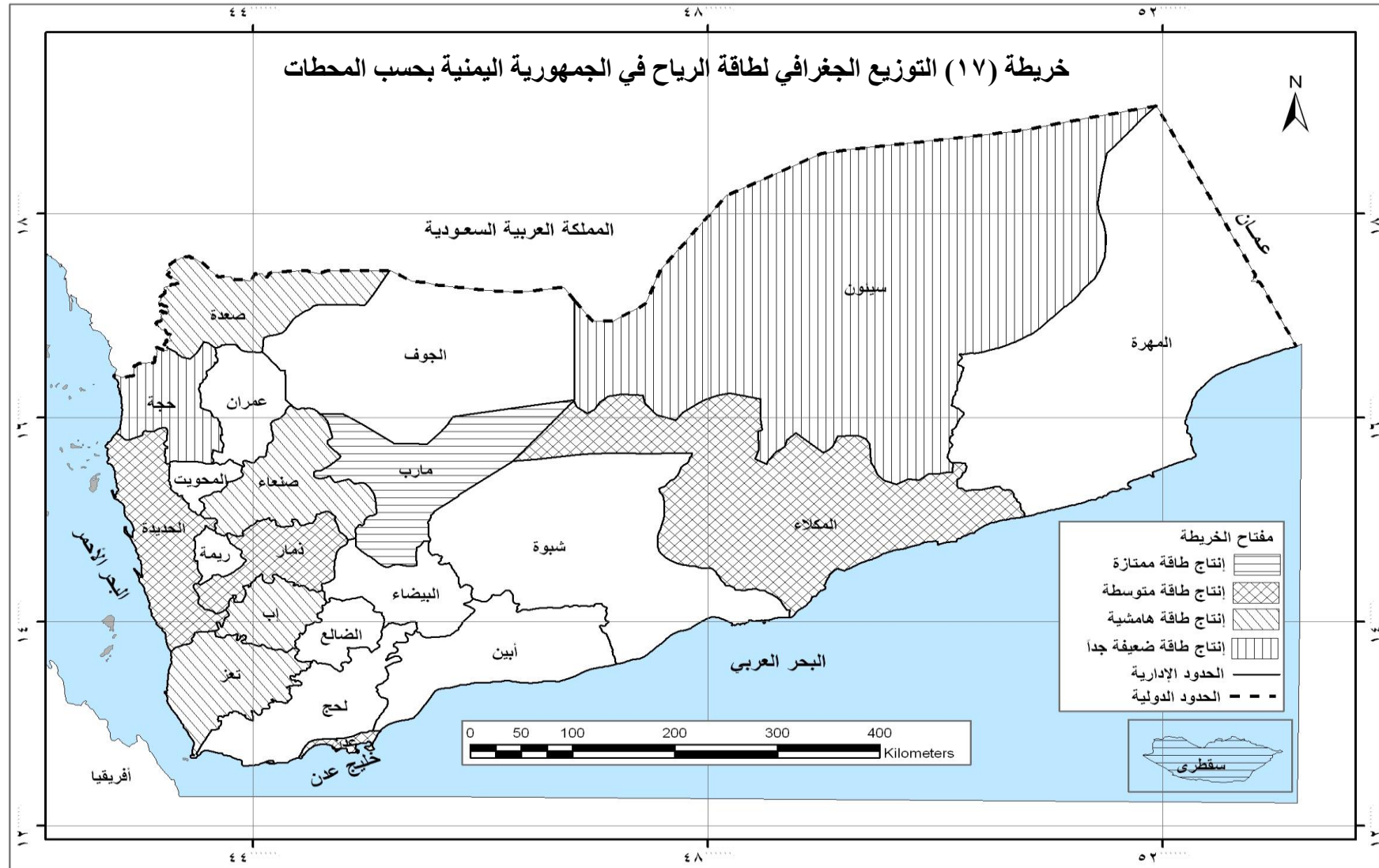
جدول (٢٣) سرعة الرياح ونوعية الطاقة الكهربائية الناتجة عنها.

سرعة الرياح	الطاقة الكهربائية الناتجة عنها
أقل من ٤.٥ م/ث	إنتاج ضعيف
٤.٥ - ٥.٤ م/ث	إنتاج هامشي
٥.٥ - ٦.٥ م/ث	إنتاج متوسط إلى جيد
أكثر من ٦.٧ م/ث	إنتاج ممتاز

المصدر: غانم، علي أحمد، التباين المكاني والزمني لسرعة الرياح في الأردن، مجلة العلوم الاجتماعية، المجلد ٣٤، العدد ٤، إصدارات مجلس النشر العلمي، الكويت، ٢٠٠٦م، ص٤١٣.

ومن الجدول السابق نجد إنتاج الطاقة الكهربائية يتباين بين مناطق الدراسة على ارتفاع ٧٨م، فإنتاج الطاقة ضعيف جداً في حجة وسيئون (أنظر الخريطة ١٧)، والإنتاج يكون هامشياً في تعز وإب وصنعاء وصعدة، أما المناطق الممتازة لإنتاج الطاقة فهي مأرب وجزيرة سقطرى فمأرب تمتاز بكونها منطقة صحراوية واسعة وعلية تكون الأرض متاحة لإنشاء مزرعة رياح، أما جزيرة سقطرى فتمتاز بإمكانية عمل مزارع رياح بحرية (داخل المحيط الهندي) أو شاطئية على الساحل، فالمزارع البحرية تتميز بكون الرياح أكثر قوة وثبات، هذا بالإضافة إلى أن ذلك يؤدي إلى التخلص من مشكلة المساحة اللازمة لإنشاء

^(١) داود، خالد، قياس سرعة الرياح من أجل الدقة في تنبؤات الطاقة، الدورية الأردنية لمخصصات الطاقة، المركز الوطني لبحوث الطاقة، المجلد السابع، العدد الأول، ٢٠٠٣م، ص٤٦.



- المصدر: عمل الباحث اعتماداً على ١- غانم، علي أحمد، التباين المكاني والزمني لسرعة الرياح في الأردن، مجلة العلوم الاجتماعية، المجلد ٣٤، العدد ٤، إصدارات مجلس النشر العلمي، الكويت، ٢٠٠٦م، ص١٣٤.
- ٢- داود، خالد، قياس سرعة الرياح من أجل الدقة في تنبؤات الطاقة، الدورية الأردنية لمخصصات الطاقة، المركز الوطني لبحوث الطاقة، المجلد السابع، العدد الأول، ٢٠٠٣م، ص٤٦.

المحطة كما أن المزارع البحرية تتميز بسعاتها التي تصل إلى ٥ ميجا واط/محرك توربيني^(١) أما مزارع الرياح الشاطئية (على الساحل) فتحتاج إلى دراسة هجرة الطيور وذلك للحفاظ عليها من مراوح الرياح التي يمكن أن تشكل خطراً على حياتها، وبشكل عام فإن هذه المحطات يمكن أن تسهم بشكل كبير في زيادة الطاقة الكهربائية لكي تلبي متطلبات السكان المتنامية مع تطورهم الاقتصادي والاجتماعي، وذلك لما تتمتع به هذه الطريقة في إنتاج الطاقة من نظافة للبيئة، وكذلك إمكانية إيصال هذه الطاقة إلى المناطق النائية بأرخص التكاليف، ورغم العوائق الكبيرة التي تقف بوجه تطور توليد الطاقة عن هذا الطريق، مثل صعوبة خزن الطاقة، وكذلك عدم استمرارية تيار الهواء بنفس سرعته، إلا أن استخدامها قد تزايد في الفترة الأخيرة.

فالمعروف أنه في الساعة الواحدة يمكن أن تتغير سرعة الهواء، وبذلك نحتاج إلى طريقة لخزن الطاقة المولدة حفاظاً على استمرارية التيار الكهربائي، والبطاريات التي تخزن هذا التيار ليست كبيرة أي إن استيعابها محدود حسب الحجم، كما إن عدم استمرارية التيار الهوائي في سرعته تطرح مشكلة أخرى وهي دقة حساب كمية الطاقة المولدة في سرعة معينة^(٢).

وبناء على ما تم التوصل إليه من إمكانية توليد الطاقة الكهربائية من الرياح يتم إتباع الخطوات الأساسية لإنشاء مزارع الرياح (كمزرعة رياح الزعفرانة بمصر) والتي تكفل لهذه المشاريع النجاح من الناحية الفنية والاقتصادية، وهذه الخطوات كالآتي:

(١) قياسات الرياح وتحليل البيانات:

وكما ذكرنا من قبل يجب إجراء قياسات تفصيلية للرياح بالمواقع المرشحة لإنشاء مزرعة الرياح لمدة سنة علي الأقل، وكلما زادت المدة كلما انعكس ذلك علي دقة البيانات وبالتالي النتائج المبنية عليها.

(١) وكالة الطاقة الألمانية Denä، طاقة الرياح في المناطق البرية، متاح عبر الموقع الإلكتروني، www.exporthinitiative.de/fileadmin/user_upload/Technologieausstellung/_ar_web.pdf تاريخ التصفح ٢٠١١/٣/١٠ م.
(٢) السامرائي، قصي عبد المجيد، وعبد القادر عساج، طاقة الرياح في اليمن، مجلة كلية الآداب، جامعة صنعاء، العدد ٢٩، ٢٠٠٦ م. ص ٣٦٠.

(٢) تقييم مصادر الرياح:

بعد حصر مصادر الرياح تأتي مرحلة التحليل وتقييم هذه القراءات بهدف الوصول إلي قرار يتعلق باختيار أنسب المواقع المرشحة لإنشاء المزرعة بها.

(٣) اختيار الموقع:

تأتي هذه الخطوة كنتيجة للخطوة السابقة، حيث يتم تحديد الموقع الأنسب لإنشاء المزرعة بعد مقارنته بالمواقع الأخرى، فالموقع هو الفاصل في إنتاجية هذه التوربينات حيث انه بالإضافة إلى شدة الرياح فان عدة عوامل تدخل أيضا في الحسابات الاقتصادية منها سعر الأرض وسعر المعدات المطلوبة وإمكانية توفر محطات التحويل وخطوط الإمداد بالإضافة إلى سعر مبيع الكيلووات الساعي في المنطقة^(١).

(٤) التصميم المبدئي للمزرعة:

يتم في هذه المرحلة وضع أسس التصميم الخاصة بالمزرعة من حيث تحديد: نوع التوربينات، نطاق قدرة التوربينات المرشحة للاستخدام، مخطط نقل الكهرباء من المزرعة إلى الشبكة، المواصفات الأولية لكابلات نقل القوي، مسارات الطرق داخل المزرعة.

(٥) دراسة الجدوى:

تختص دراسة الجدوى بالنظر في إمكانية إنشاء المزرعة من عدمه، مع تحديد تفاصيل مبدئية للتصميم تسترشد بها الشركات المنفذة، مع حساب لتكلفة إنتاج وحدة الطاقة، وحدود المكسب والخسارة، ونسبة المخاطرة حال تنفيذ المشروع، وبحث مصادر وشروط التمويل، مع إعداد خرائط كنتورية للموقع تستدل بها الشركات المنفذة في تحديد مواقع التوربينات داخل الموقع^(*).

(٦) تقييم التأثيرات البيئية:

غالبا ما تنفذ دراسة تقييم الأثر البيئي بالتوازي مع دراسة الجدوى، إلا أن هذه الدراسة تحتاج إلي فريق متخصص ينظر في تأثير تنفيذ المزرعة علي البيئة المحيطة مثل: الضوضاء، مسارات هجرة الطيور، تأثير الكائنات الحية بالمنطقة جراء تنفيذ المزرعة.

(١) طاقة الرياح، متاح على الموقع الإلكتروني، <http://alwadi-algi.banouta.net/t19-topic> تاريخ التصفح ٢٠١١/٢/٩ م.
(*) لمزيد من التفاصيل أنظر راجحة، أحمد، اقتصاديات طاقة الرياح، الدورية الأردنية لمخصصات الطاقة، المركز الوطني لبحوث الطاقة، المجلد السابع، العدد الأول، ٢٠٠٣ م. ص ١٣.

٧) اتفاقية بيع الطاقة:

توقع هذه الاتفاقية بين جانبيين أولهما الجانب المنتج للطاقة الكهربائية، والجانب الآخر هو المشتري والذي قد يكون قطاع خاص أو عام (بحسب طبيعة نظام الطاقة في كل بلد)، ويحدد في هذه الاتفاقية سعر الكيلووات ساعة المنتج، والشروط الجزائية الموقعة علي كل طرف في حالة عدم الالتزام بما جاء بالاتفاقية، وأيضاً شروط تغيير السعر بحسب مقتضيات التشغيل (كما حدث بين هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة (المنتج لطاقة الرياح) في مصر ووزارة الكهرباء المصرية (المشتري)).

٨) مناقصة التدابير الهندسية والإنشائية:

بعد الانتهاء من إعداد دراسة الجدوى وتوقيع عقد بيع الطاقة، تبدأ إجراءات طرح العملية في شكل مناقصة، بغرض تحديد شركة ذات كفاءة فنية عالية وملاءمة مالية لتنفيذ المزرعة، وفي هذه المرحلة تحدد التفاصيل الفنية والمالية بدقة (طراز ومكونات التوربينات، أعمال كهربية، أعمال مدنية، قطع غيار، وشروط الدفع، والجزاءات التي توقع علي كل طرف حال عدم التزامه بما جاء بالعقد، والمواصفات القياسية المطلوبة للمكونات).

٩) الإنشاء:

بمجرد دخول العقد الموقع بين الجانبين (الجهة الممولة والمقاول المنفذ) حيز التنفيذ تبدأ الشركة المنفذة مرحلة التنفيذ والتي تختلف بحسب القدرة الكلية للمشروع، وبعد انتهاء التنفيذ تتم الاختبارات للقبول والاستلام أو الرفض من جانب المالك.

٩ - التشغيل والصيانة:

هي المرحلة الأخيرة التي تتولي فيها أحد الشركات عملية تشغيل وصيانة المزرعة، للمحافظة علي أداء المزرعة ليكون أعلي ما يمكن حتى لا تقع الشركة المالكة للمشروع تحت طائلة الجزاءات التي حددتها اتفاقية بيع الطاقة، وقد يلجأ المالك إلي تشغيل وصيانة المزرعة بنفسه (إذا كان لديه المقدرة الفنية)، أو يسند الأمر إلي أحد شركات التشغيل والصيانة كما هو الحال في كثير من دول العالم والتي يكون فيها مالكو المزارع مجرد مستثمر لا يملك الخبرة الفنية لتشغيل وصيانة المزرعة.

خلاصة:

توصلت الدراسة في المبحث الأول إلى أن إقليم الهضبة الشرقية يأتي في المرتبة الأولى من حيث كمية الطاقة الشمسية إذ يبلغ المعدل السنوي ٦ كيلو واط بانحراف معياري قدره ٠.٢١. وهذا يدل على استقرارية توليد الطاقة، وجاء إقليم المرتفعات الجبلية في المرتبة الأخيرة بمعدل سنوي بلغ ٥.٢ كيلو واط م/٢/يوم، أما من حيث الطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها فقد احتل إقليم المنخفضات الجبلية المرتبة الأولى بمعدل ٨٧٥ واط م/٢/يوم، وذلك لكونها ضمن المناطق التي تمتاز باعتدال درجة حرارتها طوال العام، وجاء إقليم الهضبة الشرقية في المرتبة الثانية على الرغم من كونه يحظى بأعلى كمية إشعاع إلا أن درجة الحرارة المرتفعة به تؤثر على قدرة الإنتاج للخلايا الشمسية وبذلك تبلغ كمية الكهرباء المتوقع إنتاجها ٨٢٤ واط م/٢/يوم، وجاء إقليم السهول الساحلية في المرتبة الأخيرة من الطاقة المتوقع إنتاجها بكمية بلغت ٧٧٠ واط م/٢/يوم، وذلك نتيجة للرطوبة وارتفاع درجة الحرارة.

كما توصلت الدراسة في المبحث الثاني إلى أن إقليم السهول الساحلية يأتي في المرتبة الأولى من حيث الطاقة المتوقع إنتاجها بمعدل سنوي يبلغ ٥٨ واط م/٢/ساعة في الحديدة، و ٧١.٤ واط م/٣/ساعة في عدن، و ١٠.٢ واط م/٣/ساعة في الريان، أما محطة جزيرة سقطرى فهي أعلى المناطق اليمنية حيث بلغ معدلها السنوي ٢٩٢.٤ واط م/٣/ساعة، وجاء إقليم الهضبة الشرقية في المرتبة الثانية بمعدل سنوي بلغ ٩.١ واط م/٣/ساعة، في حين احتل إقليم المرتفعات الجبلية المرتبة الأخيرة بكمية متوقعة تبلغ ٢٥.٤ واط م/٣/ساعة، وبينت الدراسة أن المتر المربع على ارتفاع ١٠ م سينتج ٨.٤ واط إذا كانت سرعة الرياح ٤.٤ م/ث، أما على ارتفاع ٧٨ م سينتج ١٢١٠ واط إذا كانت قدرة التوربينات ٦٠٠ كيلو واط.

الفصل الخامس

واقع الطاقة الكهربائية ومستقبلها في الجمهورية اليمنية

المبحث الأول: واقع الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية
ومستقبلها

المبحث الثاني : الاستخدامات المستقبلية للطاقة الشمسية
والريحية في الجمهورية اليمنية

مدخل:

ناقش الفصل السابق التحليل الجغرافي لتوليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي والرياح، وسيتناول المبحث الأول من هذا الفصل دراسة واقع الطاقة الكهربائية ومستقبلها حيث سيتناول واقع إنتاج الكهرباء في الجمهورية اليمنية مع التوزيع الجغرافي لمحطات توليد الكهرباء وتناول كمية الطاقة المرسلّة من كل محطة وما يستهلك من الطاقة واستهلاكها من الوقود والزيوت ومعدل استهلاك الوقود لكل كيلو واط ساعة وذلك بغرض توضيح مدى عجز هذه المحطات عن سد حاجة السكان من الطاقة، إضافة إلى توضيح كمية الاستهلاك لهذه المحطات والتي يمكن أن تسهم في تنمية البلاد لو وجد البديل، وسنتناول معدل استهلاك الفرد اليمني من الكهرباء ومقارنتها مع حصة الفرد مع دولة الكويت والإمارات وكذلك حصة الفرد في الاسكوا الذي الجمهورية اليمنية عضو فيها لإيضاح مدى عجز الطاقة الكهربائية عن سد متطلبات الفرد وضرورة البحث عن مصادر تساهم في حل المشكلة، كما سنتناول الوضع المستقبلي للطاقة الكهربائية من حيث توقع تطور عدد المشتركين وتطور معدل نمو الطلب على الطاقة .

كما سيتم في المبحث الثاني من هذا الفصل تناول الاستخدامات المستقبلية للطاقة الشمسية والريحية في شتى نواحي الحياة المختلفة كالإنارة وضخ المياه .

المبحث الأول: واقع الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية ومستقبلها:

يختلف استخدام الطاقة تبعاً لاختلاف مستوى النمو الاقتصادي، والأحوال الجوية، وأسعارها، وغير ذلك من العوامل، فقد ارتفع حجم الطاقة المستهلكة في الجمهورية اليمنية تدريجياً خلال العقود الثلاثة الماضية ويعود ذلك إلى انخفاض أسعار الطاقة وحدوث نمو اقتصادي ساهم في زيادة إنتاج الطاقة من خلال إنشاء محطات التوليد، ومع الارتفاع الملحوظ في أسعار مصادر الطاقة في الوقت الحاضر فلا بد من الاهتمام كثيراً لمدى إمكانية الحفاظ على مصادر الطاقة والإبقاء عليها لأطول فترة ممكنة، حيث يتباين توزيع المحطات في الجمهورية تبعاً لعدد من الضوابط كالقرب من مصدر الوقود اللازم لتشغيل هذه المحطات وسهولة نقله إلى هذه المواقع وتوفر وسائل النقل الاقتصادية، أو القرب من مصادر مياه التبريد لأن المكثف يحتاج إلى كميات كبيرة من مياه التبريد كما أن القرب من مصادر المياه يزودها بكمية مياه تعمل على تحريك التوربينات في المحطات البخارية بعد أن تصل إلى درجة حرارة ٥٤٠° مئوية وتحت ضغط ٩٠ كغم/سم فتتحركها ٣٠٠٠ دوره ولكونها موصولة بالمولد الكهربائي تحركه معها بنفس السرعة فينتج الكهرباء، إضافة إلى القرب من مراكز استهلاك الطاقة الكهربائية لتوفير تكاليف إنشاء خطوط النقل والتوزيع^(*)، وعلى ذلك كان توزيع محطات توليد الكهرباء في الجمهورية اليمنية كما في الجدول (٢٤) والخريطة (١٨) كالآتي:

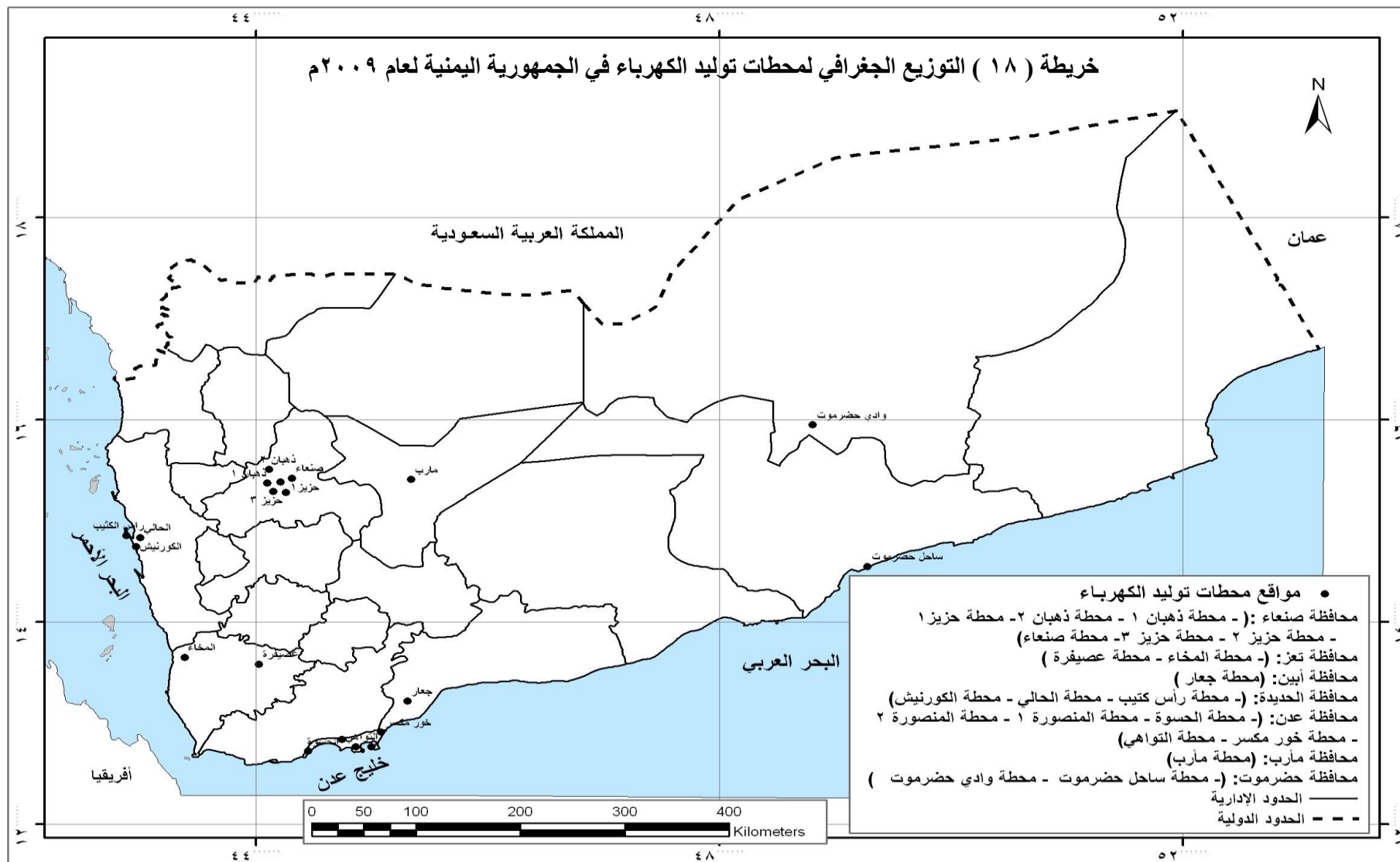
أولاً: محطات توليد الكهرباء في الجمهورية اليمنية:

يتباين التوزيع الجغرافي لمحطات توليد الكهرباء بحسب المحافظات في الجمهورية اليمنية وكما يأتي:

١- محطات توليد الكهرباء في محافظة صنعاء:

نتيجة لكونها العاصمة السياسية للجمهورية اليمنية فقد تم بناء عدد من المحطات التي تعمل بالاحتراق الداخلي وذلك بحرق الديزل، ومحطات بخارية تعتمد على المازوت لتغطية متطلباتها من الوقود، وفيما يأتي عرض لواقع الطاقة الكهربائية في هذه المحطات:

(*) لمزيد من المعلومات انظر الموقع الإلكتروني <http://yemen-land.net/vb/showthread.php?t=٥٩٠١> تاريخ التصفح ٢٠١١/٢/١م



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على ١ - محمد، زكي أحمد مرشد، منظومة الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة الدول العربية، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، معهد العلوم والدراسات العربية، ٢٠٠٣م، ص ٢١٦.

٢ - الجدول (٢٤).

أ- محطة ذهبان ١ (*): بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة ٢٠٠٩م ٤٤.٢ ج و س، تم إرسال ٤١.٣ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٦.٥% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ١١.٧٦ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٧٤ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٣٠٨ ألف لتر.

ب- محطة ذهبان ٢ (**): بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٧٦ ج و س، تم إرسال ٧٢.١ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٥.١% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٢٠.٦ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٨٣ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ١٧٧ ألف لتر.

ج- محطة حزيز ١: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٢١٣.٢ ج و س، تم إرسال ٢١٠.١ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ١.٤% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٥٤.٦ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٦١ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ١٩٢ ألف لتر.

د- محطة حزيز ٢: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٤٠١.٨ ج و س، تم إرسال ٣٩٥.٢ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ١.٦% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٩٣.٥ مليون لتر منها ٢٦.١ مليون لتر من الديزل و ٦٧.٤ مليون لتر من المازوت بمعدل استهلاك ٠.٢٤٠ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٢٤٤ ألف لتر.

هـ- محطة حزيز ٣: بدأت هذه المحطة إنتاج الكهرباء عام ٢٠٠٩م ٧٦ ج و س، تم إرسال ٧٢.١ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٥.١% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٢٠.٦ مليون لتر

(*) تقع المحطة في منطقة ذهبان شمال غرب العاصمة صنعاء، وتبلغ قدرتها ٢١ ميغاواط، وتتكون من أربع وحدات، وحدتي توليد بقدرة ٥.٥ ميغاواط لكل واحدة منهما، ووحدة بقدرة ٣ ميغاواط، إضافة إلى توربين غازي بقدرة ٧ ميغاواط.
(**) تعد ثاني محطات الديزل من حيث قدرتها المركبة والبالغة ٣٠ ميغاواط، والمحطة مكونة من خمس وحدات للتوليد قدرة الواحدة منها ٦ ميغاواط، وبدأ تشغيل المحطة عام ٢٠٠٠م، وتقع في منطقة ذهبان شمال غرب مدينة صنعاء على طريق صنعاء- عمران بجانب محطة ذهبان ١ الأقدم منها، وتبعد عن مركز المدينة ٧ كم، لمزيد من التفاصيل أنظر محمد، زكي أحمد مرشد، مصدر سبق ذكره.

منها ١٨.٩ مليون لتر من الديزل و ٣٤.٩ مليون لتر من المازوت بمعدل استهلاك ٠.٢٨٣ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ١٧٧ ألف لتر.

و- **محطة صنعاء (*)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٤٨.٤ ج و س، تم إرسال ٤٦.٥ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٤% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ١٢.٥ مليون لتر من

الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٦٠ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٨٢ ألف لتر.

٢- محطات توليد الكهرباء في محافظة تعز:

تم بناء محطتين في هذه المحافظة محطة تعمل بالاحتراق الداخلي (عصيفرة) وذلك بحرق الديزل، ومحطة بخارية (المخاء) تعتمد على المازوت لتغطية متطلباتها من الوقود، وفيما يأتي عرض لتطور الطاقة الكهربائية في هذه المحطات:

أ- **محطة المخاء (**)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ١٠٧٧ ج و س، تم إرسال ٩٩٨.١ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٧.٣% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٣٥٣.٧ مليون لتر منها ٢.٦ مليون لتر من الديزل و ٣٥١.١ مليون لتر من المازوت بمعدل استهلاك ٠.٣٣٧ لتر/ك و س.

ب- **محطة عصيفرة (***)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٨٢.٣ ج و س، تم إرسال ٨٠.١ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٢.٧% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٢٠.٨ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٥٧ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ١٣١ ألف لتر.

(*) وهي أقدم محطات توليد الكهرباء في صنعاء، وتقع في حي القاع غرب العاصمة صنعاء، ويحيط بها العمران من كل جانب، تبلغ قدرتها المركبة ١٨.٥ ميغاواط، وتتكون من ست وحدات توليد، وحدتان منها بقدرة ٥ ميغاواط لكل واحدة منهما، وحدتان بقدرة ٢.٥ ميغاواط لكل منهما،

والخامسة بقدرة ٥ ميغاواط واحد، أما الوحدة السادسة فقدرتها ٣ ميغاواط.

(**) تعتبر هذه المحطة أكبر محطات التوليد من قدرتها المركبة، إذ تبلغ قدرتها ١٦٠ ميغاواط، وهي محطة بخارية تتكون من أربع وحدات للتوليد قدرة كل واحدة منها ٤٠ ميغاواط، وهي محطة مركزية تقع على ساحل البحر الأحمر غرب محافظة تعز على بعد ٧ كم شمال مدينة المخاء.

(***) تقع هذه المحطة في منطقة عصيفرة شمال مدينة تعز، وتبعد عن مركز المدينة بمسافة ١ كم، وتبلغ قدرتها ١٦ ميغاواط، وهي محطة توليد بالديزل تتكون من أربع وحدات توليد، وحدتان بقدرة ٥.٥ ميغاواط لكل واحدة منهما، وحدتان بقدرة ٢.٥ ميغاواط لكل منهما.

الجدول (٢٤) التوزيع الجغرافي لمحطات إنتاج الكهرباء في الجمهورية اليمنية للفترة من ٢٠٠٥ - ٢٠٠٩ م

المحطة البيان	ذهبان ١	ذهبان ٢	حزير ١	حزير ٢	حزير ٣	صنعاء	عصيفرة	المخاء	جعار	الحالي	الكورنيش	راس الكتيب	الحسوة	المنصورة ١	المنصورة ٢	خور مكسر	التواهي	مأرب الغازية	وادي حضرموت	ساحل حضرموت
الطاقة المنتجة (ج و س)	٤٤.٢	٧٦	٢١٣.٢	٤٠١.٨	٢٣٠.٧	٤٨.٤	٨٢.٣	١٠.٧٧	١٧.٩	١٠٧.٦	١٥.١	٨٧.٤	٦٨١	٩٥.٢	٣٥٢.٩	٥٩.٣	٤.٧	٦.٦٩	١٦٤.٧	٢٥٣.٥
الطاقة المرسلة (ج و س)	٤١.٣	٧٢.١	٢١٠.١	٣٩٥.٢	٢٢٦.٢	٤٦.٥	٨٠.١	٩٩٨.١	١٧.٢	١٠٣.٥	١٤.١	٨٠٨.٤	٥٩٧.١	٩٠.٧	٣٤٤.٦	٥٦.٩	٤.٤	٥.٩	١٥٢.٨	٢٤٨.٥
الطاقة المستهلكة في المحطات (%)	٦.٥	٥.١	١.٤	١.٦	٢	٤	٢.٧	٧.٣	٤.١	٣.٧	٦.٨	٧.٦	١٢.٣	٤.٧	٢.٤	٤.١	٧	---	٧.٣	٢
استهلاكها من الوقود (مليون لتر)	١١.٧٦	٢٠.٦١	٥٤.٦	٩٣.٥	٥٣.٨	١٢.٥	٢٠.٨	٣٥٣.٧	٥.٤	٢٧.٩	٤.١	٢٨٤.٣	٢٧٣.٢	٢٤.٦	٨٥.١	١٥.٢	١.٢	---	٤٣.١	٦٤.٤
معدل استهلاك الوقود (لتر/ك و س)	٠.٢٧٤	٠.٢٨٣	٠.٢٦١	٠.٢٤٠	٠.٢٣٩	٠.٢٦٠	٠.٢٥٧	٠.٣٣٧	٠.٣١٦	٠.٢٦٣	٠.٢٨٧	٠.٣٣١	٠.٤٤٠	٠.٢٦٧	٠.٢٥٢	٠.٢٦٣	٠.٢٦٢	---	٠.٢٦٤	٠.٢٦٣
استهلاكها من الزيوت (الف لتر)	٣٠.٨	١٧٧	١٩٢	٢٤٤	١٧٣	٨٢	١٣١	---	٢٢	١٥٠	٧٥	---	٥٧	٦٤١	٤٣٤	١١٦	١٣	---	٣٤٥	٣٩٨

المصدر: عمل الباحث اعتمادا على

الجمهورية اليمنية، وزارة الكهرباء والطاقة، المؤسسة العامة للكهرباء، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩ م، صنعاء، ٢٠١٠ م، ص ٤٢ - ٤٨.

-- بيانات غير متوفرة

٣- محطات توليد الكهرباء في محافظة أبين:

تم بناء محطة في هذه المحافظة محطة تعمل بالاحتراق الداخلي (جعار) ، وفيما يأتي عرض لتطور الطاقة الكهربائية في هذه المحطة:

أ - محطة جعار^(*): بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩ م ١٧.٩ ج و س، تم إرسال ١٧.٢ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٤.١% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٥.٤ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٣١٦ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٢٢ ألف لتر.

(*) تقع في مدينة جعار الواقعة شمال مدينة زنجبار عاصمة محافظة أبين، وتبعد عنها ١٤ كم، وهي محطة توليد بالديزل تتكون من أربع وحدات للتوليد، وحدتان منها بقدرة ٢.٢ ميغاواط لكل منهما، ووحدتان بقدرة ١.٥ ميغاواط لكل منهما.

٤- محطات توليد الكهرباء في محافظة الحديدة:

تم بناء ثلاث محطات في هذه المحافظة محطتين تعمل بالاحتراق الداخلي(الحالي والكورنيش) وذلك بحرق الديزل، ومحطة بخارية (رأس كتيب) تعتمد على المازوت لتغطية متطلباتها من الوقود، وفيما يأتي عرض لتطور الطاقة الكهربائية في هذه المحطات:

أ- **محطة رأس كتيب (*)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٨٧٤ ج و س، تم إرسال ٨٠٨.٤ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٧.٦% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٢٨٤.٣ مليون لتر منها ١.١ مليون لتر ديزل و ٢٨٣.٢ مليون لتر من المازوت بمعدل استهلاك ٠.٣٣١ لتر/ك و س.

ب- **محطة الحالي (**)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ١٠٧.٦ ج و س، تم إرسال ١٠٣.٥ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٣.٧% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٢٧.٩ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٦٣ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ١٥٠ ألف لتر.

ج- **محطة الكورنيش (***)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ١٥.١ ج و س، تم إرسال ١٤.١ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٦.٨% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٤.١ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٨٧ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٧٥ ألف لتر.

٥- محطات توليد الكهرباء في محافظة عدن:

تم بناء خمس محطات في هذه المحافظة أربع محطات تعمل بالاحتراق الداخلي(المنصورة ١، المنصورة ٢، خور مكسر، التواهي) وذلك بحرق الديزل والمازوت،

(*) تأتي في المرتبة الثانية من حيث القدرات المركبة، إذ تبلغ قدرتها ١٥٠ ميغاواط، وهي محطة بخارية تتكون من خمس وحدات للتوليد قدرة الواحدة منها ٣٠ ميغاواط، تقع المحطة على ساحل البحر الأحمر غرب الحديدة، في رأس كتيب الواقعة إلى الشمال الغربي من مدينة الحديدة وعلى بعد ١٨ كم منها.

(**) تقع محطة الحالي في منطقة الحالي شمال مدينة الحديدة، وعلى طريق الحديدة جيزان، وتبعد ٤ كم عن مركز المدينة، وتبلغ قدرتها ١٥٠.٧٥ ميغاواط، وهي محطة تعمل بالديزل تتكون من ثلاث وحدات توليد قدرة الواحدة منها ٥٠.٢٥ ميغاواط.

(***) تقع المحطة على طريق الكورنيش غرب مدينة الحديدة وتطل على ساحل البحر الأحمر، وتبلغ قدرات هذه المحطة ٧.٥ ميغاواط، وهي محطة تعمل بالديزل تتكون من ثلاث وحدات توليد قدرة الواحدة منها ٢.٥ ميغاواط.

ومحطة بخارية (الحسوة) تعتمد على المازوت لتغطية متطلباتها من الوقود، وفيما يأتي عرض لتطور الطاقة الكهربائية في هذه المحطات:

أ- **محطة الحسوة (*)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٦٨١ ج و س، تم إرسال ٥٩٧.١ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ١٢.٣% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٢٧٣.٢ مليون لتر منها ٠.١ مليون لتر من الديزل و ٢٧٣.١ مليون لتر من المازوت بمعدل استهلاك ٠.٤٤٠ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٥٧ ألف لتر.

ب- **محطة المنصورة ١**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٩٥.٢ ج و س، تم إرسال ٩٠.٧ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٤.٧% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٢٤.٦ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٦٧ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٦٤١ ألف لتر.

ج- **محطة المنصورة ٢ (**)**: بدأت هذه المحطة إنتاج الكهرباء عام ٢٠٠٩م ٣٥٢.٩ ج و س، تم إرسال ٣٤٤.٦ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٢.٤% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٨٥.١ مليون لتر منها ٥٨.٦ مليون لتر من الديزل و ٢٦.٥ مليون لتر من المازوت بمعدل استهلاك ٠.٢٥٢ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٤٣٤ ألف لتر.

د- **محطة خور مكسر (***)**: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٥٩.٣ ج و س، تم إرسال ٥٦.٩ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٤.١% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود

(*) وهي ثالث المحطات البخارية المركزية، تقع المحطة بوسط الساحل الشمالي لخليج التواهي في منطقة الحسوة بمدينة عدن، وتبعد ٩ كم باتجاه الشمال الشرقي عن منطقة البريقة، وتبلغ قدرتها ١٢٥ ميجاواط، وتتكون من خمس وحدات توليد قدرة كل واحدة منها ٢٥ ميجاواط.

(**) وهي أكبر محطات الديزل سعة، تقع في الجنوب الغربي لمنطقة المنصورة بمدينة عدن وعلى الطريق المؤدية إلى محطة الحسوة ومنطقة البريقة، وتبعد عن مصفاة عدن ١٨ كم باتجاه الشرق، وتبلغ قدرتها المركبة ٦٤ ميجاواط، وتستخدم المحطة كلاً من وقود الديزل والمازوت لإنتاج الكهرباء، وتتكون من ثمان وحدات توليد قدرة الواحدة ٨ ميجاواط.

(***) تقع المحطة غرب منطقة خور مكسر بمدينة عدن وعلى الطريق الذي يربط المنطقة بالطريق البحري المؤدية إلى منطقتي الشيخ عثمان والمنصورة، وتقع وسط السوق، وتبلغ قدرتها المركبة ٢٨ ميجاواط، وهي محطة تعمل بالديزل وتتكون من خمس وحدات توليد قدرة الواحدة ٤ ميجاواط، وأربع وحدات أخرى قدرة الواحدة منها ٢ ميجاواط.

١٥.٢ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٦٣ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ١١٦ ألف لتر.

هـ محطة التواهي: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٤.٧ ج و س، تم إرسال ٤.٤ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٧% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ١.٢ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٦٢ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ١٣ ألف لتر.

٦- محطات توليد الكهرباء في محافظة مأرب:

تم بناء محطة مأرب الغازية في هذه المحافظة وبلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٦.٦٩ ج و س، تم إرسال ٥.٩ ج و س إلى شبكة التوزيع، ونتيجة لكونها محطة حديثة الإنشاء لم تنشر بيانات تفصيلية عن عمل هذه المحطة واستهلاكها من الوقود.

٧- محطات توليد الكهرباء في محافظة حضرموت:

تم بناء محطتين في هذه المحافظة تعملان بالاحتراق الداخلي (وادي حضرموت وساحل حضرموت) وذلك بحرق الديزل والمازوت، وفيما يأتي عرض لتطور الطاقة الكهربائية في هذه المحطتين:

أ- محطة ساحل حضرموت: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ٢٥٣.٥ ج و س، تم إرسال ٢٤٨.٥ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٢% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٦٤.٤ مليون لتر منها ٢٠.٣ مليون لتر من الديزل و ٤٤.١ مليون لتر من المازوت بمعدل استهلاك ٠.٢٦٣ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٣٩٨ ألف لتر.

ب- محطة وادي حضرموت: بلغت الطاقة المنتجة في هذه المحطة عام ٢٠٠٩م ١٦٤.٧ ج و س، تم إرسال ١٥٢.٨ ج و س إلى شبكة التوزيع، وعليه تكون نسبة الطاقة المستهلكة في محطات التوليد ٧.٣% من إجمالي الإنتاج، وبلغ استهلاك هذه المحطة من الوقود ٤٣.١ مليون لتر من الديزل بمعدل استهلاك ٠.٢٦٤ لتر/ك و س، وبلغ استهلاكها من الزيوت لنفس العام ٣٤٥ ألف لتر.

ثانياً: واقع إنتاج الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية:

بلغ إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة عام ٢٠٠٩م ٦٧٤٨.٩ جيجا واط/ساعة، تختلف كمية الإنتاج بين المحطات من حيث النوع، فقد حققت المحطات البخارية (المخاء، رأس كثيب، الحسوه) إنتاجاً أكبر من محطات الديزل، وبلغ إجمالي الطاقة الكهربائية التي أنتجتها تلك المحطات عام ٢٠٠٩م ٢٦٣٢ جيجا واط/ساعة، وشكلت ما نسبته ٣٩% من إجمالي المنظومة الموحدة، بينما لم تنتج محطات الديزل سوى ٢١٦٧.٥ جيجا واط/ساعة، مثلت نسبة ٣٢% من جملة إنتاج المنظومة.

وتأتي محطة المخاء البخارية في المرتبة الأولى من حيث الإنتاج على مستوى المحطات، إذا بلغت نسبة مساهمتها ١٦% من جملة الإنتاج، تليها محطة رأس كثيب ١٣%، ثم محطة الحسوه بنسبة ١٠.١ جيجا واط/ساعة، ويرجع سبب ارتفاع الإنتاج في هذه المحطات إلى أنها محطات مركزية وأساسية لتغطية الأحمال الأساس، كما أنها تعمل بمعامل سعة(*) أكبر من بقية المحطات تتراوح ما بين ٦٠ - ٧٥% من قدرتها الاسمية المركبة، وهذا يبين حجم العبء القائم عليها.

وجاء إنتاج محطة حزيز ٢ في مقدمة إنتاج محطات الديزل، فقد أنتجت ٤٠١.٨ جيجا واط/ساعة، وهذه الكمية تمثل نسبة ٦% من جملة إنتاج المنظومة الموحدة، وهي أعلى نسبة مقارنة مع نظيراتها من المحطات، وذلك نتيجة لكونها أكبر محطة ديزل من حيث القدرة المركبة، تليها محطة المنصورة ٢ حيث أنتجت ٣٥٢.٩ جيجا واط/ساعة، شكلت نسبة ٥.٢% من إجمالي إنتاج المنظومة، وجاءت في المرتبة الثالثة محطة ساحل حضرموت بكمية إنتاج بلغت ٢٥٣.٥ جيجا واط/ساعة، بنسبة ٤% من إجمالي إنتاج المنظومة، واحتلت محطة التواهي المرتبة الأخيرة من حيث الإنتاج حيث لا تزيد نسبة مساهمتها عن ٠.٠٧% من إجمالي الإنتاج.

واستهلكت محطة الحسوه ما نسبته ١٢.٣% من إجمالي إنتاجها للاستخدام الداخلي، وهي نسبة مرتفعة جداً مقارنة بنظيراتها (جدول ٢٤) من المحطات، حيث لم تزد هذه النسبة

(*) معامل السعة: هي نسبة ما يمكن استغلاله من القدرة الاسمية المركبة في الإنتاج، أي الإنتاج الفعلي مقسوماً على عدد ساعات السنة مضروباً في القدرة الفعلية ثم يضرب في مائة.

عن ٧% في معظمها، وبذلك تكون محطة الحسوة قد تجاوزت النسبة المسموح بها فنياً ٧-
٨%^(١)، إذ أن ارتفاعها يؤثر على كمية ونسبة الطاقة المرسلّة، وبالتالي على أهميتها
النسبية.

أما من حيث التوزيع الجغرافي للإنتاج بحسب مساهمة المحافظات التي تغطي
المنظومة فيكون كالآتي:

- تحتل محافظة عدن والتي تضم محطات الحسوة والمنصورة ١ والمنصورة ٢
وخور مكسر والتواهي المرتبة الأولى من حيث إنتاج الطاقة الكهربائية في
المنظومة الموحدة، حيث أنتجت ١١٩٣.١ جيجا واط/ساعة عام ٢٠٠٩م، مثل
ذلك ما نسبته ١٧.٧% من جملة إنتاج المنظومة، تليها محافظة تعز والتي تضم
كلا من محطتي المخاء وعصيفرة، وكان إنتاجها في العام نفسه ١١٥٩.٣ جيجا
واط/ساعة، شكلت نسبة ١٧.٢% من جملة إنتاج المنظومة، وجاءت محافظة
صنعاء والتي تضم محطات ذهبان ١ وذهبان ٢ وحزيز ١ وحزيز ٢ وحزيز ٣
وصنعاء في المرتبة الثالثة بكمية إنتاج بلغت ١٠١٤.٣ جيجا واط/ساعة، بنسبة
١٥% من إجمالي إنتاج المنظومة وتوضح مؤشرات الطاقة المنتجة في
المحافظات الثلاث (عدن، تعز، صنعاء) الأهمية النسبية لتلك المحافظات
بالنسبة للمنظومة الكهربائية الموحدة .
- وجاءت محافظة الحديدة والتي تضم محطات رأس كثيب والحالي والكورنيش
في المرتبة الرابعة بكمية إنتاج بلغت ٩٩٦.٧ جيجا واط/ساعة، بنسبة ١٤.٨%
من إجمالي إنتاج المنظومة، واحتلت محافظة حضرموت والتي تضم كلا من
محطتي وادي حضرموت وساحل حضرموت المرتبة قبل الأخيرة بكمية إنتاج
٤١٨.٢ جيجا واط/ساعة، بعد ذلك جاءت محافظة أبين والتي تضم محطة
جعار المرتبة الأخيرة وأنتجت ١٧.٩ جيجا واط/ساعة، وبذلك أسهمت
المحافظة من خلال محطاتها الوحيدة المرتبطة بالمنظومة الموحدة بما نسبته
٠.٢٧% من إنتاج المنظومة.

(١) محمد، زكي أحمد مرشد، مصدر سابق، ص ١١٥.

ويلاحظ من خلال ما سبق أن كمية الطاقة الكهربائية المنتجة ليست كافية لسد حاجة السكان من الطاقة الكهربائية، فمع هذا التطور في الإنتاج ازداد عدد المشتركين في هذه الخدمة ليصل إلى ١٥٧٢ ألف مشترك نهاية ٢٠٠٩م، إلا أن عدد السكان قد ارتفع أيضا ليبلغ ٢٢.٨٨٠ ألف نسمة لنفس العام، وعلى ذلك بقية نسبة المشتركين المزودين بهذه الخدمة منخفضة ولا تزيد عن ٤٩% من إجمالي السكان^(١)، وعليه أصبح لازما على الحكومة البحث عن مصادر توليد متاحة فمزرعة رياح الزعفرانة المقامة على الضفة الغربية من البحر الأحمر بلغ إنتاجها ٩٤١ جيغا وات ساعة خلال عام ٢٠٠٨/٢٠٠٩م، وتوفر حوالي ٢٠٣ ألف طن بترول مكافئ وتحد من انبعاث حوالي ٥١٣ ألف طن ثاني أكسيد الكربون^(٢) وعليه فإن إقامة مزرعة مماثلة في الجمهورية اليمنية ستوفر ٢٠٣ ألف طن من المازوت والديزل وعليه يمكن الاستفادة من هذه الكمية في تنمية البلاد عن طريق تصديرها لرفد خزانة الدولة بالعملة الأجنبية والمحلية التي يمكن من خلالها إقامة عدد من المشاريع التي تخدم البلاد، كما ستحافظ على البيئة اليمنية عن طريق تقليل كمية المخلفات الملوثة للبيئة الناتجة عن توليد الكهرباء بالكمية المذكورة.

ثالثاً: معدل استهلاك الفرد من الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية:

يعد نصيب الفرد من الكهرباء أحد المقاييس التي تستخدم للوقوف على مدى نهضة الدولة اقتصاديا واجتماعيا، ودليل على مستوى رفاهية الفرد والمجتمع، ويقاس تقدم الأمم بمعدل ما يستهلكه الفرد من الكهرباء، وذلك لارتباطه الوثيق بالتنمية، ولا يزال نصيب الفرد من الكهرباء في الدول النامية أقل عن مثيله في الدول الصناعية، بسبب الزيادة المطردة في عدد السكان، وارتفاع معدلات نموهم، وانخفاض كل من الدخل ومستوى المعيشة لمعظم السكان، إلى جانب نقص الإمكانيات المتاحة لإنتاج ونقل وتوزيع الكهرباء^(٣)، ومعدل نصيب الفرد من الطاقة الكهربائية في الجمهورية اليمنية من أدنى المعدلات في العالم، حيث بلغ نصيب الفرد في الجمهورية عام ١٩٩٩م ١٢٤ ك و س/سنة، وبالمقارنة مع معدل

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة الكهرباء والطاقة، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، مصدر سابق، ص ١٥ و ١٩.

(٢) جمهورية مصر العربية، وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي ٢٠٠٨/٢٠٠٩م، ص ١١.

(٣) محمد، زكي أحمد مرشد، مصدر سابق، ص ٢١٦.

نصيب الفرد من الكهرباء في دول الاسكوا (٢١٠٦ ك.و.س/السنة) ومقارنة بـ ٢٤٨٢ بالنسبة إلى نصيب الفرد العالمي لنفس العام، كما أن نصيب الفرد في الجمهورية يقل كثيرا عن نظيره في الدول العربية، فنصيب الفرد في دولة الكويت ذات المساحة الصغيرة والسكان الذي لا يتعدى عددهم المليون نجد أن نصيب الفرد عام ١٩٩٩م كان ١٣٩٥٩ ك و س/سنة^(١)، ومع هذا التدني الشديد الذي نلاحظه لم يتحسن نصيب الفرد في الجمهورية اليمنية كثيرا، حيث ارتفع هذا المعدل إلى ١٢٦ ك و س/سنة عام ٢٠٠٠م، ثم ارتفع إلى ١٢٧ ك و س/سنة عام ٢٠٠١م، وظل كما هو عام ٢٠٠٢م، وبمقارنة نصيب الفرد في الجمهورية اليمنية مع نصيب الفرد في دولة الكويت أيضا نجده ١٢٣٠٥ ك و س/سنة عام ٢٠٠٠م، ثم ارتفع إلى ١٤٠٩٧ ك و س/سنة عام ٢٠٠١م، ثم ارتفع إلى ١٤٦٧٧ ك و س/سنة عام ٢٠٠٢م، ويتضح من ذلك الفرق الكبير في نصيب الفرد من الكهرباء في الدولتين، ويرجع ذلك إلى قلة عدد السكان في دولة الكويت إضافة إلى ارتفاع إنتاجها النفطي الذي يزود خزينة الدولة بمبالغ طائلة يتم من خلالها بناء المنشآت الخاصة بالتوليد وشراء الآلات اللازمة لذلك وتزويدها بالوقود اللازم^(٢)، وفي عام ٢٠٠٣م ارتفع نصيب الفرد في الجمهورية اليمنية إلى ١٣٧ ك و س/سنة، ثم ارتفع إلى ١٤٥ ك و س/سنة عام ٢٠٠٤م، ثم ارتفع إلى ١٦٢ ك و س/سنة عام ٢٠٠٥م، ثم إلى ١٧٣ ك و س/سنة عام ٢٠٠٦م، ثم إلى ١٩٠ ك و س/سنة عام ٢٠٠٧م، ثم إلى ٢٠٣ ك و س/سنة عام ٢٠٠٨م^(٣)، وفي عام ٢٠٠٩م وصل نصيب الفرد إلى ٤٣٤ ك و س/سنة^(٤)، وبمقارنة نصيب الفرد هذا أيضا بمنظمة الاسكوا التي الجمهورية اليمنية أحد أعضائها نجده ٢١٩٥ ك و س/سنة عام ٢٠٠٣م، ثم انخفض عام ٢٠٠٤م إلى ٢٠٠١ ك و س/سنة، ثم ارتفع عام ٢٠٠٥م إلى ٢١٨٥ ك و س/سنة، ووصل عام ٢٠٠٦م إلى ٢١٩٤ ك و س/سنة، ونصيب الفرد هذا معدل للدول الأعضاء والتي يتجاوز نصيب الفرد لبعض دولها ١٠٠٠٠ ك و س/سنة مثل الإمارات وقطر والكويت والبحرين، أما المتوسط العالمي لنصيب الفرد من استهلاك

(١) اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، الحد من انبعاثات غازات التدفئة من قطاع الكهرباء، أوراق موجزة لمؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، جوهانسبرغ، ٢٦ أغسطس - ٤ سبتمبر، نيويورك، ٢٠٠٢م. ص٤.

(٢) اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، تحديث دراسة الوضع الراهن لقطاعات مختارة للطاقة في دول الاسكوا: قطاعي الغاز الطبيعي والكهرباء، الجزء الثاني: قطاع الكهرباء، نيويورك، ٢٠٠٣م. ص٨٩.

(٣) الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة والكهرباء والطاقة، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، مصدر سابق، ص١٩.

(٤) الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة والكهرباء والطاقة، التقرير الإحصائي السنوي للإدارة العامة للشؤون التجارية لعام ٢٠٠٩م، يوليو ٢٠١٠م. ص٧.

الكهرباء فهو ٢٤٨٢ ك و س/فرد^(١) ، كما أن نصيب الفرد في الجمهورية اليمنية يتباين بين كافة المحافظات، وتحتل عدن المرتبة الأولى، حيث بلغ نصيب الفرد فيها ٧٧٥.٩ كيلو واط/ساعة، وذلك كونها تحظى بعدد من المحطات جعلتها تحظى بأعلى قدرة توليدية للكهرباء على مستوى الجمهورية اليمنية، وإلى قلة عدد سكانها، ونصيب الفرد في عدن ضعف نصيب الفرد في الجمهورية، تليها أمانة العاصمة في المرتبة الثانية حيث بلغ نصيب الفرد بها ٣٩١.٦ كيلو واط/ساعة، وقد استهلكت وحدها ثلث الطاقة الكهربائية المستهلكة في الشبكة الموحدة، ونصيب الفرد فيها أقل من عدن نتيجة لكثرة عدد سكانها، وعدد المشتركين فيها، وظهرت الحديدة في المركز الثالث، أما بقية المحافظات فكان نصيب الفرد بها مقارب لمعدل نصيب الفرد في الجمهورية^(٢) .

مما سبق نلاحظ مدى العجز الذي يعاني منه سكان الجمهورية ، فلمواكبة متطلبات السكان من الكهرباء زاد الضغط على محطات التوليد مما أدى إلى تفاوت كميات إنتاجها للكهرباء من سنة لأخرى وتدني إنتاج بعضها إلى حد كبير نتيجة لعدم إجراء الصيانة في مواعيد محددة أو إجراء توسعة لهذه المحطات وذلك لان توقف أي محطة لإجراء الصيانة تظهر مشكلة كثرة الانطفاءات بشكل واضح وذلك لان الطاقة المنتجة كاملة لا تلبي متطلبات السكان ١٠٠% فإن توقفت إحدى المحطات ظهرت المشكلة مباشرة، وإن بناء محطات جديدة تعمل بالوقود التقليدي يعني زيادة الطلب عليه لمواكبة متطلبات هذه المحطات من الوقود الذي تختلف كمياته من محطة لأخرى ومن وقت لآخر، وتؤثر كمية الوقود المستهلك وأنواعها وأسعارها على تكلفة الإنتاج، وعليه فكلما كانت الاستثمارات في هذا المجال موظفة توظيفاً اقتصادياً موفراً جاءت بمردودات مالية تساعد في استمرار الإنتاج وتطويره، وبما أن هنالك مصادر أخرى متاحة ومجانية يمكن أن تكون أحد الحلول لمواجهة عجز الطاقة الكهربائية وخصوصاً الطاقة الشمسية والريحية لذلك ينبغي التوجه نحوها لما تسهم به من طاقة مجانية وغير ناضبة، خصوصاً أن الظروف في الجمهورية ملائمة لإنتاج هذه الطاقة من المصدرين المذكورين وكما هو موضح في الفصل الرابع.

(١) اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، خصائص قطاع الطاقة في منطقة الاسكوا، ورقة موجزة لمؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، جوهانسبرغ، ٢٦ أغسطس- ٤ سبتمبر، الأمم المتحدة، ٢٠٠٢ م. ص٧٠.
(٢) محمد، زكي أحمد مرشد، مصدر سابق، ص٢١٩.

وبما أن الطاقة الكهربائية تغطي ٤٩% من إجمالي السكان كما ذكرنا سابقاً، فهي تتفاوت بين المدن والريف، أي أن الريف يعاني بشكل أكبر حيث توفرت الخدمة الكهربائية لحوالي ٢.١ مليون نسمة عام ٢٠٠٥، أي ما نسبته ١٥% فقط من سكان الريف علماً أنهم يمثلون ٧٥% من إجمالي السكان وتتباين نسبة التغطية لكهرباء الريف بين المحافظات، إذ بلغت أعلى نسبة تغطية في محافظة المهرة ٦١.٦% تليها محافظات صعده وأبين ولحج والضالع، بينما تنخفض نسبة التغطية في بقية المحافظات إلى أن تصل إلى ٤.٥% في محافظة الجوف، وأخيراً ٣.٢% في محافظة ريمة^(١)، ارتفعت هذه النسبة عام ٢٠٠٨ إلى ٢٢%، بينما تبلغ نسبة التغطية ٨٨% في المدن وهم يمثلون ٢٥% من السكان^(٢)، كما أن ما يزود به الريف من الكهرباء يكون من مصدرين ١٢% من قبل المؤسسة العامة للكهرباء، بينما يتم تزويد ١٠% منهم عبر مولدات خاصة، وينخفض نصيب الفرد في هذه المناطق إلى ١٠٠ كيلو واط سنوياً^(٣)، وفي الفترة الحالية (٢٠١١م) يعاني المواطن من انقطاع الكهرباء لأكثر من ٢٢ ساعة في اليوم، ولذا يلجأ الكثير من المواطنين إلى شراء مولدات خاصة للإضاءة، وهذا أثقل كاهل المواطن بأعباء إضافية على ما يعانيه من ارتفاع في الأسعار نتيجة للضرورة السياسية التي تمر بها البلاد، هذا بالإضافة إلى ارتفاع سعر اللتر من البنزين إلى ١٧٥ ريال، ولذلك وجب على الباحثين والمختصين دراسة المصادر المتاحة لإنتاج الكهرباء وخصوصاً المتجددة كالطاقة الشمسية والريحية التي يمكنها توليد الكهرباء.

رابعاً: حجم الطلب على الطاقة الكهربائية حتى عام ٢٠٢٤م:

إن التخطيط الاقتصادي هو أساس التقدم والتنمية المستدامة، حيث لا يمكن لأي دولة أن تتطور اقتصادياً واجتماعياً وتحافظ على هذا التطور دون أن تضع الخطط المناسبة التي ترفع من كفاءة استغلال الثروات الطبيعية مع مرور الزمن لذلك يعد التوقع بحجم الطاقة المطلوبة للاستهلاك من المسائل الرئيسية التي يعتمد عليها في المشاريع الاقتصادية

(١) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، خطة التنمية الاقتصادية والاجتماعية الثالثة للتخفيف من الفقر ٢٠٠٦-٢٠١٠، مصدر سابق، ص ٢٠٥.

(٢) حياتي، فهد غالب محمد، وعبد الرقيب عبده اسعد، وتوفيق سفيان، الوضع المستقبلي للطاقة الكهربائية في القطاع المنزلي في اليمن، مجلة العلوم والتكنولوجيا، كلية العلوم والهندسة، جامعة العلوم والتكنولوجيا، المجلد ٤، العدد ٢، ١٩٩٩م. ص ١.

(٣) البعداني، أروى أحمد، الواقع الحالي للطاقة في اليمن، أنظر الموقع الإلكتروني <http://shebacss.com/docs/PolicyFoucs/scssap006-10.pdf> تاريخ التصفح ٢٠١١/٣/١٠م.

والاجتماعية، باعتباره عنصر أساسي لتخطيط وتلبية الاحتياجات المستقبلية للمجتمع، ونتيجة لارتفاع عدد المشتركين من ٨٠٩ ألف مشترك عام ٢٠٠٠م إلى ١١٢٢ ألف مشترك عام ٢٠٠٥م ثم إلى ١٥٧٣ ألف مشترك عام ٢٠٠٩م، وباستخدام معادلة المنحنى الأسّي (لتقدير عدد المشتركين كل خمس سنوات) الآتية^(١):

$$P_t = p_0 e^{rt}$$

حيث: p_t = عدد المشتركين نهاية الفترة ، p_0 = عدد المشتركين في بداية الفترة ،
 $e = ٢٧.١٨٢.٨١٨$ ، r = معدل النمو ، t = الفترة الزمنية الفاصلة.
 والمعادلة المشتقة منها لاستخراج معدل النمو السنوي تكون كالآتي:

$$r = (\log P_t - \log P_0) / t \log e$$

حيث أن : r = معدل النمو ، p_t = عدد المشتركين نهاية الفترة
 $e = ٢٧.١٨٢.٨١٨$ ، p_0 = عدد المشتركين بداية الفترة ،
 t = الفترة الزمنية الفاصلة ، $\log e = ٠.٤٣٤٢٩٤٥$

ومن خلال المعادلتين السابقتين تكون النتائج كالآتي:

معدل النمو لعدد المشتركين ٦.٧٦ % ، وبذلك يتوقع أن يصل عدد المشتركين إلى ٢١٥٤ ألف مشترك عام ٢٠١٤م، ثم إلى ٣٠٢٠ ألف مشترك عام ٢٠١٩م، ثم إلى ٤٢٣٣ ألف مشترك عام ٢٠٢٤م، وتبعاً لهذا الزيادة في عدد المشتركين سيزداد الطلب على الطاقة الكهربائية من ٦٣٨٦ ج.و.س عام ٢٠٠٩م إلى ١٨٤١٩ ج.و.س عام ٢٠١٤م (باستخدام نفس المعدلة أعلاه) بمعدل نمو ٢١.١٩ % ، ثم إلى ٥٣١٢٧ ج.و.س عام ٢٠١٩م، ثم إلى ١٥٣٢٣٨ ج.و.س عام ٢٠٢٤م، أي أن زيادة الطلب على الكهرباء لكل ٥ سنوات تبلغ ٣ أضعاف، وبناء على أن معدل زيادة الطاقة المنتجة السنوي ٦ % وعلى افتراض ثبات هذا المعدل لغاية ٢٠٢٠م فننتوقع أن تبلغ الطاقة المنتجة ١٠ تريليون واط ساعة^(٢) لذلك يتوجب

(١) شجاع الدين، أحمد محمد، وزملاءه، أساسيات علم السكان طرق وتطبيقات، مركز التدريب والدراسات السكانية، جامعة صنعاء، ٢٠٠١م. ص ٣٨١

(٢) حياتي، فهد غالب محمد، وعبد الرقيب عبده اسعد، وتوفيق سفيان، الوضع المستقبلي للطاقة الكهربائية في القطاع المنزلي في اليمن، مصدر سابق، ص ٢.

على المؤسسة العامة للكهرباء التقليل من الفاقد(*) الذي يتراوح بين ٢٧ - ٣٠% من إجمالي الطاقة المنتجة، ويرجع السبب في ذلك إلى الآتي^(١):

- ١- وجود حالات عديدة من التوصيلات بدون عدادات بسبب عدم تمكن المؤسسة من شراء عدادات كافية منذ عام ٢٠٠٧م بسبب شح الموارد المالية.
- ٢- ضخ الطاقة المشتركه مباشرة على شبكات ١١ و ٣٣ ك.ف بمقاطع أسلاكها القديمة التي لم تعزز لتواكب الكميات التي تم ضخها.
- ٣- عدم اعتماد عدادات ضمن مكونات مشاريع البرنامج الاستثماري للقرى والمديريات وترمي الأعباء على المؤسسة في ظل الإمكانيات الشحيحة والعجز المالي المتواصل.
- ٤- تكرار أعداد حالات اختلاس التيار بحيث لم تعد تستطيع فرق التفتيش الحد منها لقصور الإمكانيات وتطور وسائل السرقات.
- ٥- انتشار ظاهرة اختلاس التيار لمضخات مياه القات وتطور الوسائل وسرعة إعادة المخالفة بعد إزالتها.
- ٦- إطلاق التيار لإنارة أعداد كبيرة من القرى دون عدادات تحت ضغوط المجالس المحلية والأعيان.
- ٧- ازدياد تحميل المحولات فوق قدرتها مما أدى إلى احتراق بعضها أحياناً.
- ٨- تمديد خطوط التوزيع لمسافات طويلة وبمقاطع صغيرة مما يؤدي إلى مزيد من هبوط الجهد وارتفاع الأمبير.

ويجب الإشارة إلى أن توقعات الطاقة المطلوبة للفترة من ٢٠٠٩ - ٢٠٢٥، لا تتضمن احتياجات المناطق المحرومة من خدمة الكهرباء في الوقت المعاصر، بل اقتصر على المناطق التي تغطي من الشبكة الوطنية.

وبما أن إنتاج الطاقة الكهربائية يعتمد على المصادر الحرارية (نفط + غاز) فإن الطلب على هذه سيرتفع بشكل كبير عام ٢٠٢٠م ليصل إلى ٣ أضعاف ما تستهلكه المحطات عام ٢٠٠٩م (١٤٤٩.٧٧ مليون لتر)، وهذا سيحد من مردودات الصادرات النفطية والغازية

(*) يعرف فاقد الطاقة الكهربائية بأنه الفرق بين الطاقة الكهربائية المعدة للاستهلاك على مختلف التوترات، والطاقة المباعة فعلياً (المصدرة بفواتير) لدى فئات الاستهلاك المختلفة والتي يتم رصدها بواسطة العدادات.

(١) وزارة الكهرباء والطاقة، التقرير الإحصائي السنوي للإدارة العامة للشؤون التجارية لعام ٢٠٠٩م، مصدر سابق، ص ٢٠.

التي تعتبر الممول الرئيسي لمختلف مشاريع التنمية في الجمهورية اليمنية، كما سيولد ضغط على المحطات العاملة الأمر الذي يستدعي زيادة استطاعة المحطات عن طريق تطويرها وتوسيعها أو بناء محطات جديدة لمواكبة هذه الزيادة ولعل أبرز ما لوحظ من در فعل المشتركين على عدم مقدرة المؤسسة على تغطية الطلب الأقصى للأحمال هو لجوء بعض المشتركين لشراء مولدات صغيرة تراوحت قدراتها بين (١-١٠) كيلوات خاصة في المحلات التجارية، وإذا لم تقام محطات كالمحطات التوليد النووية التي تمتاز بكونها ذات قدرة إنتاجية كبيرة ستتفاقم مشكلة عجز الكهرباء من ٥١% إلى أكثر من ذلك بكثير، خصوصا أنه يمكن استنتاج أنه لا يوجد اهتمام من قبل وزارة الكهرباء والطاقة لاستخدام تكنولوجيا الطاقة المتجددة لتوليد الطاقة بالرغم من توفر مصادر الطاقة المتجددة، لذلك ينبغي إعادة النظر والبحث عن كافة المصادر المتاحة في الجمهورية لإنتاج الكهرباء وخاصة الطاقة الشمسية والريحية والاستفادة منها الاستفادة المثلى لسد متطلبات السكان من هذه الطاقة، خصوصا أن الموقع الجغرافي للجمهورية اليمنية ميزها بإمكانية إنتاج الكهرباء من المصدرين المذكورين بكميات متباينة بحسب التقسيم الجغرافي والموضحة سابقاً.

المبحث الثاني: الاستخدامات المستقبلية للطاقة الشمسية والريحية في الجمهورية اليمنية:

كاد استخدام الطاقة المتجددة ينحصر على الدول المتقدمة وخاصة الولايات المتحدة وبريطانيا وألمانيا وفرنسا واليابان، إلا أن العديد من الدول النامية ومنها بعض الدول العربية (مصر، الأردن، المغرب) بدأت تتجه نحو استخدام الطاقة المتجددة خصوصا الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بشكل واضح، وبعضها دخلت مجال المنافسة مع الدول المتقدمة ليس فقط في الاستخدام وإنما في صنع تكنولوجيا استغلال الطاقة المتجددة.

وقبل أن نضع التصور المستقبلي لاستخدامات الطاقة الشمسية والريحية يجب أن نوضح في الاعتبار المحددات الآتية:

- ١- أن تصنع أدوات استخدام الطاقة الشمسية والريحية في الجمهورية اليمنية.
- ٢- أن تهتم الحكومة بالطاقة المتجددة خصوصا الشمسية والريحية، وإجراء العديد من دراسات الجدوى الاقتصادية.
- ٣- توعية المواطنين بأهمية الطاقة المتجددة حتى يتسنى استخدامها على نطاقات واسعة.

أولاً: الاستخدامات المستقبلية للطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية:

نظرا لاستفادة كثير من الدول العربية من هذا المصدر المتجدد للطاقة حيث استخدمت الطاقة الشمسية في مجالي التسخين المنزلي للمياه وفي تحلية المياه، كما هو الحال في الإمارات العربية المتحدة، وسوريا، ولبنان، وفلسطين، والأردن، ومصر، بالإضافة إلى وجود العديد من مصانع إنتاج أنظمة التسخين الشمسي للمياه في العديد من الدول العربية، ففي الأردن يوجد ٢٥ مصنع تنتج ٤٠٠٠ نظام تسخين شمسي للمياه سنويا، وقد بلغ مجموع ما تم تركيبه في الأردن نحو ٧٠٠ ألف متر مربع من المجمعات الشمسية حتى العام ٢٠٠٦، وفي فلسطين تستخدم أجهزة التسخين الشمسي للمياه في حوالي ٧٠ % من المنازل، مع وجود ١٠ مصانع في الضفة الغربية وخمس مصانع في قطاع غزة، أما في مصر فقد تم تنفيذ بعض المشروعات الريادية في مجال التسخين الشمسي للمياه لدرجات الحرارة المتوسطة واستعادة الحرارة المفقودة بالتعاون مع بعض الجهات الأجنبية، ويصل عدد السخانات الشمسية المستخدمة في المنازل إلى نحو ٢٥٠ ألف سخان أي ما يعادل نحو ٥٠٠

ألف متر مربع، إلا أن التطور الأهم لاستخدام الطاقة الشمسية في الدول العربية هو بدء الدخول في نظم التوليد الشمسي الحراري للكهرباء إلى حيز التطبيق، ففي مصر تم البدء في تركيب محطة شمسية حرارية بالتكامل مع الدورة المركبة بقدرة ١٤٠ ميغاوات ، وفي المملكة المغربية يجري الإعداد لبدء مراحل إنشاء محطة مماثلة بقدرة ٤٧٠ م.و من الطاقة الشمسية، أما في الجزائر فقد تم توقيع عقد إنشاء محطة شمسية حرارية مشابهة بقدرة ١٥٠ م.و^(١)، وعليه يمكن استفادة الجمهورية اليمنية من تجارب هذه الدول للاستفادة من الطاقة الشمسية في شتى النواحي المختلفة، إلا أنه يمكن تحديدها في الآتي:

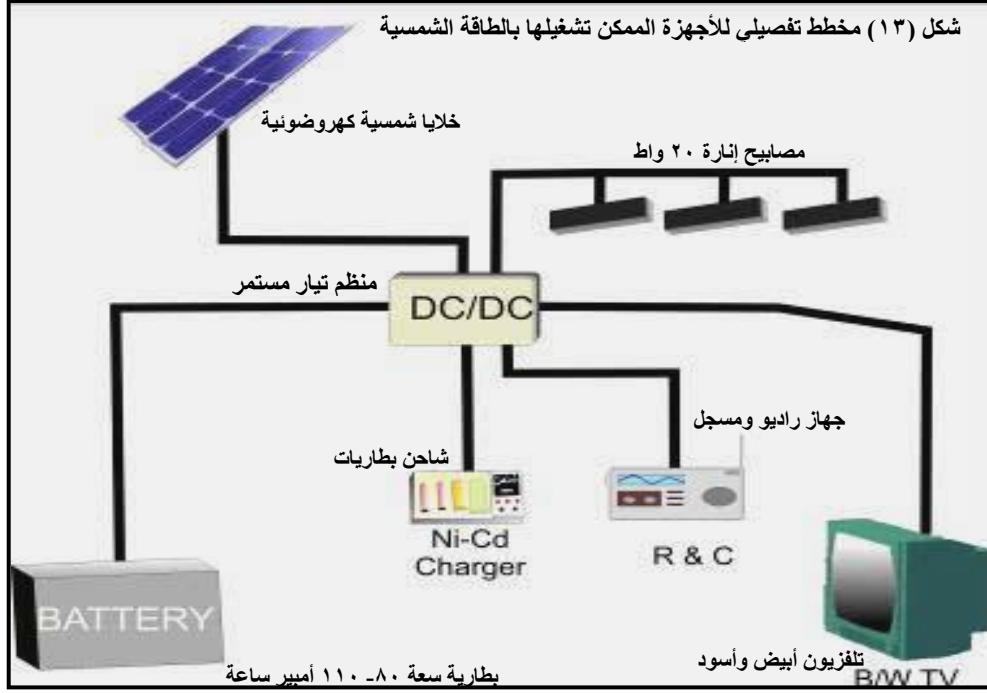
١- الاستخدام غير المباشر (تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية): يتم تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء باستخدام الخلايا الشمسية (الفوتوفولطية) وهذه الخلايا تصنع من السيلكون المبلور أو غير المبلور حيث تتحول الأشعة الشمسية إلى طاقة كهربائية لمجرد تعرض أسطح الخلايا إلى ضوء الشمس^(٢)، وتعد الخلايا الشمسية أبسط وأسهل الطرق لتحويل الأشعة الشمسية إلى طاقة كهربائية مباشرة دون وجود أجزاء متحركة يمكن أن تتآكل أو تعرض الآخرين للإزعاج أو الخطر، ولتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية ذات كفاءة عالية أثناء النهار والليل وفي فترات التغيم لابد من تكوين النظم الفوتوفولطية التي تتكون من الخلايا الشمسية وبطاريات التخزين والدوائر الالكترونية للتحكم في عملية شحن البطاريات، ويضاف إلى تلك المكونات عدادات كهربائية تقيس كمية الطاقة الخارجة من الخلايا والبطاريات ودائرة إلكترونية لإرسال واستقبال المعلومات من نظم الاتصال، وعلى ذلك يمكن استخدامها في الآتي:

أ- إنارة المنازل بالخلايا الشمسية: تعد الطاقة الشمسية أحد الحلول لأزمة الطاقة الكهربائية وخاصة في إنارة منازل القرى النائية المحرومة من الكهرباء لبعدها عن الشبكة الوطنية من ناحية، ومن ناحية أخرى وعورة التضاريس التي تحول دون إيصال الخدمة إليها، لذلك ينبغي توجه الدولة إلى إنارة هذه القرى التي تصل إلى أكثر من ٥٠% وفق تقرير وزارة الكهرباء لعام ٢٠٠٩م بالخلايا الشمسية حيث وأن الجمهورية تقع ضمن المنطقة

(١) الخياط، محمد مصطفى محمد، وماجد كرم الدين محمود، سياسات الطاقة المتجددة إقليمياً وعالمياً، وزارة الكهرباء والطاقة، مصر، ٢٠٠٩م.

(٢) الامير، فؤاد قاسم، حل مشكلة الطاقة هو التحدي الأكبر للبشرية في القرن الحادي والعشرين، بغداد، مؤسسة الغد للدراسات والنشر، ٢٠٠٥م. ص ١٩٩ و ٢١٠.

الشرق الأوسط الذي يتميز بأعلى معدلات الإشعاع الشمسي في العالم، هذا بالإضافة إلى ما ذكر سابقاً عن كون المتر المربع من الخلايا الشمسية يمكن أن يولد طاقة كهربائية تتراوح بين ٧٠٠-١٠٠٠ واط ساعة، وبناء على أن استهلاك المنزل ٢١٢ واط ساعة في اليوم مما يعني أن المتر المربع من الخلايا الشمسية يمكن أن ينير ٣ منازل ويشغل بعض الأجهزة الضرورية (تلفزيون، راديو، مسجل)^(١)، أنظر الشكل (١٣) وذلك بإنشاء وحدات طاقة



المصدر: اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، التقدم المحرز في مجال الطاقة منذ الدورة السابعة للجنة الطاقة، لجنة الطاقة، الدورة الثامنة من ١٣-١٤ ديسمبر، بيروت، ٢٠١٠م، ص٧.

شمسية بالتعاون بين الحكومة والأفراد، ويفضل أن تتصل هذه الخلايا الشمسية بشبكة المؤسسة العامة للكهرباء بواسطة عدادات تحسب كمية الاستهلاك من الطاقة الشمسية والكهربائية ويتطلب هذا المشروع:

١- توفير خلايا شمسية منخفضة الأسعار (مدعومة حكومياً) على أن تتركب فوق أسطح المنازل وبذلك ينتهي الاعتراض الذي يوجه للخلايا الشمسية بأنها تحتل مساحة كبيرة من سطح الأرض.

(١) مندور، مسعد سلامة مسعد، الإشعاع الشمسي في مصر دراسة في الجغرافيا المناخية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة المنصورة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، ٢٠٠٢م. ص ٢٤٢.

٢- توفير بطاريات شحن لتوفير الطاقة ليلاً، وهي لا تحتاج إلى مساحة كبيرة ويمكن أن توضع تحت السلالم أو على السطح.

٣- توفير عدادات لتقدير كمية الطاقة الشمسية المستخدمة والفائض منها يوجه إلى الشبكة الكهربائية، وعلى ذلك سيترتب الآتي:

أ- أن جميع القرى خاصة النائية سيتم إنارتها وبدون أعطال متكررة كما يحدث الآن.

ب- زيادة دخل المواطن نتيجة أن الخلايا الشمسية والبطاريات لا تحتاج إلى صيانة لمدة تتراوح بين ١٠ - ١٥ سنة.

ج- توفير الاستهلاك الشهري من الكهرباء، إضافة إلى بيع الطاقة الزائدة عن احتياجات المسكن إلى الشبكة العامة.

د- سيوجد المشروع فرص عمل كثيرة لليد العاملة بمختلف تخصصاتها.

هـ- سيقفل من سرقة الطاقة الكهربائية.

و- سيخفف على الدولة من زيادة الشبكة في حالة أنها محطات خاصة.

ج- إنارة اللوحات الإعلانية الكبيرة وأسوار الهيئات الحكومية ليلاً:

يمكن استخدام الخلايا الشمسية في إضاءة لوحات الإعلانات خصوصاً الكبيرة منها، وذلك عن طريق تركيب خلية شمسية فوق سطح اللوحة ويتصل بالخلية بطارية شحن لتخزين الطاقة الكهربائية ومثبته فوق أعمدة اللوحة، ويتصل بالبطارية مجموعة من الكشافات بحسب احتياج اللوحة، وتضيء الكشافات بمجرد اختفاء الإشعاع الشمسي، وهذا النظام يمكنه العمل بكفاءة عالية طوال السنة.

كما يمكن استخدام الخلايا الشمسية في إضاءة أسوار الهيئات الحكومية والشوارع المحيطة بها عن طريق تركيب أعمدة مثبت فوقها خلايا شمسية متصلة ببطارية أسفل العمود، والبطارية متصلة بكشافات للإضاءة (شكل ١٤)، ويتم توزيع هذه الأعمدة على طول السور بمسافة ١٠ أمتار أو أكثر بين كل عمود وآخر، ويمكن بنفس الطريقة إنارة الشوارع الرئيسية والفرعية في المدن وبذلك نخفف الحمل عن المؤسسة العامة للكهرباء.

هـ - استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه:

إن إنتاج الماء الساخن هو الأكثر شيوعاً في استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في الوقت الحاضر، فقد انتشر استخدام السخانات الشمسية على نطاق واسع ووجدت رواجاً شعبياً في عدد كبير من الدول المتقدمة والنامية على السواء، فمصانع الهند مثلاً باعت ٧٠% من إنتاجها لنظم التسخين الشمسي بسعر ٩٠ دولار/م^٢ و ٢٦% بسعر بين ١٠٠ - ١٢٠ دولار/م^٢ بحسب المواصفات، والسبب وراء انتشار السخانات الشمسية هو انخفاض تكلفتها



شكل (١٤) إنارة أسوار الهيئات الحكومية بالخلايا الشمسية

المصدر: جمهورية مصر العربية، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة، التقرير السنوي ٢٠٠٤، ص ١٧.

وصيانتها مقارنة بالسخانات الكهربائية، كما دخلت السخانات الشمسية للمياه المصنعة في مصر إلى سوقها المحلي منذ فترة طويلة حيث يبلغ الإنتاج السنوي لتلك السخانات حوالي ٢٥ ألف متر مربع بينما تبلغ المساحة الكلية المركبة حالياً حوالي ٣٠٠ ألف متر مربع حتى ٢٠٠٦م^(١).

لذلك يعد تسخين المياه من أنجح طرق الاستفادة من الطاقة الشمسية وأسهلها وذلك للأسباب الآتية:-

^(١) مركز تحديث الصناعة، قطاع الطاقة المتجددة في جمهورية مصر العربية، مشروع رقم (IMC/PS٢١٧)، مصر، ٢٠٠٦م. ص ١٩.

*- كفاءة السخان الشمسي مرتفعة، حيث أن السخان الشمسي الذي يتكون من لوح سعته ٥٠ لتر يبدأ التسخين منذ شروق الشمس لمدة أربع ساعات فنحصل على ماء ساخن ٧٠° مئوية، تفرغ هذه الكمية بعد ذلك إلى خزان حافظ لحرارة المياه، ويستمر العمل بشكل منتظم طوال اليوم حتى غروب الشمس، وبذلك تتكرر هذه العملية طوال السنة^(١).

*- طول العمر الافتراضي للسخان الشمسي والبالغ ١٥ سنة، كما لا يحتاج خلال هذه الفترة إلى صيانة سوى تنظيف الخلايا الشمسية من الأتربة العالقة بها.

*- أن السخان الشمسي يتفوق اقتصادياً على نظم التسخين الأخرى علاوة على عدم تلويث البيئة وانعدام الخطورة في استخدامه.

و- استخدام الطاقة الشمسية لتحلية المياه مباشرة:

يعد استخدام الطاقة الشمسية في هذا الغرض من أول استخدامات الطاقة الشمسية، فقد استخدم عام ١٨٩٢م في شيلي لتزويد عمال المناجم بالمياه الصالحة للشرب^(٢)، والآن أصبح الاستخدام على مدى واسع في المناطق الغنية بالطاقة الشمسية لتغذية المناطق الفقيرة للمياه العذبة.

وعلى الرغم من وقوع الجمهورية اليمنية ضمن أكبر نطاقات العالم في معدلات الإشعاع الشمسي الواردة إليها طوال أيام السنة إلا أنها لم تستفيد من هذه الميزة في تحلية المياه لتغذية المناطق الفقيرة لها كمحافظة تعز، ولذلك ينبغي على الحكومة والقطاع الخاص في الفترة القادمة الاستفادة والتوسع في استخدام الطاقة الشمسية عن طريق إنشاء محطات تحلية للمياه وذلك للأسباب الآتية:

- ١- التوسعات الزراعية التي تشهدها البلاد وخصوصاً في المناطق الشرقية الصحراوية.
- ٢- أن الموارد المائية لا تكفي احتياجات كثير من المناطق اليمنية، وفي ظل غياب شبكة مياه سطحية جارية في البلاد، ولذلك نصيب الفرد في اليمن من المياه تتراوح بين ١٢٠- ٢٠٠م^٣ سنوياً، وهذه النسبة المتدنية لا تتجاوز ٣% من المعدل السنوي لنصيب الفرد في العالم البالغ ٣٧٥٠٠م^٣، وهذه الوضعية تعتبر مشكلة في حد ذاتها بالإضافة إلى أن هناك قضايا تزيد الأمر حدة منها: النمو السكاني المتزايد الذي تشهده الجمهورية اليمنية، فمعدل

(١) مندور، مسعد سلامة مسعد، مصدر سابق، ص ٢٥١.

(٢) مندور، مسعد سلامة مسعد، المصدر نفسه، ص ٢٥٥.

النمو السكاني ٣.٧ % وهو من أعلى المعدلات في العالم ، فالنمو السكاني يعني أن نصيب الفرد من المياه يقل سنوياً ^(١).

وقد أكسب موقع الجمهورية اليمنية الجغرافي ميزة إنشاء محطات لتحلية المياه، وذلك لكونها تقع مجاورة لمساحات مائية واسعة كالبحر الأحمر والبحر العربي وخليج عدن إضافة إلى المحيط الهندي والذي تقع به بعض الجزر اليمنية، والتضاريس لا تمثل عائق أمام إنشاء أحواض التبخير للمياه لاستواء المناطق المحيطة بالمسطحات في أماكن عديدة ولمسافات طويلة، حيث يتم تحلية المياه بحجز المياه المالحة في حوض من الخرسانة المسلحة لتحاشي الصدأ والتآكل للأحواض الحديدية، وتكون مساحة الحوض على حسب كمية المياه المطلوبة، ويغطي الحوض بغطاء زجاجي مائل لتجميع الأشعة وتسليلها على المياه فتبخرها، ثم يتكاثف البخار على سقف الغطاء الزجاجي من الداخل ثم تتحرك قطرات المياه العذبة لتنساب إلى خارج الحوض فتجمع وتستخدم ^(٢).

كما أنه في الوقت المعاصر صممت محطات من الخلايا الشمسية لتحللت المياه حيث يحتاج إنتاج المتر المكعب من الماء المقطر إلى ٥ كيلو واط ساعة كهربائية وبما أن الكيلو متر المربع في الشرق الأوسط والذي الجمهورية اليمنية جزء منه ينتج ٣٥٠.٢ مليون كيلو واط ساعة/سنة بكفاءة تحويل ١٥ % فقط، فإن طاقة الكيلو متر المربع ستنتج ٧٠ مليون متر مكعب من الماء الصالح للشرب في العام بمعدل ٤٢.٢ مليون جالون (١٩٢٠٠٠ متر مكعب) في اليوم للكيلو متر ^(٣).

ز- استخدام الطاقة الشمسية في تجفيف المحاصيل الزراعية:

يعتبر تجفيف المنتجات الزراعية من أقدم الطرق التي استخدم الإنسان فيها الطاقة الشمسية لحفظ منتجاته الزراعية، وعملية التجفيف هي تعريض المنتجات الزراعية للشمس لفترة طويلة وبشكل مباشر مثلما يحدث في جميع محافظات الجمهورية اليمنية حتى الآن، وتتم عملية التجفيف عن طريق نشر وتوزيع المنتجات على مساحة واسعة من الأرض سواء

(١) رئاسة مجلس الوزراء، الهيئة العامة للموارد المائية، ندوة الإدارة المتكاملة للموارد المائية في اليمن، صنعاء ١٩٩٦م. ص٣.

(٢) مندور، مسعد سلامة مسعد، مصدر سابق، ص٢٥٥ - ٢٥٦.

(٣) القبيسي، درويش محمد خميس فريح، وزملانه، طاقة المستقبل للعالم العربي- مقارنة الطاقة الشمسية بالطاقة الذرية، المركز الدولي لأنظمة المياه والطاقة، أبو ظبي، ٢٠١٠م. ص١٨.

داخل الحقل أو خارجه، ثم تترك المحاصيل حتى تجف، ولكن من عيوب هذه العملية تعرض المحاصيل للأتربة والحشرات والأمطار مع صعوبة التحكم في معدلات التجفيف، ولأهمية دور التجفيف لحفظ المحاصيل فقد ظهرت أجهزة التجفيف الشمسي، (أنظر الشكل ١٥) حيث الهواء في سخان شمسي ويدفع إلى غرفة التجفيف بتيار حمل، ونتيجة لقلّة المحاصيل التي يجففها الفرد وارتفاع تكاليف التجفيف بها لا يستطيع الفرد استخدامها^(١)، لذلك يمكن للدولة أن تنشأ مجففات شمسية في مراكز وزارة الزراعة المنتشرة في محافظات الجمهورية



شكل (١٥) المجففات الشمسية الحديثة

المصدر: الموقع الإلكتروني، <http://www.agr-eng.com/forum/showthread.php?t=٨٧٨٩>، التصفح ٢/٢٠١١م.

على أن يستخدمها المزارع مقابل رسوم رمزية، وهذه الرسوم تحصل وتحفظ لصيانتها وتصلحها من الاعطاب التي قد تصيبها لتستمر بالعمل أكبر وقت ممكن، أو توفير مجففات صغيرة الحجم مدعمة حكومياً ليتسنى للمزارعين شرائها وذلك لصعوبة نقل المحصول ذا الكميات الكبيرة إلى حيث تواجدها.

ب- استخدامات الطاقة الشمسية في الصناعة:

يتم ذلك عن طريق تشجيع المصانع تطوير مصادر طاقتها بالاعتماد على الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية- طاقة الرياح) لكونها طاقة أرخص وتستمر لسنوات (٢٠- ٢٥ سنة) ولا تتأثر بانطفاءات الكهرباء المتكررة التي تحد من كمية المنتجات الصناعية، وإذا تم ذلك سيترتب عليه آثار بيئية وصناعية واقتصادية تتمثل في الآتي:

(١) حسن، نوبي محمد، ومحمود عبد الهادي الإكياي، استخدام تقنيات الطاقة الشمسية في المدن الجديدة، ندوة المدن الجديدة ودورها في التنمية المستدامة، ٢٤-٢٧ نوفمبر، أكادير، المملكة المغربية، ١٩٩٩م. ص ٤.

١ - تقليل كمية الملوثات المنبعثة من المصادر التقليدية للطاقة.

٢ - توفير الأموال المستغلة في مصادر الطاقة التقليدية (كهرباء، نفط، غاز) ويمكن أن توجه هذه الأموال إلى تطوير الصناعة في هذه المصانع.

د- استخدام الطاقة الشمسية في ضخ المياه من الآبار:

المضخة الشمسية: هي مضخة تستخدم الطاقة الشمسية في توفير مصدر الطاقة اللازمة لإدارتها، ويمكن استغلال هذه المضخة في المناطق الصحراوية كالمناطق الشرقية من الجمهورية، حيث يمكن لأربع مضخات ري أن تعمل إذا زودت بوحدات توليد شمسية تنتج ١٤ كيلو واط، حيث يمكنها ضخ ٣٠٠ م^٣/يوم وهذه الكمية كافية لري ٦٠ فدان^(١).

هـ - استخدام الطاقة الشمسية في قطاع الاتصالات:

يقوم قطاع الاتصالات باستخدام تطبيقات الطاقة الشمسية وذلك نظراً لإمكانية الاعتماد عليها بدرجة كبيرة وقلة احتياجها للصيانة، كما أنها أثبتت كفاءتها في إمكانية الإمداد المستمر للطاقة.

تختلف القدرة اللازمة لتشغيل محطات الاتصالات باختلاف طبيعة المحطة وعدد المشتركين وقنوات الاتصال للمحطة، وكون محطات الاتصال تعمل عادتاً بجهد ١٢VDC و ٤٨VDC وعليه يمكن الحصول على هذا الجهد باستخدام الألواح الفوتوفولطية القياسية وخلايا بطاريات قياسية أيضاً، وتحديد عدد الألواح يعتمد على القدرة وما تحتاجه المحطة من قدرة تشغيلية وتخزين كمية تكفي المحطة بعد الغروب أو في الأيام الغائمة.

ولعل ما يؤكد إمكانية الطاقة الشمسية في هذا المجال أن البلاد فقد استخدمت هذا النوع وأكبر محطة تعمل به هي محطة الضبيات حيث تحتوي على ١٢ لوح ذو قدرة ٤٦ واط للوح الواحد و ١٠٤ واط لوح ذو قدرة ٣٦ واط أي بقدرة إجمالية تصل إلى ٨٩٦ كيلو واط تحت إشعاع ١٠٠٠ واط/م^٢ أو ٥٠ كيلو واط ساعة من الطاقة الكهربائية يومياً^(٢).

(١) مندور، مسعد سلامة مسعد، مصدر سابق، ص ٢٤٥.

(٢) حياتي، فخر غالب محمد، وعبد السلام الخليدي، استخدام الطاقة الفوتوفولطانية في شبكة الاتصالات في اليمن، مجلة العلوم والتكنولوجيا، المجلد ٤، العدد ٢، جامعة العلوم والتكنولوجيا، صنعاء، ١٩٩٩م. ص ٩٠ - ٩١.

ثانياً: الاستخدامات المستقبلية لطاقة الرياح:-

نتيجة لانتشار استخدام مزارع الرياح في الوطن العربي نجد أن مصر والمغرب وتونس تصدر الدول العربية بإجمالي قدرات مركبة ٣١٠ ميغا واط، ١٢٤ ميغا واط، ٢٠ ميغا واط ، علي الترتيب عام ٢٠٠٧م، لتبلغ مساهمة طاقة الرياح نحو ٠.١٧% من إجمالي القدرات المركبة بالوطن العربي وهي مساهمة صغيرة ومحدودة خاصة إذا قورنت بقدرات المحطات الحرارية^(١)، أما من حيث الترتيب العالمي فتحتل ألمانيا المرتبة الأولى في العالم، حيث بلغ إجمالي طاقة الرياح المركبة لديها في نهاية عام ٢٠٠٧ حوالي ٢٢٢٤٧ ميغا واط مقارنة مع ٢٠٦٢٢ ميغا واط في عام ٢٠٠٦م، وتأتي الولايات المتحدة الأميركية في المرتبة الثانية بطاقة وصلت إلى حوالي ١٦٨٧٩ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٧م مقارنة مع ١٦٣٥ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٦م، فيما تحتل اسبانيا المرتبة الثالثة بطاقة وصلت إلى حوالي ١٥١٤٥ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٧م مقارنة مع ١٦٢٣ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٦م، أما المرتبة الرابعة فهي من نصيب الهند، حيث بلغ إجمالي طاقة الرياح المركبة لديها نهاية عام ٢٠٠٧ حوالي ٧٨٤٥ ميغا واط مقارنة مع ٦٢٢٨ ميغا واط عام ٢٠٠٦م فيما احتلت الصين المرتبة الخامسة بطاقة وصلت إلى حوالي ٥٨٧٥ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٧م مقارنة مع ٢٥٨٨ ميغا واط عام ٢٠٠٦م، كما احتلت الدانمرك المرتبة السادسة بطاقة ٣١٢٥ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٧م مقارنة مع ٣١٣٦ ميغا واط نهاية عام ٢٠٠٦م، وتراجع معدل النمو السنوي لديها بنسبة (٠.٤%) فيما بلغ معدل النمو السنوي للطاقات المركبة في الصين أعلى نسبة (١٢٧%) من بين دول العالم لعامي ٢٠٠٦ و ٢٠٠٧م، أما في فرنسا فقد ارتفع إجمالي طاقة الرياح من ١٥٦٧ ميغا واط في نهاية عام ٢٠٠٦ إلى حوالي ٢٤٥٤ ميغا واط في نهاية عام ٢٠٠٧م، وبلغ معدل النمو السنوي للطاقات المركبة (٥٦.٦%) لعامي ٢٠٠٦ و ٢٠٠٧م^(٢).

ومما سبق يمكن للجمهورية اليمنية الاستفادة من خبرة هذه الدول لاستخدام طاقة الرياح بما يتواءم مع متطلبات السكان، وعليه يمكن تحديد استخدامات الرياح المستقبلية في الآتي:

(١) الخياط، محمد مصطفى محمد، وماجد كرم الدين محمود، سياسات الطاقة المتجددة إقليمياً وعالمياً، مصدر سابق، ص٨-٩.
(٢) منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول أوابك، تقرير الأمين العام السنوي الخامس والثلاثين، مصدر سابق، ص١٠٦-١٠٧.

١- ضخ المياه:

تستخدم توربينات الرياح لضخ المياه مباشرة بتحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة ميكانيكية لتشغيل مضخات مائية، مثل توربينات الرياح الأفقية متعددة الريش القادرة على العمل في مناطق ذات سرعة رياح منخفضة تتراوح بين ٢ - ٣ م/ثا، وتتكون هذه التوربينات من عدد كبير من الريش تتراوح بين ١٢ - ٢٤ ريشة، تكون عادة على هيئة صفائح معدنية مزودة بدفة توجيه مثبتة خلف الريش.

٢- توليد الكهرباء:

تستخدم توربينات الرياح لتوليد الكهرباء حيث تتميز بسرعات دورانية عالية قادرة على تشغيل مولدات كهربائية، حيث ينحصر عدد الريش بها بين ١ - ٤ ريش، وتحتاج إلى تقنيات عالية في عملية التصنيع، وهي نوعان توربينات أفقية وعمودية المحور، وتعتبر التوربينات الأفقية هي الأكثر انتشاراً في العالم، لما لها من مزايا كخفة الوزن نسبياً، وتصنف المراوح حسب القدرة الإنتاجية إلى :

أ- توربينات صغيرة الحجم قدرتها أقل من ١٠٠ كيلو واط، وتستخدم عادة في تطبيقات منفصلة أو مع مولدات الاحتراق الداخلي لتوفير الطاقة لاحتياجات محددة.

ب- توربينات متوسطة الحجم قدرتها من ١٠٠ - ٥٥٠ كيلو واط، وهذه الأحجام قد أثبتت جدواها الاقتصادية وأقيمت العديد من المزارع الريحية من هذا النوع في مختلف أنحاء العالم لتوليد الكهرباء.

ج- توربينات عملاقة تزيد قدرتها عن ٥٥٠ كيلو واط.

٣- صناعة الملح:

يمكن استخدام توربينات الرياح (ملاحات) لضخ مياه البحر إلى أحواض خاصة لاستخراج الملح، وقد أثبتت هذه الطريقة نجاحها لعقود من الزمن حتى أهملت مطلع ستينيات القرن الماضي^(١)، ومن خلال ذلك نلاحظ مدى الجدوى الاقتصادية لهذا المشروع، فقد كان ناجحاً على الرغم قدم التوربينات، وعليه نجد أنه بتطور تكنولوجيا الطاقة الريحية سيزيد

(١) محمد، زكي أحمد مرشد، مصدر سابق، ص ٢٥٧.

إنتاج هذه الملاحات خصوصا أن الجمهورية اليمنية تمتاز بسرعة رياح مشجعة لإنشاء هذه الملاحات في كثير من المناطق الساحلية الغربية أو الجنوبية، ولكن ينبغي قبل ذلك البحث عن ممول للمشروع ودراسة إمكانية الإنتاج ومناطق التسويق المستهلكة للمنتج حتى يتضمن بيع ما يحصل عليه من الملاحات، ولتشجيع القطاع الخاص الخوض في هذا المضمار حتى تتعدد المشاريع الاقتصادية في البلاد لنحصل على تنمية مستدامة.

٤- طحن الحبوب:

تعد عملية طحن الحبوب من أقدم الطرق (من قبل الميلاد) التي تم عن طريقها الاستفادة من طاقة الرياح لطحن الحبوب، وعلى الرغم من كون توربينات الرياح في ذلك الوقت بدائية إلا أنها كانت ذات فاعلية كبيرة في طحن الحبوب لتواكب متطلبات الشعوب منه، أما في الوقت الحاضر ومع التطورات الكبيرة في مجال تكنولوجيا التوربينات الريحية، فستكون هذه الطريقة ذات جدوى اقتصادية كونها ستوفر الكثير من الوقود المستخدم لتشغيل الآلات المستخدمة في طحن الحبوب، خصوصا أن الجمهورية اليمنية تحظى بمناطق كثيرة تمتاز بسرعة الرياح مناسبة لعمل مثل هذه المشاريع، وستكون ذات جدوى أكبر بدخول القطاع الخاص في مثل هذه المشاريع كونه سيعمل على توزيع هذه المشاريع على مناطق عدة، كما أن ذلك سيخلق سوق تنافسية مما يخفض من أجور هذه العملية لتتماشى مع قدرة المواطنين المعيشية.

خلاصة:

توصلت الدراسة في المبحث الأول من هذا الفصل إلى أن محطات التوليد الحرارية المستخدمة في الجمهورية غير قادرة على سد حاجة السكان من هذه الخدمة، كما بينت مدى ما تستهلكه هذه المحطات من النفط والزيوت، وبذلك تستهلك جزء كبير من النفط يمكن أن يسهم في تنمية البلاد بشكل أفضل لو استغل في التصدير ويعوض عن ذلك بعمل محطات غازية كمحطة مأرب يمكن أن تنتج كميات كبيرة من الكهرباء وخصوصاً أن احتياطي الغاز أكثر من النفط، كما بينت الوضع المستقبلي لعدد المشتركين في هذه الخدمة حيث بلغ معدل النمو ٦.٧% للمشاركين وعلى ضوء ذلك يجب أن تسرع الحكومة في بناء المحطات الجديدة التي تم وضع الخطط لها أو تكملة المحطات التي تم إنشاء المرحلة الأولى منها لتواكب هذه الزيادة، وبينت أن نصيب الفرد في الجمهورية أقل بكثير من نصيب الفرد الكويت والإمارات ومنظمة الاسكوا، وهو يعتبر جزء بسيط من نصيب الفرد العالمي.

كما توصلت في المبحث الثاني إلى إمكانية استخدام الطاقة الشمسية والريحية في الإنارة المنزلية وبذلك يتم توفير أجور الإنارة مما يزيد من ارتفاع معيشة مستخدميها كما يمكنه بيع الفائض عن حاجته للشبكة الوطنية وبذلك تعتبر مصدر دخل، كما بينت إمكانية استخدامها في ضخ المياه، إنارة الشوارع وأسوار الهيئات الحكومية واللوحات الإعلانية الكبيرة، كما بينت إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في تحلية المياه حيث أن إنتاج المتر المكعب من الماء المقطر يحتاج إلى ٥ كيلو واط ساعة كهربائية وبما أن الكيلو متر المربع في الشرق الأوسط والذي الجمهورية اليمنية جزء منه ينتج ٣٥٠.٢ مليون كيلو واط ساعة/سنة بكفاءة تحويل ١٥% فقط، فإن طاقة الكيلو متر المربع ستنتج ٧٠ مليون متر مكعب من الماء الصالح للشرب في العام، كما بينت إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه حيث أن السخان الشمسي الذي يتكون من لوح سعته ٥٠ لتر يبدأ التسخين منذ شروق الشمس لمدة أربع ساعات فنحصل على ماء ساخن ٧٠° مئوية، وإمكانية استخدامها في الاتصالات.

النتائج والتوصيات

أولاً : النتائج

ثانياً: التوصيات:

أولاً: النتائج

توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج ذكرت في نهاية كل فصل من فصول الدراسة ولا بد من إبراز أهم تلك النتائج وكما يأتي:

- ١- كمية إجمالي استهلاك محطات الكهرباء من الوقود وصل إلى ١٩٧٦ مليون لتر منها ١٠٨٠ مليون لتر مازوت و ٨٩٦ مليون لتر ديزل.
- ٢- أقل زاوية لسقوط الإشعاع تتراوح بين ٤٩.٣ ° في صعدة أقصى شمال الجمهورية اليمنية وبين ٥٤.٤ ° في جزيرة سقطرى أدنى جنوب الجمهورية اليمنية في فصل الشتاء، وترتفع هذه الزاوية بتدرج حتى تتعالم على الجمهورية اليمنية في شهري مايو أثناء حركة الشمس من خط الاستواء إلى مدار السرطان، وفي يوليو أثناء عودة الشمس من مدار السرطان إلى خط الاستواء.
- ٣- تأتي مأرب أعلى المناطق من حيث صفاء السماء بنسبة سنوية بلغت ٧٨% تتباين هذه النسبة بحسب الشهور وتكون أعلى نسبة ٩٢% في شهر نوفمبر وأقل نسبة ٦٦% في شهر يوليو نتيجة لتشكيل السحب.
- ٤- جاء إقليم المرتفعات الجبلية في المرتبة الأخيرة من حيث صفاء السماء حيث لا تزيد النسبة السنوية عن ٦١%.
- ٥- احتل إقليم المنخفضات الوسطى المرتبة الأولى من حيث ساعات السطوع السنوية حيث كانت ٩.١ ساعة/يوم.
- ٦- جاء إقليم الهضبة الشرقية في المرتبة الأولى من حيث كمية الإشعاع الشمسي بمعدل سنوي بلغ ٢١.٧ ميجا جول/م^٢/يوم.
- ٧- أن علاقة الارتباط (بيرسون) بين زاوية السقوط وكمية الإشعاع الشمسي ٠.٧٤. وبذلك تكون العلاقة بينهما طردية.
- ٨- يأتي إقليم الهضبة الشرقية في المرتبة الأولى من حيث كمية الطاقة الشمسية فيبلغ المعدل السنوي ٦ كيلو واط بانحراف معياري قدره ٠.٢١ وهذا يدل على استقرارية توليد الطاقة.

- ٩- احتل إقليم المنخفضات الجبلية المرتبة الأولى من حيث ما يتوقع توليده من كهرباء بمعدل ٨٧٥ واط/م^٢/يوم، وذلك لكونها ضمن المناطق التي تمتاز باعتدال درجة حرارتها طوال العام.
- ١٠- جاء إقليم الهضبة الشرقية في المرتبة الثانية على الرغم من كونه يحظى بأعلى كمية إشعاع إلا أن درجة الحرارة المرتفعة به تؤثر على قدرة الإنتاج للخلايا الشمسية وبذلك تبلغ كمية الكهرباء المتوقع إنتاجها ٨٢٤ واط/م^٢/يوم.
- ١١- يمكن عند استثمار مصادر الطاقة المتجددة تخفيض كميات النفط والغاز المستهلكة محلياً في إنتاج الكهرباء، وبالتالي يمكن تصدير هذه الكميات لرصد ميزانية الدولة بالعملة الصعبة.
- ١٢- يرتفع عدد المشتركين في هذه الخدمة بمعدل نمو ٦.٧% سنوياً.
- ١٣- بلغ معدل نصيب الفرد في الجمهورية اليمنية عام ٢٠٠٩م إلى ٤٣٤ ك و س/سنة، وبمقارنته بمعدل نصيب الفرد بدول منظمة الاسكوا الذي بلغ ٢١٩٤ ك و س/سنة، ويتجاوز نصيب الفرد لبعض دول ١٠.٠٠٠ ك و س/سنة كما في الإمارات وقطر والكويت والبحرين، أما المتوسط العالمي لنصيب الفرد من استهلاك الكهرباء فهو ٢٤٨٢ ك و س/فرد.
- ١٤- يؤدي اختلاف قيم الضغط الجوي إلى تشكل نسيم الوادي والجبل ونسيم البر والبحر على المناطق المتضرسة والسهول الساحلية.
- ١٥- يكون إقليم السهول الساحلية في المرتبة الأولى من حيث سرعة الرياح حيث يبلغ معدلها السنوي ٥.٤ م/ث على ارتفاع ١٠ أمتار.
- ١٦- أفضل المناطق إنتاجاً للطاقة الكهربائية هي جزيرة سقطرى لكون سرعة الرياح بها تصل إلى ١٥.٣ م/ث في يوليو.
- ١٧- هناك مناطق تتسم بسرعات رياح عالية كمأرب، وعدن والحديدة وذمار وهذه المناطق تكون سرعة الرياح بها أكثر من ٤.٣ م/ث، وبذلك تكون ذات جدوى اقتصادية لإنتاج الطاقة.

- ١٨- أحتل إقليم المرتفعات الجبلية المرتبة الأخيرة من حيث كمية الطاقة الكهربائية المتوقعة والتي بلغت ٢٥.٤ واط/م^٣/ساعة.
- ١٩- أن المتر المربع على ارتفاع ١٠م سينتج ٥٨.٤ واط إذا كانت سرعة الرياح ٤.٤م/ث، أما على ارتفاع ٧٨م سينتج ١٢١٠ واط إذا كانت قدرة التوربينات ٦٠٠ كيلو واط كما هو المتوقع لكلا من الحديد- عدن- ذمار.
- ٢٠- حجم الطاقة الكهربائية المولدة في الوقت الراهن في الجمهورية اليمنية غير كافي لتلبية الطلب الحاضر أو المستقبلي حيث لا تغطي الكهرباء سوى ٤٩% من السكان، وبما أنه يتوقع أن يزداد الطلب بنسبة ٦.٧٦% سنوياً خلال الخمسة أعوام القادمة، وعليه ستحتاج الجمهورية اليمنية إلى إنتاج ١٨.٤١٩ ج.و.س بحلول العام ٢٠٢٠م أي ٣ أضعاف ما أنتجته عام ٢٠٠٩م ، لذلك يمكن استثمار مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية والريحية بهدف سد الحاجة المتزايدة للسكان.
- ٢١- يمكن لصناعة تكنولوجيا الطاقة المتجددة أن تساهم بالتنوع الاقتصادي وتوفير الوظائف الجديدة للشباب عن طريق إنشاء الورش والمعامل الصناعية المتخصصة بعمل الأدوات المطلوبة المتنوعة.
- ٢٢- يعتمد استخدام الطاقة المتجددة من الشمسية والريحية على توفر المساعدات الخارجية مالياً وفنياً ، لتخوف الاستثمار المحلي من العمل في هذا المجال في كثير من الدول بما فيها بلادنا.

ثانياً: التوصيات:

إن البحث والمثابرة في إيجاد بدائل للطاقة (الإحفورية) ما هو إلا جزء مكمل لاستمرارية البحث عن مصادر أخرى لسد العجز في الطاقة الكهربائية والحفاظ على المستوى الاقتصادي الذي تنعم به الجمهورية اليمنية الآن ومن أجل مواكبة بقية دول العالم في هذا المجال، واعتماداً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة يقترح مراعاة التوصيات الآتية:

١- التخلص من وحدات الديزل بصورة تدريجية، بدءاً من المحطات ذات القدرات الأصغر، لارتفاع تكاليف تشغيلها، واستهلاكها العالي للوقود، وقلة إنتاجها، فضلاً عن أضرارها البيئية.

٢- حصر وتقييم مصادر الطاقة المتجددة بهدف توفير بيانات دقيقة لإمكانية استغلالها بشكل عام ومصادر طاقة الرياح والطاقة الشمسية خصوصاً والتخطيط لاستخدامها في إطار السياسة العامة لوزارة الكهرباء والطاقة.

٣- إجراء الدراسات والبحوث الفنية والاقتصادية والبيئية اللازمة للإمكانيات المتوفرة في اليمن لتصنيع الأجهزة والمعدات اللازمة لمشاريع الطاقة المتجددة من النواحي التقنية والمالية.

٤- الاهتمام بتأهيل وتدريب الكوادر البشرية في مجال الطاقة المتجددة لرفع كفاءتها تقوم بذلك وزارات التعليم ووزارة الكهرباء والطاقة.

٥- تنشيط طرق التبادل العلمي والمشورة الفنية مع البلدان العربية والأجنبية ذات الخبرة عن طريق عقد الندوات واللقاءات الدورية عن الطاقات المتجددة وما يستجد بها من تطورات.

٦- التعاون والتنسيق بين وزارة الكهرباء والطاقة ووزارة البيئة لتنفيذ مشروعات الطاقة المتجددة من خلال آلية التنمية النظيفة للمساهمة في تحسين اقتصاديات مشروعات الطاقة المتجددة من ناحية والحفاظ على البيئة من ناحية أخرى، مثل الإعفاء أو التخفيض من الضرائب على إنتاج الطاقة من مصادر متجددة وغير ضارة بالبيئة ووضع ضرائب وغرامات على المصادر الأكثر تلويثاً.

٧- تشجع الدولة السكان على استخدام أجهزة تسخين المياه بالطاقة الشمسية لتسخين المياه في القطاع المنزلي ومنحهم الحوافز المشجعة.

٨- إصدار قانون جديد للكهرباء يشجع على نشر استخدام مصادر الطاقة المتجددة وتشجيع القطاع الخاص على الدخول في هذا المجال.

٩- إيجاد سوق تنافسية للطاقة المتجددة تسمح بخفض الأسعار والتي يمكن أن يستفيد منها المستهلكون، مع تمكين المستثمرين من الحصول على تمويل بصورة أيسر من البنوك لإقامة هذه المنشآت نتيجة الدخل المتوقع، إضافة إلى توفير ضمان لشراء الطاقة الكهربائية المنتجة من الإشعاع الشمسي والرياح من المستثمرين ولفترة زمنية طويلة (٢٠ سنة في القانون الألماني وخمسة عشر سنة في القانون الفرنسي والتشيكي) بما يضمن للمستثمرين استعادة استثماراتهم.

١٠- تأسيس صندوق لدعم مشاريع الطاقات المتجددة يستخدم في التمويل المباشر للاستثمارات أو تقديم قروض منخفضة الفائدة أو دعم السوق بوسيلة أخرى كالبحث والتطوير، وتكون موارد هذا الصندوق من خلال:

أ- مخصصات الخزينة

ب- وزارة البيئة

ج- صندوق مشروع كهربة الريف وضمن الإمكانيات المتوفرة .

د- مصادر دعم خارجية من الدول المانحة.

١١- إنشاء مركز وطني لبحوث الطاقة المتجددة وتشجيع ودعم الأبحاث المتعلقة بالطاقة المتجددة بدعم من وزارتي التعليم العالي والكهرباء والطاقة.

١٢- دعم الإنسان الريفي اقتصاديا بواسطة وزارة التجارة والصناعة على هيئة قروض مدعومة ليتسنى له شراء وتطبيق تلك الطاقات على مسكنه الريفي.

١٣ - القيام بعمليات توعية دورية عن طريق وسائل الإعلام المختلفة بضرورة استعمال الطاقات المتجددة وتوضيح منافعها المتعددة كونها وسيلة فعالة في الأمن الطاقى والحفاظ على البيئة.

١٤ - إقامة مختبرات ووحدات ومحطات بحثية تجريبية وتشغيلها لتطوير مصادر الطاقة المتجددة والتجهيزات ذات الكفاءة الطاقية العالية واستثمارها.

المصادر

المصادر العربية.

أولاً: الكتب.

ثانياً: الرسائل الجامعية.

ثالثاً: الأبحاث المنشورة في الدوريات.

رابعاً: الأبحاث في المؤتمرات والندوات والورش.

خامساً: الإصدارات الحكومية.

سادساً: مطبوعات المنظمات الدولية.

سابعاً: المواقع الإلكترونية.

المصادر الأجنبية.

المصادر العربية:- أولاً: الكتب:-

- ١- أبو سمور، حسن، وعلي غانم، المدخل إلى علم الجغرافية الطبيعية، دار الصفاء للنشر والتوزيع، عمّان، ١٩٩٨م.
- ٢- إسلام، أحمد مدحت، الطاقة وتلوث البيئة، الهيئة العامة للكتاب، القاهرة، ٢٠٠٨م.
- ٣- آغا، شاهر جمال، جغرافية اليمن الطبيعية للشطر الشمالي، مكتب الأنوار بدمشق، ١٩٨٣م.
- ٤- آلين، رتشاردجي، وزملاؤه، البحر- نتج للمحاصيل- دليل تقدير الاحتياجات المائية، ترجمة فوزي بن سعيد عواد، ومحمد بن إبراهيم السعود، جامعة الملك سعود للنشر العلمي والمطابع، ٢٠٠٦م.
- ٥- الأمير، فؤاد قاسم، حل مشكلة الطاقة هو التحدي الأكبر للبشرية في القرن الحادي والعشرين، بغداد، مؤسسة الغد للدراسات والنشر، ٢٠٠٥م.
- ٦- بدران، إبراهيم، وشاكر مقبل، وعبد القادر عابد، الطاقة أنواعها ومصادرها، دار الفرقان للنشر والتوزيع، الأردن.
- ٧- بيارماتييه، ومارتين كاسيت-كارّي، الطاقة ضرورة حياتية، ترجمة سهيل عماشي، منشورات عويدات، بيروت، ١٩٨٩م.
- ٨- الجوخي، عيسى محمد، مصادر الطاقة، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، عمّان، ٢٠٠٦م.
- ٩- جودة، جودة حسنين، الأراضي الجافة وشبه الجافة، دار المعرفة الجامعية للطبع والنشر والتوزيع، الإسكندرية، ١٩٩٦م.
- ١٠- حشمت، عامر أمين، عالم الطاقة الشمسية، دمشق، دار الفكر العربي، ١٩٨١م.
- ١١- الحفيان، عوض ابراهيم عبد الرحمن، الجغرافيا العامة للجمهورية اليمنية(عوامل التباين والتآلف في البيئة اليمنية)، سلسلة إصدارات جامعة صنعاء رقم ٨، ٢٠٠٧م.
- ١٢- حيدر، أحمد محمد، الاقتصاد اليمني المأزوم الأسباب والتحديات وآفاق وممكنات التغيير- دراسة تحليلية نقدية، مركز الدراسات والبحوث اليمني، ٢٠٠٥م.

- ١٣- الخفاف، عبد علي، و ثعبان كاضم خضير، الطاقة وتلوث البيئة، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمّان، ٢٠٠٧م.
- ١٤- ديفيد، جيفرس، الطاقة النظيفة، ترجمة دار الفاروق للاستثمارات الثقافية، دار الفاروق للاستثمارات الثقافية، مصر، ٢٠٠٨م.
- ١٥- الراوي، صباح، وعدنان هزاع البياتي، أسس علم المناخ، الموصل، دار الكتب للطباعة والنشر، ١٩٩٩م.
- ١٦- الراوي، عادل سعيد، وقصي عبد المجيد السامرائي، المناخ التطبيقي، جامعة بغداد، ١٩٩٠م.
- ١٧- رمضان، محمد رأفت إسماعيل، وعلي جمعان الشكيل، الطاقة المتجددة، ط٢، دار الشروق ، القاهرة، ١٩٨٨م.
- ١٨- السامرائي، قصي عبد المجيد، وعبد القادر عساج، طاقة الرياح في اليمن، مجلة كلية الآداب، جامعة صنعاء، العدد ٢٩، ٢٠٠٦م.
- ١٩- السامرائي، قصي عبد المجيد، المناخ والأقاليم المناخية، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمّان، ٢٠٠٨م.
- ٢٠- السامرائي، قصي عبد المجيد، وعبد مخور نجم الريحاني، جغرافية الأراضي الجافة، ، ، ١٩٩٠م.
- ٢١- سهاونة، فوزي، وزملائه، مدخل إلى الجغرافيا، عمّان، دار وائل للنشر، ٢٠٠٢م.
- ٢٢- شجاع الدين، أحمد محمد، وزملاءه، أساسيات علم السكان طرق وتطبيقات، مركز التدريب والدراسات السكانية، جامعة صنعاء، ٢٠٠١م.
- ٢٣- شحادة، نعمان، الجغرافيا المناخية- علم المناخ، ط٥، عمّان، دار المستقبل للنشر والتوزيع، ١٩٩٦م.
- ٢٤- شرف، عبد العزيز طريح، الجغرافيا المناخية والنباتية مع التطبيق على مناخ إفريقيا ومناخ العالم العربي، دار المعرفة الجامعية، مصر، ٢٠٠٠م.
- ٢٥- شريف، إبراهيم إبراهيم، جغرافية الطقس، جامعة بغداد، ١٩٩١م.

- ٢٦- عاطف، محمود علي، النفط في اليمن- دراسة في جغرافية الطاقة، جامعة عدن ودار الثقافة العربية بالشارقة، ٢٠٠٢م.
- ٢٧- عبد المقصود، زين الدين، أبحاث في مشاكل البيئة، منشأة المعارف بالإسكندرية، بدون تاريخ.
- ٢٨- عبدالله، حسين، مستقبل النفط العربي، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ٢٠٠٠م.
- ٢٩- عبده، طلعت أحمد محمد، وحورية محمد حسين جاد الله، الجغرافيا الطبيعية، دار المعرفة الجامعية، مصر، ٢٠٠٠م.
- ٣٠- عبيد، هاني، الإنسان والبيئة- منظومات الطاقة والبيئة والسكان، دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان، ٢٠٠٠م.
- ٣١- عتيقة، علي أحمد، الاعتماد المتبادل على جسر النفط المخاطر والفرص، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٩١م.
- ٣٢- عيسى، صالحة مصطفى، الجغرافيا المناخية، عمان، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، ٢٠٠٦م ٤١.
- ٣٣- غانم، علي أحمد، الجغرافيا المناخية، عمان، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، ٢٠٠٣م.
- ٣٤- غضيب، هشام، ظاهراتية القوة النووية وطاقة الانشطار النووي، مؤسسة الرسالة للطباعة والنشر والتوزيع، بيروت، ١٩٨٣م.
- ٣٥- غينمي، زين الدين عبد المقصود، الطاقة البديلة ومنظومة الأمن القومي لدولة الكويت ودول الخليج العربي: دراسة تحليلية تقويمية، مركز البحوث والدراسات الكويتية، ٢٠٠٨م.
- ٣٦- الفارس، عبدالرزاق، هدر الطاقة- التنمية ومعضلة الطاقة في الوطن العربي، ط٢، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٩٦م.
- ٣٧- فلاتين، كريستوفر، طاقة الرياح نقطة تحول ، ترجمة سيد رمضان هدارة ، الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية، القاهرة، ١٩٩٣م.

٣٨- قدوره، ليلي، مدخل إلى العلوم الطبيعية، دار حامد للنشر والتوزيع، عمان، ٢٠٠٤م.

٣٩- لطفي، علي، الطاقة والتنمية في الدول العربية، منشورات المنظمة العربية للتنمية الإدارية، القاهرة، ٢٠٠٨م.

٤٠- محمد، عبد القادر عساج، المناخ المحلي لمدينة صنعاء- دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ٢٠١٠م.

٤١- محمد، عبد القادر عساج، مناخ اليمن- دراسة في الجغرافية المناخية، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ١٩٩٦م.

٤٢- محمد، مصطفى نبيل، الشمس ومستقبل الطاقة، دار سعاد الصباح للنشر والتوزيع، الكويت، ١٩٩٥م.

٤٣- موسى، صلاح بشير، المناخ الطبيعي، الإسكندرية، المكتب الجامعي الحديث، ٢٠٠٥م.

٤٤- موسى، علي، أساسيات علم المناخ، دار الفكر المعاصر، لبنان، ١٩٩٤م.

٤٥- موسى، علي حسن، أساسيات علم المناخ، بيروت، دار الفكر المعاصر، ١٩٩٤م.

٤٦- موسى، علي، الوجيز في المناخ التطبيقي، دمشق، دار الفكر، ١٩٨٢م.

٤٧- نعمان، شحادة، علم المناخ، عمان، مطبعة النور النموذجية، ١٩٨٣م.

ثانياً: الرسائل الجامعية:

٤٨- السهمي، ناجي صالح، أثر المناخ على إنتاجية البن في اليمن، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء كلية الآداب، ٢٠٠٤م.

٤٩- الشيخ، محمد عزت محمد، كهربية الريف بمركز المنصورة- محافظة الدقهلية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة كفر الشيخ، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، ٢٠٠٩م.

٥٠- العابدي، دراف، أثر العوامل المناخية على استهلاك الطاقة بالاحياء السكنية الجماعية في المناطق الشبه جافة- دراسة حالة مدينة بوسعادة، رسالة ماجستير غير

منشورة، جامعة المسيلة، معهد التسيير والتقنيات الحضرية، الجزائر،
٢٠٠٨/٢٠٠٩م.

٥١- عبد الله، عبد الحكيم محمد يوسف، بعض الظواهر الجوية المؤثرة في تشكيل مناخ اليمن، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة بغداد، كلية الآداب، ٢٠٠٠م.

٥٢- العقاب، أحمد محمد نعمان، علاقة المناخ بإنتاج محصول الذرة البيضاء في اليمن، رسالة ماجستير غير منشورة، العراق، جامعة الموصل، كلية الآداب، ٢٠٠٢م.

٥٣- علي، عبد الله حيدر سالم، خصائص مناخ اليمن السياحي، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التربية، جامعة البصرة، ٢٠٠٣م.

٥٤- علي، عبدالله حيدر سالم، المناخ وعلاقته بالأنشطة الزراعية والتلوث في البيئة الساحلية اليمنية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة دمشق، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، ٢٠٠٨م.

٥٥- العماري، محمد حزام صالح بن صالح، التحليل الجغرافي للإمكانات المؤثرة في إنتاج محاصيل الحبوب وانعكاساتها على الأمن الغذائي في الجمهورية اليمنية دراسة في الجغرافية الاقتصادية، رسالة ماجستير ، جامعة بغداد، كلية التربية أبن رشد، ٢٠٠٢م.

٥٦- عيسى، مصطفى عبد العال تمام، محافظة صنعاء-دراسة جغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء، كلية الآداب، ١٩٨٥م.

٥٧- المسيلي، أفراح ناجي محسن، التحليل الجغرافي لدرجات الحرارة في الجمهورية اليمنية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء، كلية الآداب، ٢٠٠٨م.

٥٨- مطر، أحمد جمعة، جيمورفولوجية الجزء الأدنى لحوض جهران ، أطروحة دكتوراه غير منشورة، ٢٠٠٤ جامعة النيلين، السودان، ٢٠٠٤/٢٠٠٥م.

٥٩- مندور، مسعد سلامة مسعد، الإشعاع الشمسي في مصر-دراسة في الجغرافيا المناخية، أطروحة دكتوراه، جامعة المنصورة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، ٢٠٠٣م.

٦٠- نوفل، مجاهد عبد العزيز مبخوت، تأثير المناخ على زراعة وإنتاج محصول البرتقال في اليمن- دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير غير منشوره، العراق، جامعة البصرة، كلية الآداب، ٢٠٠٥م.

ثالثاً: الأبحاث المنشورة في الدوريات.

٦١- حياتي، فهد غالب محمد، وعبد الرقيب عبده اسعد، وتوفيق سفيان، الوضع المستقبلي للطاقة الكهربائية في القطاع المنزلي في اليمن، مجلة العلوم والتكنولوجيا، كلية العلوم والهندسة، جامعة العلوم والتكنولوجيا، المجلد ٤، العدد ٢، صنعاء، ١٩٩٩م.

٦٢- سعد، فاطمة مصطفى، تصدير الغاز الطبيعي المصري- دراسة في جغرافية الطاقة، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ٥٢، الجزء الثاني، ٢٠٠٨م.

٦٣- صيام، نادر، العلاقة بين الإشعاعات الشمسية وساعات السطوع الشمسي الفعلية في مواقع مختارة من اليمن، مجلة كلية الآداب، جامعة صنعاء، العدد ١٣، ١٩٩١م.

٦٤- طالبي، محمد، ومحمد ساحل، أهمية الطاقة المتجددة في حماية البيئة لأجل التنمية المستدامة، مجلة الباحث، العدد ٦، ٢٠٠٨م.

٦٥- الطرزي، عبد الله، جغرافية الطاقة الكهربائية في الوطن العربي في عقد التسعينات، مجلة كلية الآداب، جامعة صنعاء، العدد ١٦، ١٩٩٤م.

٦٦- العبادي، عبد العزيز محمد حبيب، الطاقة الشمسية في العراق- دراسة في جغرافية الطاقة، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، العددان ٢٤ و٢٥، مطابع العاني، العراق، ١٩٩٠م.

٦٧- منظمة البلدان العربية المصدرة للنفط (أوبك)، آفاق النفط العالمي، مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد ٣٤، العدد ١٢٤، الكويت، شتاء ٢٠٠٨م.

رابعاً: الأبحاث في المؤتمرات والندوات والورش:-

٦٨- الجهمي، فارس، إحصاءات الطاقة في اليمن، ورقة عمل مقدمة إلى اجتماع ريق الخبراء بشأن جمع وتحليل إحصاءات ومؤشرات الطاقة، بيروت، ٣- ٥ مارس، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، ٢٠٠٩م.

٦٩- حسن، نوبي محمد، ومحمود عبد الهادي الإكيابي، استخدام تقنيات الطاقة الشمسية في المدن الجديدة، ندوة المدن الجديدة ودورها في التنمية المستدامة، ٢٤- ٢٧ نوفمبر، أكادير، المملكة المغربية، ١٩٩٩م.

٧٠- الطيري، نبيل محمد، تقييم أداء السياسات الحكومية في قطاع الطاقة وآفاقها المستقبلية خلال الفترة من ١٩٩٥- ٢٠٠٨، ورقة عمل مقدمة إلى المؤتمر الدولي حول أمن الطاقة والتنمية في اليمن صنعاء من ٢ - ٣ يونيو، ٢٠٠٩م.

٧١- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، خصائص قطاع الطاقة في منطقة الإسكوا، ورقة موجزة لمؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، جوهانسبرغ، ٢٦ أغسطس - ٤ سبتمبر، الأمم المتحدة، ٢٠٠٢م.

٧٢- الورقة القطرية للجمهورية اليمنية، مؤتمر الطاقة العربي الثامن، عمان، ١١- ١٧ مايو ٢٠٠٦م.

خامساً: الإصدارات الحكومية:-

٧٣- الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، التقرير الاقتصادي السنوي ٢٠٠٦م.

٧٤- الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، التقرير الاقتصادي النصف سنوي ٢٠٠٧ للتطورات الاقتصادية الدولية والإقليمية وانعكاساتها على الاقتصاد اليمني، العدد الثاني، ٢٠٠٨.

- ٧٥- الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء، كتاب الإحصاء السنوي ٢٠٠٣، صنعاء، ٢٠٠٤م.
- ٧٦- الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء، كتاب الإحصاء السنوي ٢٠٠٩م.
- ٧٧- الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، خطة التنمية الاقتصادية والاجتماعية الثالثة للتخفيف من الفقر ٢٠٠٦- ٢٠١٠، ٢٠٠٦م.
- ٧٨- الجمهورية اليمنية، وزارة الطاقة الكهرباء والطاقة، المؤسسة العامة للكهرباء، التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩م، صنعاء، ٢٠١٠م.
- ٧٩- الجمهورية اليمنية، وزارة الكهرباء، التقرير السنوي ٢٠٠٥م.
- ٨٠- الجمهورية اليمنية، وزارة الكهرباء والطاقة، التقرير الإحصائي السنوي للإدارة العامة للشؤون التجارية لعام ٢٠٠٩م، يوليو ٢٠١٠م.
- ٨١- الجمهورية اليمنية، وزارة النفط والمعادن، إحصاءات النفط والغاز والمعادن ٢٠٠٨، النشرة الإحصائية ٢٠٠٨، العدد ٨.
- ٨٢- الخياط، محمد مصطفى محمد، وماجد كرم الدين محمود، سياسات الطاقة المتجددة إقليمياً وعالمياً، وزارة الكهرباء والطاقة، مصر، ٢٠٠٩م.
- ٨٣- داود، خالد، قياس سرعة الرياح من أجل الدقة في تنبؤات الطاقة، الدورية الأردنية لمخصصات الطاقة، المركز الوطني لبحوث الطاقة، المجلد السابع، العدد الأول، ٢٠٠٣م.
- ٨٤- رئاسة مجلس الوزراء، الهيئة العامة للموارد المائية، ندوة الإدارة المتكاملة للموارد المائية في اليمن، صنعاء ١٩٩٦م.
- ٨٥- راجحة، أحمد، اقتصاديات طاقة الرياح، الدورية الأردنية لمخصصات الطاقة، المركز الوطني لبحوث الطاقة، المجلد السابع، العدد الأول، ٢٠٠٣م.
- ٨٦- النقرش، عبد المطلب، الطاقة- مفاهيمها، أنواعها، مصادرها، وزارة الطاقة والثروة المعدنية، المملكة الأردنية الهاشمية، ٢٠٠٥م.

٨٧- النيش، نجاة، الطاقة والبيئة والتنمية المستدامة: آفاق ومستجدات، المعهد العربي للتخطيط، الكويت، ٢٠٠١م.

سادسا: مطبوعات المنظمات الدولية:-

٨٨- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، السياسات والتدابير في مجال الطاقة لتعزيز التخفيف من حدة تغير المناخ في البلدان الأعضاء في الإسكوا، لجنة الطاقة، الدورة الثامنة ١٣- ١٤ ديسمبر، بيروت، ٢٠١٠م.

٨٩- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، التقرير السنوي ٢٠٠٩ عام في سطور، الأمم المتحدة، ٢٠١٠م.

٩٠- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، الحد من انبعاثات غازات التدفئة من قطاع الكهرباء، أوراق موجزة لمؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة، جوهانسبرغ، ٢٦ أغسطس- ٤ سبتمبر، نيويورك، ٢٠٠٢م.

٩١- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، تحديث دراسة الوضع الراهن لقطاعات مختارة للطاقة في دول الاسكوا: قطاعي الغاز الطبيعي والكهرباء، الجزء الثاني: قطاع الكهرباء، نيويورك، ٢٠٠٣م.

٩٢- منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول ، تقرير الأمين العام الخامس والثلاثين، الكويت، ٢٠٠٨م.

٩٣- منظمة البلدان العربية المصدرة للنفط (أوبك)، آفاق النفط العالمي، مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد ٣٤، العدد ١٢٤، الكويت، ٢٠٠٨م.

المصادر الالكترونية:

٩٤- البعداني، أروى أحمد، الواقع الحالي للطاقة في اليمن، أنظر الموقع الالكتروني

<http://shebacss.com/docs/PolicyFoucs/scssap٠٠٦-١٠.pdf>

٩٥- الجغرافيون العرب، أنظر الموقع الالكتروني

www.arabgeographers.net/vb/showthread.php

٩٦- الجغرافيون العرب، أنظر الموقع الإلكتروني

. www.arabgeographers.net/vb/showthread.php?t=٧٤٨٥

٩٧- طرق توليد الطاقة الكهربائية، أنظر الموقع

.http://www.khayma.com/madina/power.htm

٩٨- المؤسسة العامة للكهرباء، أنظر الموقع الإلكتروني

http://www.pecye.net/index.php?mod=contents&do=view&cid=

. ٣&id=٥١

٩٩- الموقع الإلكتروني www.al3ez.net .

١٠٠- الموقع الإلكتروني www.michigan.gov .

١٠١- وكالة الطاقة الألمانية dena ، طاقة الرياح في المناطق البرية ، متاح عبر

الموقع الإلكتروني

www.exportinitiative.de/fileadmin/user_upload/Technologieauss

. tellung/_ar_web.pdf

المصادر الانجليزية:

(١) Oliver, John, Climatology: Selected Application, Edward Arnold, London, ١٩٨١.

(٢) Al-Jibly, A.A.T.A Study in Humane Climatology of the Republic of the Yemen. A thesis for degree of doctor of physiology of Arts, University of Brimingham, England, ١٩٩٣.

(٣) Miller,A.(١٩٧٦):Climatology,Methuen&Co.Itp.London.

الملاحق

الملحق (١) ساعات السطوع الفعلية لمحطات الدراسة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
تعز	٢٠٠٠	٨.٣	٨.٦	٩.١	٨.٨	٨.٩	٧.٨	٦.٩	٧.٧	٧.٩	٩.٤	٩.٦	٨.٦	٨.٤٦٦٦٦٧
	٢٠٠١	٨.٥	٨.٨	٩	٨.٧	٨.٨	٧.٣	٧.١	٧.٥	٨	٩.٢	٩.٥	٨.٥	٨.٤٠٨٣٣٣
	٢٠٠٢	٨.٣	٨.٦	٩.١	٨.٥	٨.٥	٧	٧	٧.٦	٨.٢	٩.٥	٩.٣	٨.٦	٨.٣٥
	٢٠٠٣	٨.٥	٨.٨	٩	٨.٩	٩	٧.٥	٧.١	٧.٧	٧.٩	٩.٣	٩.٦	٩	٨.٥٢٥
	المعدل	٨.٤	٨.٧	٩.٠٥	٨.٧٢٥	٨.٨	٧.٤	٧.٠٢٥	٧.٦٢٥	٨	٩.٣٥	٩.٥	٨.٦٧٥	٨.٤٣٧٥
حجة	٢٠٠٣	٥	٥.٢	٥.٩	٧	٧.٢	٧.٣	٧.٢	٦.٤	٧	٧.٥	٦.٥	٦.٣	٦.٥٤١٦٦٧
	٢٠٠٤	٥.٣	٥.٣	٥.٥	٦.٩	٧.١	٧.٢	٦.٩	٦.٢	٧.١	٧.٣	٦.٣	٦	٦.٤٢٥
	٢٠٠٥	٤.٨	٥.٤	٥.٢	٧.٢	٧.٥	٧.٥	٧	٦.١	٧	٧.٦	٦.٦	٦.٧	٦.٥٥
	٢٠٠٦	٥.٢	٥.٤	٦	٧	٧.١	٧.٢	٧	٦.١	٧	٧	٥.٩	٦.٢	٦.٤٢٥
		٥.٠٧٥	٥.٣٢٥	٥.٦٥	٧.٠٢٥	٧.٢٢٥	٧.٣	٧.٠٢٥	٦.٢	٧.٠٢٥	٧.٣٥	٦.٣٢٥	٦.٣	٦.٤٨٥٤١٧
إب	٢٠٠٥	٨.٨	١٠	٨.٨	٨.٢	٧.٣	٧.٧	٥.٨	٥.٨	٧.١	٩.١	٩.٢	٩.٧	٨.١٢٥
	٢٠٠٦	٩	٩.٣	٨.٩	٨.٩	٨.٤	٧.٣	٦	٥.١	٦.٨	٩.٥	٨.٥	٨.٥	٨.٠١٦٦٦٧
	٢٠٠٧	٨	٨.٣	٨.٤	٨	٦.٩	٥.٨	٤.٤	٤.٩	٦.٥	٩.٣	٨.٨	٨.١	٧.٢٨٣٣٣٣
		٨.٦	٩.٢	٨.٧	٨.٣٦٦٦٦٧	٧.٥٣٣٣٣٣	٦.٩٣٣٣٣٣	٥.٤	٥.٢٦٦٦٦٧	٦.٨	٩.٣	٨.٨٣٣٣٣٣	٨.٧٦٦٦٦٧	٧.٨٠٨٣٣٣
مأرب	٢٠٠٠	٩.٧	٩.١	٨.٩	٨.٥	١٠	٩.٢	٧.٩	٨.٥	٩.٢	١٠.٣	١٠.٣	٩.٥	٩.٢٥٨٣٣٣
	٢٠٠١	٩.٨	٩.٤	٩	٨.٨	١٠.١	٩.٦	٨.١	٨.٣	٩.١	١٠.٤	١٠.٥	٩.٧	٩.٤
	٢٠٠٢	٩.٨	٩	٩.٢	٩	٩.٥	٩.٣	٨.٥	٨.٧	٩.٥	١٠.٤	١٠.٥	٩.٥	٩.٤٠٨٣٣٣
	٢٠٠٣	٩.٥	٩	٩	٨.٥	١٠.١	٩.٥	٨.١	٨.٣	٩.١	١٠.١	١٠.٣	٩.٧	٩.٢٦٦٦٦٧
	المعدل	٩.٧	٩.١٢٥	٩.٠٢٥	٨.٧	٩.٩٢٥	٩.٤	٨.١٥	٨.٤٥	٩.٢٢٥	١٠.٣	١٠.٤	٩.٦	٩.٣٣٣٣٣٣
سيئون	٢٠٠٠	٨.٤	٨.٣	٨.٨	٨.٨	٨.٩	٨.٥	٨.٢	٨.٣	٨.٤	٨.٢	٩	٨.٥	٨.٥٢٥
	٢٠٠١	٨.٦	٨.٨	٨.٧	٨.٩	٨.٨	٨.٧	٧.٩	٨.١	٩	٩.٢	٩.٢	٨.٨	٨.٧٢٥
	٢٠٠٢	٧.٥	٨.٧	٨.١	٨.٦	٨.١	٧.٩	٧.٨	٧.٧	٧.٨	٨.٩	٧.٧	٧	٧.٩٨٣٣٣٣
	٢٠٠٣	٧.٣	٨	٨.٣	٨.٦	٩.٤	٨.٥	٦.١	٧.٨	٦.٩	٧.٨	٧.١	٦.٤	٧.٦٨٣٣٣٣
	٢٠٠٤	٦.٨	٧.٧	٨.٢	٨.٣	٩.١	٨.١	٧.٥	٨.٣	٨.٢	٧.٦	٧.٥	٧.١	٧.٨٦٦٦٦٧
	٢٠٠٥	٧	٧.٩	٨.١	٧.٨	٨.٩	٨.٣	٧.٥	٧.٩	٨.٨	٨.٦	٩	٨.٤	٨.١٨٣٣٣٣
	المعدل	٧.٦	٨.٢	٨.٤	٨.٥	٨.٩	٨.٣	٧.٥	٨	٨.٢	٨.٤	٨.٣	٧.٧	٨.١٦٦٦٦٧

تابع الملحق (١) ساعات السطوع الفعلية لمحطات الدراسة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
صنعاء	٢٠٠٣	٩.٧	٩.١	٩	٩.٣	٩.٧	٩.٤	٥.٧	٦.٧	٩	١٠.٥	٩.٩	٩.٦	٨.٩٦٦٦٦٧
	٢٠٠٤	٩.٦	٩.٤	٨.٨	٨.٧	٨.٧	٨.٩	٦.٤	٧.٢	٩	١٠.٥	١٠	١٠.١	٨.٩٤١٦٦٧
	٢٠٠٥	٩.٧	١٠.٣	٨.٦	٨.٨	٨.٧	١٠.٣	٦.٧	٧	٩	١٠.٦	١٠	١٠.٤	٩.١٧٥
	٢٠٠٦	٩.٧	٩.١	٩	٩.٣	٩.٧	٩.٤	٥.٧	٦.٧	٩	١٠.٥	٩.٩	٩.٦	٨.٩٦٦٦٦٧
	٢٠٠٧	٩.٣	٨.٩	٨.٩	٧.٩	٨.٢	٧	٦.٧	٧.٨	٨.٩	١٠.٣	١٠	١٠.٢	٨.٦٧٥
	المعدل	٩.٦	٩.٣٦	٨.٨٦	٨.٨	٩	٩	٦.٢٤	٧.٠٨	٨.٩٨	١٠.٤٨	٩.٩٦	٩.٩٨	٨.٩٤٥
صعدة	٢٠٠٠	٩.٧	٩.٥	٩.٢	٨.٥	١٠.٦	١٠.٤	٥.٩	٧	٨	١٠.٥	١٠.٣	١٠.٣	٩.١٥٨٣٣٣
	٢٠٠١	٩.٨	٨.٩	٩.٧	٨.٣	١٠.٣	١٠.١	٥.٨	٧.٢	٨.٤	١٠.٧	١٠.٤	١٠.٥	٩.١٧٥
	٢٠٠٢	٩.٥	٩	٩.٥	٨.٧	١٠.٨	١٠	٦.١	٧.٥	٨.٢	١٠	١٠.٢	١٠.٤	٩.١٥٨٣٣٣
	٢٠٠٣	٩.٨	٩.٢	٩	٨.٥	١٠.٥	١٠.٤	٥.٦	٧.٢	٨.٧	١٠.٨	١٠.٤	١٠.١	٩.١٨٣٣٣٣
	المعدل	٩.٧	٩.١٥	٩.٣٥	٨.٥	١٠.٥٥	١٠.٢٢٥	٥.٨٥	٧.٢٢٥	٨.٣٢٥	١٠.٥	١٠.٣٢٥	١٠.٣٢٥	٩.١٦٨٧٥
نمار	٢٠٠٠	١٠	٩	١٠	٩.٦	٩.٩	١١.٨	١٠	٩	٩.٥	١٠	١٠	٩.٥	٩.٨٥٨٣٣٣
	٢٠٠١	٩	٨.٥	٩.٩	٨.٥	٩.٦	١٠.٨	٦.٧	٧	٧.٧	٩.٦	١٠.٥	٩.٣	٨.٩٢٥
	٢٠٠٢	٩.٦	١٠.٣	٨.٢	٨.٥	٨.٧	٧.٢	٧.٢	٨	٧.٢	١٠.٣	١٠.٤	٨.٥	٨.٦٧٥
	٢٠٠٣	١٠.٧	٩.٤	٩.٧	٨.٨	٩.٧	٨.٧	٥.٩	٧.٢	٧.٧	١٠.٣	١٠.٥	٩.٩	٩.٠٤١٦٦٧
	٢٠٠٤	٩.٧	٩.٥	٩.٣	٨.٧	٨.٨	٨.٢	٧.٣	٧.٦	٨.٤	١٠.١	١٠.١	١٠.١	٨.٩٨٣٣٣٣
	٢٠٠٥	٩.٨	١٠.٤	٧.٩	٧.٨	٧.٣	٨.٤	٦.٨	٦.٥	٨.٣	٩.٨	٩.٨	١٠.٥	٨.٦٠٨٣٣٣
	٢٠٠٦	٩.٧	٩.٥	٨.٥	٧.١	٧.٣	٩	٥.٧	٦.٥	٧.٣	٩.٥	٨.٧	٧.٩	٨.٠٥٨٣٣٣
	٢٠٠٧	٨.٩	٨.٥	٨.٥	٧.٨	٧.٢	٧.٦	٦.٥	٧.٥	١٠	١٠.٥	١٠.٥	١٠.٥	٨.٦٦٦٦٦٧
	٢٠٠٨	١٠.٥	١٠.٥	١٠.٦	١٠.٣	٨.٥	٩	٧.١	٧.٥	٩.٣	٩.٨	١٠	١٠.٥	٩.٤٦٦٦٦٧
	٢٠٠٩	٩.٤	١٠.١	١٠.٤	٩.٩	١١	١١	٦.٣	٧.٧	٩.٧	٩.٤	١٠.٥	٩.٥	٩.٥٧٥
	المعدل	٩.٧٣	٩.٥٧	٩.٣	٨.٧	٩.١٧	٩.١٧	٦.٩٥	٧.٤٥	٨.٥١	٩.٩٣	١٠.١	٩.٦٢	٨.٩٨٥٨٣٣

تابع الملحق (١) ساعات السطوع الفعلية لمحطات الدراسة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
الحديدة	٢٠٠١	٨.٥	٨	٨.٥	٩.٢	٩	٦.٦	٦.١	٧.٧	٨	٩.٣	٩.٥	٨.٧	٨.٢٥٨٣٣٣
	٢٠٠٢	٨.١	٨.٢	٨.٢	٩	٩.٣	٧.٣	٦.٩	٧.٥	٧.٨	٩.٦	٩.٨	٨.٩	٨.٣٨٣٣٣٣
	٢٠٠٣	٨.٣	٨.٥	٨.٢	٨.٧	٩.٣	٧	٦	٧.٥	٨.١	٩	٩.٥	٩	٨.٢٥٨٣٣٣
	٢٠٠٦	٧.٤	٧.١	٨.١	٨.٥	٨.٦	٦.٦	٦.١	٦.٤	٧.٢	٩.٢	٨.٦	٥.٨	٧.٤٦٦٦٦٧
	المعدل	٨.٠٧٥	٨	٨.٣	٨.٩	٩.١	٦.٩	٦.٣	٧.٣	٧.٨	٩.٣	٩.٤	٨.١	٨.٠٩١٦٦٧
عدن	٢٠٠٠	٨.٢	٨.٥	٩.٩	٩.٥	١٠.٠	٧.١	٦.٩	٨.٣	٩.٠	٩.٢	٨.٩	٨.١	٨.٦
	٢٠٠١	٨	٨.٣	٩.٥	٩.٧	١٠.٢	٧.٥	٦.٧	٨.١	٨.٩	٩.٤	٩.٠	٨.٣	٨.٦
	٢٠٠٢	٨.١	٨.٦	٩.٧	٩.٥	١٠.٠	٧.٣	٧.٠	٨.٢	٩.٠	٩.٢	٨.٧	٨.١	٨.٦
	٢٠٠٣	٨.٢	٨.٤	٩.٥	٩.٤	١٠.١	٧.١	٦.٨	٨.٥	٩.١	٩.٠	٨.٩	٨.٠	٨.٦
	المعدل	٨.٢	٨.٥	٩.٧	٩.٥	١٠.١	٧.٣	٦.٩	٨.٣	٩	٩.٢	٨.٩	٨.١	٨.٦
الريان	٢٠٠٥	٨.٦	٨.٧	٨.٢	٩.٦	١٠.٢	٥.٨	٨.١	٨.٢	٧.٦	١٠	١٠.٢	١٠.٢	٨.٨
	٢٠٠٦	٨.٨	٩.٤	٩.٢	١٠.٥	٩.٨	٦.٨	٦.٥	٩.٢	٨.٩	١٠.٣	٩.٧	٩.٨	٩.٠٧٥
	٢٠٠٧	٨.٧	٨.٧	٨.٢	٩.٩	٨.٧	٤.٧	٧.٩	٨.١	٧.١	١٠	٩.٢	٩.٣	٨.٣٧٥
	المعدل	٨.٧	٨.٩	٨.٥	١٠	٩.٦	٥.٨	٧.٥	٨.٥	٧.٩	١٠.١	٩.٧	٩.٨	٨.٧٥

المصدر: اعتمادا على (١) الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٣-٢٠٠٧م.

(٢) الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٥م

ملحق (٢) المعدلات الشهرية والسنوية لكمية الإشعاع الشمسي (ميجا جول/م^٢/يوم)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
تعز	٢٠٠٠	١٧.٨	١٩.٨	٢٠.٩	٢١.٦	٢١.٥	١٩.٢	١٧.٨	١٩.٣	١٩.٥	٢١.٥	٢٠.١	١٧.٧	١٩.٧
	٢٠٠١	١٨.١	٢٠.٢	٢٠.٧	٢١.٣	٢١.٣	١٨.٣	١٨.٢	١٩	١٩.٤	٢١.٢	٢٠	١٧.٥	١٩.٦
	٢٠٠٢	١٧.٨	١٩.٨	٢١.٦	٢١.٩	٢١.٧	١٩	١٩.١	٢٠.٢	٢٠	٢١.٧	١٩.٧	١٧.٧	٢٠
	٢٠٠٣	١٨.١	٢٠.٢	٢١.٥	٢٢.٥	٢٢.٥	١٩.٨	١٨.٢	١٩.٣	١٩.٥	٢١.٣	٢٠.١	١٨.٣	٢٠.١
حجة	٢٠٠٣	١٢.٥	١٤.٢	١٦.٨	١٩.٨	٢٠.٢	١٩.٩	٢٠.١	١٨.٢	١٨.٣	١٨	١٤.٩	١٣.٩	١٧.٢
	٢٠٠٤	١٣	١٤.٤	١٦.٣	١٩.٦	٢٠.١	١٩.٧	١٩.٦	١٨.٥	١٨.٤	١٧.٧	١٤.٦	١٣.٥	١٧.١
	٢٠٠٥	١٢.٣	١٤.٥	١٥.٨	٢٠.١	٢٠.٧	٢٠.١	١٩.٨	١٨.٤	١٨.٣	١٨.٢	١٥	١٤.٤	١٧.٣
	٢٠٠٦	١٢.٨	١٤.٥	١٧	١٩.٨	٢٠.١	١٩.٧	١٩.٨	١٨.٤	١٨.٣	١٧.٣	١٤	١٣.٧	١٧.١
إب	٢٠٠٥	١٨	٢١.٧	٢١.٢	٢١.٦	٢٠.٣	٢٠.٩	١٨	١٨.١	١٩	٢٠.٨	١٨.٩	١٨.٤	١٩.٧
	٢٠٠٦	١٨.٣	٢٠.٦	٢١.٤	٢٢.٧	٢٢	٢٠.٢	١٨.٤	١٧.١	١٨.٥	٢١.٢	١٨	١٧.١	١٩.٦
	٢٠٠٧	١٦.٢	١٩.١	٢٠.٦	٢١.٣	١٩.٧	١٨	١٦	١٦.٧	١٨.٢	٢١	١٨.٣	١٦.٥	١٨.٥
مأرب	٢٠٠٠	١٩	٢١.٢	٢٢.٦	٢٣.٤	٢٦	٢٣.٨	٢٢.٣	٢٣.٣	٢٣	٢٣	٢١	١٩	٢٢.٣
	٢٠٠١	١٩.١	٢١.٦	٢٢.٨	٢٣.٨	٢٦.١	٢٤.٥	٢٢.٦	٢٢.٩	٢٢.٨	٢٣.٢	٢١.٢	١٩.٢	٢٢.٥
	٢٠٠٢	١٩.١	٢١.١	٢٣.١	٢٤.٢	٢٥.٢	٢٤	٢٣.٣	٢٣.٤	٢٣.٤	٢٣.٢	٢١.٢	١٩	٢٢.٥
	٢٠٠٣	١٨.٧	٢١.٢	٢٢.٨	٢٣.٤	٢٦.١	٢٤.٤	٢٢.٦	٢٢.٩	٢٢.٨	٢٢.٨	٢١	١٩.٢	٢٢.٣
سينون	٢٠٠٠	١٨.٣	٢٠.١	٢٢.٥	٢٣.٧	٢٤	٢٢.٣	٢٢.٧	٢٢.٩	٢١.٩	٢٠.٣	١٩.٥	١٨	٢١.٤
	٢٠٠١	١٨.٥	٢٠.٨	٢٢.٤	٢٣.٩	٢٣.٩	٢٢.٦	٢٢.٢	٢٢.٦	٢٤.٧	٢١.٦	١٩.٨	١٧.٦	٢١.٧
	٢٠٠٢	١٧.٢	٢٠.٧	٢١.٤	٢٣.٤	٢٢.٧	٢١.٤	٢٢.١	٢١.٩	٢١.١	٢١.٢	١٨	١٦.٢	٢٠.٦
	٢٠٠٣	١٧	١٩.٨	٢١.٧	٢٣.٤	٢٤.٨	٢٢.٣	١٩.٣	٢٢.١	١٩.٧	١٩.٨	١٧.٢	١٥.٥	٢٠.٢
	٢٠٠٤	١٦.٤	١٩.٤	٢١.٦	٢٢.٩	٢٤.٣	٢١.٧	٢١.٦	٢٢.٩	٢١.٧	١٩.٥	١٧.٧	١٦.٤	٢٠.٥
	٢٠٠٥	١٦.٦	١٩.٦	٢١.٤	٢٢.١	٢٤	٢٢	٢١.٦	٢٢.٢	٢٢.٥	٢٠.٨	١٩.٥	١٧.٩	٢٠.٩

تابع الملحق (٢) المعدلات الشهرية والسنوية لكمية الإشعاع الشمسي (ميغا جول/م^٢/يوم)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
	٢٠٠٣	١٩.٧	٢١.١	٢٢.٨	٢٤.٦	٢٥.٣	٢٤.٣	١٩.٥	٢٠.٩	٢٢.٨	٢٣.٢	٢٠.٤	١٨.١	٢١.٩
صنعاء	٢٠٠٤	١٨.٢	٢١.٥	٢٢.٦	٢٣.٨	٢٣.٩	٢٣.٦	٢٠.٥	٢١.٦	٢٢.٨	٢٣.٢	٢٠.٦	١٩.٥	٢١.٨
	٢٠٠٥	١٩.٧	٢٢.٦	٢٢.٣	٢٣.٩	٢٣.٩	٢٥.٥	٢٠.٩	٢١.٣	٢٢.٨	٢٣.٢	٢٠.٦	١٩.٨	٢٢.٢
	٢٠٠٦	١٩.٧	٢١.١	٢٢.٨	٢٤.٦	٢٥.٣	٢٤.٣	١٩.٥	٢٠.٩	٢٢.٨	٢٣.٢	٢٠.٤	١٨.١	٢١.٩
	٢٠٠٧	١٩.٣	٢٠.٩	٢٢.٧	٢٢.٦	٢٣.٢	٢١	٢٠.٩	٢٢.٥	٢٢.٧	٢٣	٢٠.٦	١٩.٦	٢١.٦
صعدة	٢٠٠٠	١٨	٢٠.١	٢١.٣	٢١.٨	٢٥.٦	٢٣.٩	١٨.٧	٢٠	٢٠.١	٢٢	١٩.٣	١٨.١	٢٠.٧
	٢٠٠١	١٨.١	١٩.٣	٢٢	٢١.٥	٢٥	٢٣.٥	١٨.٦	٢٠.٣	٢٠.٧	٢٢.٣	١٩.٤	١٨.٣	٢٠.٨
	٢٠٠٢	١٧.٨	١٩.٤	٢١.٧	٢٣.٢	٢٥.٧	٢٣.٤	١٩	٢٠.٧	٢٠.٤	٢١.٤	١٩.٢	١٨.٢	٢٠.٨
	٢٠٠٣	١٨.١	١٩.٧	٢١	٢١.٨	٢٥.٣	٢٣.٩	١٨.٣	٢٠.٣	٢١.١	٢٢.٥	١٩.٤	١٧.٩	٢٠.٨
ذمار	٢٠٠٠	١٩.٩	٢٠.٥	٢٣.١	٢٣.٩	٢٤.٤	٢٦.١	٢٤.٣	٢٢.٩	٢٢.٦	٢١.٢	١٩.٣	١٨.٧	٢٢.٢
	٢٠٠١	١٨.٦	١٩.٨	٢٢.٩	٢٢.٣	٢٤	٢٤.٧	١٩.٥	٢٠	٢٠	٢٠.٧	١٩.٩	١٨.٤	٢٠.٩
	٢٠٠٢	١٩.٤	٢٢.٣	٢٠.٦	٢٢.٣	٢٢.٧	١٩.٧	٢٠.٦	٢١.٤	١٩.٣	٢١.٦	١٩.٨	١٧.٤	٢٠.٦
	٢٠٠٣	٢٠.٨	٢١.١	٢٢.٧	٢٢.٧	٢٤.١	٢١.٨	١٨.٣	٢٠.٣	٢٠	٢١.٦	١٩.٩	١٩.٢	٢١
	٢٠٠٤	١٩.٥	٢١.٢	٢٢.١	٢٢.٦	٢٢.٨	٢١.١	٢٠.٣	٢٠.٨	٢١	٢١.٣	١٩.٤	١٩.٤	٢١
	٢٠٠٥	١٩.٦	٢٢.٤	٢٠.٢	٢١.٢	٢٠.٦	٢١.٤	١٩.٦	١٩.٢	٢٠.٩	٢٠.٩	١٩.١	١٩.٩	٢٠.٤
	٢٠٠٦	١٩.٥	٢١.٢	٢١	٢٠.٢	٢٠.٦	٢٢.٢	١٨	١٩.٢	١٩.٤	٢٠.٦	١٧.٨	١٦.٧	١٩.٧
	٢٠٠٧	١٨.٥	١٩.٨	٢١	٢١.٢	٢٠.٥	٢٠.٣	١٩.٢	٢٠.٧	٢٣.٣	٢١.٨	١٩.٩	١٩.٩	٢٠.٥
	٢٠٠٨	٢٠.٥	٢٢.٥	٢٣.٩	٢٤.٩	٢٢.٤	٢٢.٢	٢٠.١	٢٠.٧	٢٢.٣	٢٠.٩	١٩.٣	١٩.٩	٢١.٦
	٢٠٠٩	١٩.١	٢٢	٢٣.٦	٢٤.٣	٢٦	٢٥	١٨.٩	٢١	٢٢.٩	٢٠.٥	١٩.٩	١٨.٧	٢١.٨

تابع الملحق (٢) المعدلات الشهرية والسنوية لكمية الإشعاع الشمسي (ميغا جول/م^٢/يوم)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
عدن	٢٠٠٠	١٧.٧	١٩.٦	٢١.٤	٢١.٧	٢١.٧	١٩.٩	١٨.٧	٢٠	١٩.٨	٢١.١	١٩.٧	١٧.٦	١٩.٩
	٢٠٠١	١٧.٩	١٩.٩	٢١.٢	٢١.٦	٢١.٥	١٩.٢	١٩	١٩.٨	١٩.٩	٢٠.٨	١٩.٦	١٧.٥	١٩.٨
	٢٠٠٢	١٧.٧	١٩.٦	٢١.٤	٢١.٣	٢١.٣	١٨.٨	١٨.٩	١٩.٩	٢٠.٢	٢١.٢	١٩.٣	١٧.٦	١٩.٨
	٢٠٠٣	١٧.٩	١٩.٩	٢١.٢	٢١.٩	٢١.٨	١٩.٥	١٩	٢٠	١٩.٨	٢١	١٩.٧	١٨.١	٢٠
المعدل		١٧.٨	١٩.٨	٢١.٣	٢١.٦	٢١.٦	١٩.٤	١٨.٩	١٩.٩	١٩.٩	٢١	١٩.٦	١٧.٧	١٩.٩
الحديدة	٢٠٠١	١٦.٧	١٧.٨	١٩.٢	٢١.٣	٢١	١٧.٤	١٧.٢	١٩.٢	١٩.١	١٩.٩	١٨.٤	١٦.٥	١٨.٦
	٢٠٠٢	١٦.٣	١٨.١	١٨.٧	٢١	٢١.٤	١٨.٢	١٨.٢	١٨.٩	١٨.٩	٢٠.٣	١٨.٧	١٦.٧	١٨.٨
	٢٠٠٣	١٦.٥	١٨.٤	١٨.٧	٢٠.٦	٢١.٤	١٧.٨	١٧.١	١٨.٩	١٩.٢	١٩.٥	١٨.٤	١٦.٨	١٨.٦
	٢٠٠٦	١٥.٥	١٦.٧	١٨.٦	٢٠.٤	٢٠.٥	١٧.٤	١٧.٢	١٧.٦	١٨.١	١٩.٨	١٧.٣	١٦.٣	١٨
الريان	٢٠٠٥	١٨.١	١٩.٩	٢٠.٢	٢٣.٢	٢٤	١٦.٩	٢٠.٥	٢٠.٩	١٩.٤	٢٢	٢٠.٦	١٩.٥	٢٠.٤
	٢٠٠٦	١٨.٣	٢٠.٨	٢١.٦	٢٤.٦	٢٣.٤	١٨.١	١٨.٢	٢٢.٣	٢١.٢	٢٢.٥	٢٠	١٩	٢٠.٨
	٢٠٠٧	١٨.٢	٢٠	٢٠.٢	٢٣.٧	٢١.٨	١٥.٣	٢٠.٢	٢٠.٩	١٨.٧	٢٢.٦	١٩.٨	١٩	٢٠

المصدر: الباحث اعتماداً على تطبيق معادلة الانحدار الخطي البسيط لانجستروم

ملحق (٣) كمية الإشعاع الشمسي الشهرية والسنوية في محطات الدراسة (ميجا جول/م^٢/شهر)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل	المجموع
الحديدة	٢٠٠١	٥١٧.٧	٥١٦.٢	٥٩٥.٢	٦٣٩	٦٥١	٥٢٢	٥٣٣.٢	٥٩٥.٢	٥٧٣	٦١٦.٩	٥٥٢	٥١١.٥	٥٦٨.٦	٦٨٢٢.٩
	٢٠٠٢	٥٠٥.٣	٥٢٤.٩	٥٧٩.٧	٦٣٠	٦٦٣.٤	٥٤٦	٥٦٤.٢	٥٨٥.٩	٥٦٧	٦٢٩.٣	٥٦١	٥١٧.٧	٥٧٢.٩	٦٨٧٤.٤
	٢٠٠٣	٥١١.٥	٥٣٣.٦	٥٧٩.٧	٦١٨	٦٦٣.٤	٥٣٤	٥٣٠.١	٥٨٥.٩	٥٧٦	٦٠٤.٥	٥٥٢	٥٢٠.٨	٥٦٧.٥	٦٨٠٩.٥
	٢٠٠٦	٤٨٠.٥	٤٨٤.٣	٥٧٦.٦	٦١٢	٦٣٥.٥	٥٢٢	٥٣٣.٢	٥٤٥.٦	٥٤٣	٦١٣.٨	٥١٩	٥٠٥.٣	٥٤٧.٦	٦٥٧٠.٨
المعدل		٥٠٣.٨	٥١٤.٨	٥٨٢.٨	٦٢٤.٨	٦٥٣.٣	٥٣١	٥٤٠.٢	٥٧٨.٢	٥٦٤.٨	٦١٦.١	٥٤٦	٥١٣.٨	٥٦٤.٢	٧٣٣٣.٥٥
الريان	٢٠٠٥	٥٦١.١	٥٧٧.١	٦٢٦.٢	٦٩٦	٧٤٤	٥٠٧	٦٣٥.٥	٦٤٧.٩	٥٨٢	٦٨٢	٦١٨	٦٠٤.٥	٦٢٣.٤	٧٤٨١.٣
	٢٠٠٦	٥٦٧.٣	٦٠٣.٢	٦٦٩.٦	٧٣٨	٧٢٥.٤	٥٤٣	٥٦٤.٢	٦٩١.٣	٦٣٦	٦٩٧.٥	٦٠٠	٥٨٩	٦٣٥.٤	٧٦٢٤.٥
	٢٠٠٧	٥٦٤.٢	٥٨٠	٦٢٦.٢	٧١١	٦٧٥.٨	٤٥٩	٦٢٦.٢	٦٤٧.٩	٥٦١	٧٠٠.٦	٥٩٤	٥٨٩	٦١١.٢	٧٣٣٤.٩
المعدل		٥٦٤.٢	٥٨٦.٨	٦٤٠.٧	٧١٥	٧١٥.١	٥٠٣	٦٠٨.٦	٦٦٢.٤	٥٩٣	٦٩٣.٤	٦٠٤	٥٩٤.٢	٦٢٣.٣	٨١٠٣.٥٧
عدن	٢٠٠٠	٥٤٨.٧	٥٦٨.٤	٦٦٣.٤	٦٥١	٦٧٢.٧	٥٩٧	٥٧٩.٧	٦٢٠	٥٩٤	٦٥٤.١	٥٩١	٥٤٥.٦	٦٠٧.١	٧٢٨٥.٦
	٢٠٠١	٥٥٤.٩	٥٧٧.١	٦٥٧.٢	٦٤٨	٦٦٦.٥	٥٧٦	٥٨٩	٦١٣.٨	٥٩٧	٦٤٤.٨	٥٨٨	٥٤٢.٥	٦٠٤.٦	٧٢٥٤.٨
	٢٠٠٢	٥٤٨.٧	٥٦٨.٤	٦٦٣.٤	٦٣٩	٦٦٠.٣	٥٦٤	٥٨٥.٩	٦١٦.٩	٦٠٦	٦٥٧.٢	٥٧٩	٥٤٥.٦	٦٠٢.٩	٧٢٣٤.٤
	٢٠٠٣	٥٥٤.٩	٥٧٧.١	٦٥٧.٢	٦٥٧	٦٧٥.٨	٥٨٥	٥٨٩	٦٢٠	٥٩٤	٦٥١	٥٩١	٥٦١.١	٦٠٩.٤	٧٣١٣.١
المعدل		٥٥١.٨	٥٧٢.٨	٦٦٠.٣	٦٤٨.٨	٦٦٨.٨	٥٨٠.٥	٥٨٥.٩	٦١٧.٧	٥٩٧.٨	٦٥١.٨	٥٨٧.٣	٥٤٨.٧	٦٠٦	٧٢٧٢
تعز	٢٠٠٠	٥٥١.٨	٥٧٤.٢	٦٤٧.٩	٦٤٨	٦٦٦.٥	٥٧٦	٥٥١.٨	٥٩٨.٣	٥٨٥	٦٦٦.٥	٦٠٣	٥٤٨.٧	٦٠١.٥	٧٢١٧.٧
	٢٠٠١	٥٦١.١	٥٨٥.٨	٦٤١.٧	٦٣٩	٦٦٠.٣	٥٤٩	٥٦٤.٢	٥٨٩	٥٨٢	٦٥٧.٢	٦٠٠	٥٤٢.٥	٥٩٧.٦	٧١٧١.٨
	٢٠٠٢	٥٥١.٨	٥٧٤.٢	٦٦٩.٦	٦٥٧	٦٧٢.٧	٥٧٠	٥٩٢.١	٦٢٦.٢	٦٠٠	٦٧٢.٧	٥٩١	٥٤٨.٧	٦١٠.٥	٧٣٢٦
	٢٠٠٣	٥٦١.١	٥٨٥.٨	٦٦٦.٥	٦٧٥	٦٩٧.٥	٥٩٤	٥٦٤.٢	٥٩٨.٣	٥٨٥	٦٦٠.٣	٦٠٣	٥٦٧.٣	٦١٣.٢	٧٣٥٨
المعدل		٥٥٦.٥	٥٨٠	٦٥٦.٤	٦٥٤.٨	٦٧٤.٣	٥٧٢.٣	٥٦٨.١	٦٠٣	٥٨٨	٦٦٤.٢	٥٩٩.٣	٥٥١.٨	٦٠٥.٧	٧٨٧٤.١
حجة	٢٠٠٣	٣٨٧.٥	٤١١.٨	٥٢٠.٨	٥٩٤	٦٢٦.٢	٥٩٧	٦٢٣.١	٥٦٤.٢	٥٤٩	٥٥٨	٤٤٧	٤٣٠.٩	٥٢٥.٨	٦٣٠٩.٥
	٢٠٠٤	٤٠٣	٤١٧.٦	٥٠٥.٣	٥٨٨	٦٢٣.١	٥٩١	٦٠٧.٦	٥٧٣.٥	٥٥٢	٥٤٨.٧	٤٣٨	٤١٨.٥	٥٢٢.٢	٦٢٦٦.٣
	٢٠٠٥	٣٨١.٣	٤٢٠.٥	٤٨٩.٨	٦٠٣	٦٤١.٧	٦٠٣	٦١٣.٨	٥٧٠.٤	٥٤٩	٥٦٤.٢	٤٥٠	٤٤٦.٤	٥٢٧.٨	٦٣٣٣.١
	٢٠٠٦	٣٩٦.٨	٤٢٠.٥	٥٢٧	٥٩٤	٦٢٣.١	٥٩١	٦١٣.٨	٥٧٠.٤	٥٤٩	٥٣٦.٣	٤٢٠	٤٢٤.٧	٥٢٢.٢	٦٢٦٦.٦
المعدل		٣٩٢.٢	٤١٧.٦	٥١٠.٧	٥٩٤.٨	٦٢٨.٥	٥٩٥.٥	٦١٤.٦	٥٦٩.٦	٥٤٩.٨	٥٥١.٨	٤٣٨.٨	٤٣٠.١	٥٢٤.٥	٦٨١٨.٤
إب	٢٠٠٥	٥٥٨	٦٢٩.٣	٦٥٧.٢	٦٤٨	٦٢٩.٣	٦٢٧	٥٥٨	٥٦١.١	٥٧٠	٦٤٤.٨	٥٦٧	٥٧٠.٤	٦٠١.٧	٧٢٢٠.١
	٢٠٠٦	٥٦٧.٣	٥٩٧.٤	٦٦٣.٤	٦٨١	٦٨٢	٦٠٦	٥٧٠.٤	٥٣٠.١	٥٥٥	٦٥٧.٢	٥٤٠	٥٣٠.١	٥٩٨.٣	٧١٧٩.٩
	٢٠٠٧	٥٠٢.٢	٥٥٣.٩	٦٣٨.٦	٦٣٩	٦١٠.٧	٥٤٠	٤٩٦	٥١٧.٧	٥٤٦	٦٥١	٥٤٩	٥١١.٥	٥٦٣	٦٧٥٥.٦
المعدل		٥٤٢.٥	٥٩٣.٥	٦٥٣.١	٦٥٦	٦٤٠.٧	٥٩١	٥٤١.٥	٥٣٦.٣	٥٥٧	٦٥١	٥٥٢	٥٣٧.٣	٥٨٧.٧	٧٦٣٩.٥

تابع ملحق(٣) كمية الإشعاع الشمسي الشهرية والسنوية في محطات الدراسة (ميجا جول/م٢/شهر)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل	المجموع
	٢٠٠٣	٦١٠.٧	٦١١.٩	٧٠٦.٨	٧٣٨	٧٨٤.٣	٧٢٩	٦٠٤.٥	٦٤٧.٩	٦٨٤	٧١٩.٢	٦١٢	٥٦١.١	٦٦٧.٥	٨٠٠٩.٤
صنعاء	٢٠٠٤	٥٦٤.٢	٦٢٣.٥	٧٠٠.٦	٧١٤	٧٤٠.٩	٧٠٨	٦٣٥.٥	٦٦٩.٦	٦٨٤	٧١٩.٢	٦١٨	٦٠٤.٥	٦٦٥.٢	٧٩٨٢
	٢٠٠٥	٦١٠.٧	٦٥٥.٤	٦٩١.٣	٧١٧	٧٤٠.٩	٧٦٥	٦٤٧.٩	٦٦٠.٣	٦٨٤	٧١٩.٢	٦١٨	٦١٣.٨	٦٧٧	٨١٢٣.٥
	٢٠٠٦	٦١٠.٧	٦١١.٩	٧٠٦.٨	٧٣٨	٧٨٤.٣	٧٢٩	٦٠٤.٥	٦٤٧.٩	٦٨٤	٧١٩.٢	٦١٢	٥٦١.١	٦٦٧.٥	٨٠٠٩.٤
	٢٠٠٧	٥٩٨.٣	٦٠٦.١	٧٠٣.٧	٦٧٨	٧١٩.٢	٦٣٠	٦٤٧.٩	٦٩٧.٥	٦٨١	٧١٣	٦١٨	٦٠٧.٦	٦٥٨.٤	٧٩٠٠.٣
المعدل		٥٩٨.٩	٦٢١.٨	٧٠١.٨	٧١٧	٧٥٣.٩	٧١٢.٢	٦٢٨.١	٦٦٤.٦	٦٨٣.٤	٧١٨	٦١٥.٦	٥٨٩.٦	٦٦٧.١	٨٦٧٢
صعدة	٢٠٠٠	٥٥٨	٥٨٢.٩	٦٦٠.٣	٦٥٤	٧٩٣.٦	٧١٧	٥٧٩.٧	٦٢٠	٦٠٣	٦٨٢	٥٧٩	٥٦١.١	٦٣٢.٦	٧٥٩٠.٦
	٢٠٠١	٥٦١.١	٥٥٩.٧	٦٨٢	٦٤٥	٧٧٥	٧٠٥	٥٧٦.٦	٦٢٩.٣	٦٢١	٦٩١.٣	٥٨٢	٥٦٧.٣	٦٣٢.٩	٧٥٩٥.٣
	٢٠٠٢	٥٥١.٨	٥٦٢.٦	٦٧٢.٧	٦٩٦	٧٩٦.٧	٧٠٢	٥٨٩	٦٤١.٧	٦١٢	٦٦٣.٤	٥٧٦	٥٦٤.٢	٦٣٥.٧	٧٦٢٨.١
	٢٠٠٣	٥٦١.١	٥٧١.٣	٦٥١	٦٥٤	٧٨٤.٣	٧١٧	٥٦٧.٣	٦٢٩.٣	٦٣٣	٦٩٧.٥	٥٨٢	٥٥٤.٩	٦٣٣.٦	٧٦٠٢.٧
المعدل		٥٥٨	٥٦٩.١	٦٦٦.٥	٦٦٢.٣	٧٨٧.٤	٧١٠.٣	٥٧٨.٢	٦٣٠.١	٦١٧.٣	٦٨٣.٦	٥٧٩.٨	٥٦١.٩	٦٣٣.٧	٨٢٣٧.٩
ذمار	٢٠٠٠	٦١٦.٩	٥٩٤.٥	٧١٦.١	٧١٧	٧٥٦.٤	٧٨٣	٧٥٣.٣	٧٠٩.٩	٦٧٨	٦٥٧.٢	٥٧٩	٥٧٩.٧	٦٧٨.٤	٨١٤١
	٢٠٠١	٥٧٦.٦	٥٧٤.٢	٧٠٩.٩	٦٦٩	٧٤٤	٧٤١	٦٠٤.٥	٦٢٠	٦٠٠	٦٤١.٧	٥٩٧	٥٧٠.٤	٦٣٧.٤	٧٦٤٨.٣
	٢٠٠٢	٦٠١.٤	٦٤٦.٧	٦٣٨.٦	٦٦٩	٧٠٣.٧	٥٩١	٦٣٨.٦	٦٦٣.٤	٥٧٩	٦٦٩.٦	٥٩٤	٥٣٩.٤	٦٢٧.٩	٧٥٣٤.٤
	٢٠٠٣	٦٤٤.٨	٦١١.٩	٧٠٣.٧	٦٨١	٧٢٣	٦٥٤	٥٦٧.٣	٦٢٩.٣	٦٠٠	٦٦٩.٦	٥٩٧	٥٩٥.٢	٦٣٩.٧	٧٦٧٦.٨
	٢٠٠٤	٦٠٤.٥	٦١٤.٨	٦٨٥.١	٦٧٨	٧٠٦.٨	٦٣٣	٦٢٩.٣	٦٤٤.٨	٦٣٠	٦٦٠.٣	٥٨٢	٦٠١.٤	٦٣٩.٢	٧٦٧٠
	٢٠٠٥	٦٠٧.٦	٦٤٩.٦	٦٢٦.٢	٦٣٦	٦٣٨.٦	٦٤٢	٦٠٧.٦	٥٩٥.٢	٦٢٧	٦٤٧.٩	٥٧٣	٦١٦.٩	٦٢٢.٣	٧٤٦٧.٦
	٢٠٠٦	٦٠٤.٥	٦١٤.٨	٦٥١	٦٠٦	٦٣٨.٦	٦٦٦	٥٥٨	٥٩٥.٢	٥٨٢	٦٣٨.٦	٥٣٤	٥١٧.٧	٦٠٠.٥	٧٢٠٦.٤
	٢٠٠٧	٥٧٣.٥	٥٧٤.٢	٦٥١	٦٣٦	٦٣٥.٥	٧٠٩	٥٩٥.٢	٦٤١.٧	٦٩٩	٦٧٥.٨	٥٩٧	٦١٦.٩	٦٣٣.٧	٧٦٠٤.٨
	٢٠٠٨	٦٣٥.٥	٦٥٢.٥	٧٤٠.٩	٧٤٧	٦٩٤.٤	٦٦٦	٦٢٣.١	٦٤١.٧	٦٦٩	٦٤٧.٩	٥٧٩	٦١٦.٩	٦٥٩.٥	٧٩١٣.٩
	٢٠٠٩	٥٩٢.١	٦٣٨	٧٣١.٦	٧٢٩	٨٠.٦	٧٥٠	٥٨٥.٩	٦٥١	٦٨٧	٦٣٥.٥	٥٩٧	٥٧٩.٧	٦٦٥.٢	٧٩٨٢.٨
المعدل		٦٠٥.٧	٦١٧.١	٦٨٥.٤	٦٧٦.٨	٧٠٤.٧	٦٨٣.٥	٦١٦.٣	٦٣٩.٢	٦٣٥.١	٦٥٤.٤	٥٨٢.٩	٥٨٣.٤	٦٤٠.٤	٨٣٢٥

تابع ملحق(٣) كمية الإشعاع الشمسي الشهرية والسنوية في محطات الدراسة (ميجا جول/م٢/شهر)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل	المجموع
مأرب	٢٠٠٠	٥٨٩	٦١٤.٨	٧٠٠.٦	٧٠٢	٨٠٦	٧١٤	٦٩١.٣	٧٢٢.٣	٦٩٠	٧١٣	٦٣٠	٥٨٩	٦٨٠.٢	٨١٦٢
	٢٠٠١	٥٩٢.١	٦٢٦.٤	٧٠٦.٨	٧١٤	٨٠٩.١	٧٣٥	٧٠٠.٦	٧٠٩.٩	٦٨٤	٧١٩.٢	٦٣٦	٥٩٥.٢	٦٨٥.٧	٨٢٢٨.٣
	٢٠٠٢	٥٩٢.١	٦١١.٩	٧١٦.١	٧٢٦	٧٨١.٢	٧٢٠	٧٢٢.٣	٧٢٥.٤	٧٠٢	٧١٩.٢	٦٣٦	٥٨٩	٦٨٦.٧	٨٢٤١.٢
	٢٠٠٣	٥٧٩.٧	٦١٤.٨	٧٠٦.٨	٧٠٢	٨٠٩.١	٧٣٢	٧٠٠.٦	٧٠٩.٩	٦٨٤	٧٠٦.٨	٦٣٠	٥٩٥.٢	٦٨٠.٩	٨١٧٠.٩
المعدل		٥٨٨.٢	٦١٧	٧٠٧.٦	٧١١	٨٠١.٤	٧٢٥.٣	٧٠٣.٧	٧١٦.٩	٦٩٠	٧١٤.٦	٦٣٣	٥٩٢.١	٦٨٣.٤	٨٨٨٤
سينون	٢٠٠٠	٥٦٧.٣	٥٨٢.٩	٦٩٧.٥	٧١١	٧٤٤	٦٦.٩	٧٠٣.٧	٧٠٩.٩	٦٥٧	٦٢٩.٣	٥٨٥	٥٥٨	٦٠١	٧٢١٢.٥
	٢٠٠١	٥٧٣.٥	٦٠٣.٢	٦٩٤.٤	٧١٧	٧٤٠.٩	٦٧٨	٦٨٨.٢	٧٠٠.٦	٧٤١	٦٦٩.٦	٥٩٤	٥٤٥.٦	٦٦٢.٢	٧٩٤٦
	٢٠٠٢	٥٣٣.٢	٦٠٠.٣	٦٦٣.٤	٧٠٢	٧٠٣.٧	٦٤٢	٦٨٥.١	٦٧٨.٩	٦٣٣	٦٥٧.٢	٥٤٠	٥٠٢.٢	٦٢٨.٤	٧٥٤١
	٢٠٠٣	٥٢٧	٥٧٤.٢	٦٧٢.٧	٧٠٢	٧٦٨.٨	٦٦٩	٥٩٨.٣	٦٨٥.١	٥٩١	٦١٣.٨	٥١٦	٤٨٠.٥	٦١٦.٥	٧٣٩٨.٤
	٢٠٠٤	٥٠٨.٤	٥٦٢.٦	٦٦٩.٦	٦٨٧	٧٥٣.٣	٦٥١	٦٦٩.٦	٧٠٩.٩	٦٥١	٦٠٤.٥	٥٣١	٥٠٨.٤	٦٢٥.٥	٧٥٠٦.٣
	٢٠٠٥	٥١٤.٦	٥٦٨.٤	٦٦٣.٤	٦٦٣	٧٤٤	٦٦٠	٦٦٩.٦	٦٨٨.٢	٦٧٥	٦٤٤.٨	٥٨٥	٥٥٤.٩	٦٣٥.٩	٧٦٣٠.٩
المعدل		٥٣٧.٣	٥٨١.٩	٦٧٦.٨	٦٩٧	٧٤٢.٥	٥٦١.٢	٦٦٩.١	٦٩٥.٤	٦٥٨	٦٣٦.٥	٥٥٨.٥	٥٢٤.٩	٦٢٨.٣	٨١٦٧.٤

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على الملحق (١)

ملحق (٤) اتجاهات الرياح لمحطات الدراسة المناخية في الجمهورية اليمنية

المحطة	السنوات	الشتاء		الربيع			الصيف		الخريف			ديسمبر
		يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	
صنعاء	٢٠٠٠	ne	ne	ne	ne	ne	n	ne	ne	ne	ne	n
	٢٠٠١	n	n	sw	ne	ne	n	w	n	ne	n	n
	٢٠٠٢	n	n	n	e	ne	ne	ne	ne	ne	ne	sw
	٢٠٠٣	w	n	sw	ne	e	ne	ne	ne	ne	n	n
	٢٠٠٤	sw	n	n	e	ne	ne	ne	ne	ne	n	n
	٢٠٠٥	sw	sw	sw	ne	ne	ne	n	ne	ne	ne	n
	٢٠٠٦	ne	ne	ne	e	ne	ne	w-sw	w-sw	ne	e-ne	ne
صعدة	٢٠٠٠	s	s	s	s	e	ne	n	ne	e	e	s
	٢٠٠١	s	s	s	s	s	n	n	n	n	e	s
	٢٠٠٢	s	s	s	s	s	n	n	n	n	n	s
	٢٠٠٣	s	s	s	s	e	n	n	s	s	e	s
	٢٠٠٤	s	s	s	s	n	n	s	s	n	e	s
	٢٠٠٥	s	s	s	s	s	n	n	n	n	e	s
	٢٠٠٦	s	s	s	s	e	n	s	s	n	e	s
ذمار	٢٠٠٠	e	e	sw	e	e	e	e	w	e	e	w
	٢٠٠١	e	e	sw	e	e	e	e	w	e	e	w
	٢٠٠٢	e	e	sw	e	e	e	e	we	e	e	w
	٢٠٠٣	w	sw	e	e	e	e	w	w	e	e	se
	٢٠٠٤	nw	se	se	se	e	e	nw	e	e	e	se
	٢٠٠٥	w	w	se	e	e	e	e	w	w	e	se
	٢٠٠٦	se	w	w	sw	e	e	w	w	w	e	w
الحديدة	٢٠٠٠	s	s	s	s	w	w	w	w	w	w	s
	٢٠٠١	s	s	s	sw	w	w	w	w	w	sw	w
	٢٠٠٢	s	s	s	s	w	w	sw	w	w	s	s
	٢٠٠٣	s	s	s	s	w	w	w	w	w	w	s
	٢٠٠٤	s	s	s	s	w	w	w	w	w	w	s
	٢٠٠٥	s	s	s	s	w	w	nw	w	w	sw	s
	٢٠٠٦	s	s	s	s	w	w	w	w	w	s	s

تابع ملحق (٤) اتجاهات الرياح لمحطات الدراسة المناخية في الجمهورية اليمنية

المحطة	السنوات	الشتاء		الربيع			الصيف			الخريف		
		يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر
الريان	٢٠٠٠	se	se	se	Se	se	se	sw	se	e	se	e
	٢٠٠١	se	se	se	Se	se	se	se	e	se	se	se
	٢٠٠٢	se	se	se	Se	se	se	se	e	se	se	se
	٢٠٠٣	se	se	se	Se	se	s	s	se	e	se	se
	٢٠٠٤	se	se	se	Se	s	sw	se	e	se	se	se
	٢٠٠٥	se	se	se	Se	se	s	e	e	e	se	se
	٢٠٠٦	sw	se	se	Se	se	se	e	e	se	e	se
تعز	٢٠٠٠	s	s	s	S	s	nw	w	w	w	s	s
	٢٠٠١	s	s	s	S	s	nw	nw	nw	s	s	s
	٢٠٠٢	s	s	s	S	s	nw	nw	nw	nw	s	s
	٢٠٠٣	s	s	s	S	s	w	w	w	w	s	s
	٢٠٠٤	s	s	s	S	s	ne	nw	nw	nw	s	s
	٢٠٠٥	s	s	s	S	s	nw	nw	w	n	s	s
	٢٠٠٦	se	se	se	Se	n	n	w	w	w	se	se
حجة	٢٠٠٠	w	sw	sw	Sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw
	٢٠٠١	sw	sw	sw	S	sw	sw	sw	sw	sw	s	sw
	٢٠٠٢	w	sw	sw	Sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw
	٢٠٠٣	sw	sw	sw	Sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw
	٢٠٠٤	sw	sw	sw	Sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw	sw
	٢٠٠٥	sw	sw	sw	Sw	sw	n	sw	sw	sw	sw	sw
	٢٠٠٦	sw	sw	sw	Sw	sw	w	sw	sw	sw	sw	sw
سقطرى	٢٠٠٠	ne	ne	ne	Ne	sw	sw	sw	sw	sw	ne	e
	٢٠٠١	ne	ne	ne	Ne	sw	sw	sw	sw	sw	ne	ne
	٢٠٠٢	ne	ne	ne	Ne	s	s	sw	sw	sw	ne	ne
	٢٠٠٣	ne	ne	ne	Ne	sw	sw	sw	sw	sw	ne	ne
	٢٠٠٤	ne	ne	ne	Ne	sw	sw	sw	sw	s	ne	ne
	٢٠٠٥	ne	ne	ne	Ne	ne	s	sw	sw	sw	ne	e
	٢٠٠٦	ne	ne	ne	Ne	ne	sw	sw	sw	sw	ne	ne

تابع ملحق (٤) اتجاهات الرياح لمحطات الدراسة المناخية في الجمهورية اليمنية

المحطة	السنة	الشتاء		الربيع			الصيف			الخريف		
		يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر
إب	٢٠٠٠	e	ne	nw	N	nw	e	e	n	s	e	w
	٢٠٠١	w	s	s	S	s	w	w	n	s	s	s
	٢٠٠٢	w	s	s	S	s	w	w	n	s	s	s
	٢٠٠٣	s	s	s	S	s	w	w	n	w	s	s
	٢٠٠٤	s	s	s	S	s	w	w	w	s	s	s
	٢٠٠٥	s	s	s	S	s	w	w	w	s	s	s
	٢٠٠٦	s	s	s	S	s	w	w	w	w	s	s
مأرب	٢٠٠٠	ne	se	ne	S	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
	٢٠٠١	ne	ne	ne	Ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
	٢٠٠٢	ne	ne	ne	Ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
	٢٠٠٣	ne	e	se	Ne	e	ne	ne	ne	ne	ne	ne
	٢٠٠٤	ne	ne	ne	Ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
	٢٠٠٥	ne	e	e	Ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
	٢٠٠٦	ne	e	ne	Ne	ne	ne	ne	ne	ne	e	ne
سينون	٢٠٠٠	ne	ne	e	E	se	e	se	w	ne	ne	ne
	٢٠٠١	ne	ne	e	E	se	e	se	w	ne	ne	ne
	٢٠٠٢	ne	ne	e	E	se	e	se	w	ne	ne	ne
	٢٠٠٣	ne	ne	se	Se	ne	ne	ne	se	e	e	e
	٢٠٠٤	e	ne	ne	Se	ne	ne	ne	w	e	e	e
	٢٠٠٥	e	e	s	S	s	s	sw	s	ne	ne	ne
	٢٠٠٦	e	e	e	E	e	e	sw	sw	e	e	e
عدن	٢٠٠٠	se	se	se	Se	se	se	se	w	se	se	se
	٢٠٠١	e	e	e	E	e	e	se	sw	se	e	se
	٢٠٠٢	e	e	e	E	se	sw	sw	sw	e	e	e
	٢٠٠٣	se	e	e	E	e	sw	sw	sw	se	e	e
	٢٠٠٤	e	e	e	E	se	sw	sw	sw	se	e	e
	٢٠٠٥	e	e	e	E	e	se	sw	sw	se	se	se
	٢٠٠٦	e	e	e	E	se	se	sw	sw	sw	e	e

المصدر: الباحث اعتماداً على

- (١) الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٣-٢٠٠٧م.
- (٢) الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار، بيانات غير منشورة للفترة من ٢٠٠٠-٢٠٠٥م.
- (٣) الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء، كتب الإحصاء السنوي لسنوات متعددة.

ملحق (٥) معدل الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية (كيلو واط ساعة/م^٢/يوم)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
تعز	٢٠٠٠	٤.٩	٥.٥	٥.٨	٦.٠	٦.٠	٥.٣	٤.٩	٥.٤	٥.٤	٦.٠	٥.٦	٤.٩	٥.٥
	٢٠٠١	٥.٠	٥.٦	٥.٨	٥.٩	٥.٩	٥.١	٥.١	٥.٣	٥.٤	٥.٩	٥.٦	٤.٩	٥.٥
	٢٠٠٢	٤.٩	٥.٥	٦.٠	٦.١	٦.٠	٥.٣	٥.٣	٥.٦	٥.٦	٦.٠	٥.٥	٤.٩	٥.٦
	٢٠٠٣	٥.٠	٥.٦	٦.٠	٦.٣	٦.٣	٥.٥	٥.١	٥.٤	٥.٤	٥.٩	٥.٦	٥.١	٥.٦
	المعدل	٥.٠	٥.٦	٥.٩	٦.١	٦.٠	٥.٣	٥.١	٥.٤	٥.٤	٦.٠	٥.٥	٤.٩	٥.٥
حجة	٢٠٠٣	٣.٥	٣.٩	٤.٧	٥.٥	٥.٦	٥.٥	٥.٦	٥.١	٥.١	٥.٠	٤.١	٣.٩	٤.٨
	٢٠٠٤	٣.٦	٤.٠	٤.٥	٥.٤	٥.٦	٥.٥	٥.٤	٥.١	٥.١	٤.٩	٤.١	٣.٨	٤.٨
	٢٠٠٥	٣.٤	٤.٠	٤.٤	٥.٦	٥.٨	٥.٦	٥.٥	٥.١	٥.١	٥.١	٤.٢	٤.٠	٤.٨
	٢٠٠٦	٣.٦	٤.٠	٤.٧	٥.٥	٥.٦	٥.٥	٥.٥	٥.١	٥.١	٤.٨	٣.٩	٣.٨	٤.٨
	المعدل	٣.٥	٤.٠	٤.٦	٥.٥	٥.٦	٥.٥	٥.٥	٥.١	٥.١	٤.٩	٤.١	٣.٩	٤.٨
إب	٢٠٠٥	٥.٠	٦.٠	٥.٩	٦.٠	٥.٦	٥.٨	٥.٠	٥.٠	٥.٣	٥.٨	٥.٣	٥.١	٥.٥
	٢٠٠٦	٥.١	٥.٧	٥.٩	٦.٣	٦.١	٥.٦	٥.١	٤.٨	٥.١	٥.٩	٥.٠	٤.٨	٥.٥
	٢٠٠٧	٤.٥	٥.٣	٥.٧	٥.٩	٥.٥	٥.٠	٤.٤	٤.٦	٥.١	٥.٨	٥.١	٤.٦	٥.١
	المعدل	٤.٩	٥.٧	٥.٩	٦.١	٥.٧	٥.٥	٤.٩	٤.٨	٥.٢	٥.٨	٥.١	٤.٨	٥.٤
مأرب	٢٠٠٠	٥.٣	٥.٩	٦.٣	٦.٥	٧.٢	٦.٦	٦.٢	٦.٥	٦.٤	٦.٤	٥.٨	٥.٣	٦.٢
	٢٠٠١	٥.٣	٦.٠	٦.٣	٦.٦	٧.٣	٦.٨	٦.٣	٦.٤	٦.٣	٦.٤	٥.٩	٥.٣	٦.٢
	٢٠٠٢	٥.٣	٥.٩	٦.٤	٦.٧	٧.٠	٦.٧	٦.٥	٦.٥	٦.٥	٦.٤	٥.٩	٥.٣	٦.٣
	٢٠٠٣	٥.٢	٥.٩	٦.٣	٦.٥	٧.٣	٦.٨	٦.٣	٦.٤	٦.٣	٦.٣	٥.٨	٥.٣	٦.٢
	المعدل	٥.٣	٥.٩	٦.٣	٦.٦	٧.٢	٦.٧	٦.٣	٦.٤	٦.٤	٦.٤	٥.٩	٥.٣	٦.٢
سينون	٢٠٠٠	٥.١	٥.٦	٦.٣	٦.٦	٦.٧	٦.٢	٦.٣	٦.٤	٦.١	٥.٦	٥.٤	٥.٠	٥.٩
	٢٠٠١	٥.١	٥.٨	٦.٢	٦.٦	٦.٦	٦.٣	٦.٢	٦.٣	٦.٩	٦.٠	٥.٥	٤.٩	٦.٠
	٢٠٠٢	٤.٨	٥.٨	٥.٩	٦.٥	٦.٣	٥.٩	٦.١	٦.١	٥.٩	٥.٩	٥.٠	٤.٥	٥.٧
	٢٠٠٣	٤.٧	٥.٥	٦.٠	٦.٥	٦.٩	٦.٢	٥.٤	٦.١	٥.٥	٥.٥	٤.٨	٤.٣	٥.٦
	٢٠٠٤	٤.٦	٥.٤	٦.٠	٦.٤	٦.٨	٦.٠	٦.٠	٦.٤	٦.٠	٥.٤	٤.٩	٤.٦	٥.٧
	٢٠٠٥	٤.٦	٥.٤	٥.٩	٦.١	٦.٧	٦.١	٦.٠	٦.٢	٦.٣	٥.٨	٥.٤	٥.٠	٥.٨
	المعدل	٤.٨	٥.٦	٦.١	٦.٥	٦.٧	٦.١	٦.٠	٦.٣	٦.١	٥.٧	٥.٢	٤.٧	٥.٨

تابع الملحق (٥) معدل الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية (كيلو واط ساعة/م^٢/يوم)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
صنعاء	٢٠٠٣	٥.٥	٥.٩	٦.٣	٦.٨	٧	٦.٨	٥.٤	٥.٨	٦.٣	٦.٤	٥.٧	٥	٦.١
	٢٠٠٤	٥.١	٦	٦.٣	٦.٦	٦.٦	٦.٦	٥.٧	٦	٦.٣	٦.٤	٥.٧	٥.٤	٦.١
	٢٠٠٥	٥.٥	٦.٣	٦.٢	٦.٦	٦.٦	٧.١	٥.٨	٥.٩	٦.٣	٦.٤	٥.٧	٥.٥	٦.٢
	٢٠٠٦	٥.٥	٥.٩	٦.٣	٦.٨	٧	٦.٨	٥.٤	٥.٨	٦.٣	٦.٤	٥.٧	٥	٦.١
	٢٠٠٧	٥.٤	٥.٨	٦.٣	٦.٣	٦.٤	٥.٨	٥.٨	٦.٣	٦.٣	٦.٤	٥.٧	٥.٤	٦.٠
		٥.٤	٦	٦.٣	٦.٦	٦.٨	٦.٦	٥.٦	٦	٦.٣	٦.٤	٥.٧	٥.٣	٦.١
صعدة	٢٠٠٠	٥	٥.٦	٥.٩	٦.١	٧.١	٦.٦	٥.٢	٥.٦	٥.٦	٦.١	٥.٤	٥	٥.٨
	٢٠٠١	٥	٥.٤	٦.١	٦	٦.٩	٦.٥	٥.٢	٥.٦	٥.٨	٦.٢	٥.٤	٥.١	٥.٨
	٢٠٠٢	٤.٩	٥.٤	٦	٦.٤	٧.١	٦.٥	٥.٣	٥.٨	٥.٧	٥.٩	٥.٣	٥.١	٥.٨
	٢٠٠٣	٥	٥.٥	٥.٨	٦.١	٧	٦.٦	٥.١	٥.٦	٥.٩	٦.٣	٥.٤	٥	٥.٨
		٥	٥.٥	٦	٦.١	٧.١	٦.٦	٥.٢	٥.٦	٥.٧	٦.١	٥.٤	٥	٥.٨
ذمار	٢٠٠٠	٥.٥	٥.٧	٦.٤	٦.٦	٦.٨	٧.٣	٦.٨	٦.٤	٦.٣	٦.٤	٥.٩	٥.٢	٦.٢
	٢٠٠١	٥.٢	٥.٥	٦.٤	٦.٢	٦.٧	٦.٩	٥.٤	٥.٦	٥.٦	٥.٨	٥.٥	٥.١	٥.٨
	٢٠٠٢	٥.٤	٦.٢	٥.٧	٦.٢	٦.٣	٥.٥	٥.٧	٥.٩	٥.٤	٦	٥.٥	٤.٨	٥.٧
	٢٠٠٣	٥.٨	٥.٩	٦.٣	٦.٣	٦.٧	٦.١	٥.١	٥.٦	٥.٦	٦	٥.٥	٥.٣	٥.٩
	٢٠٠٤	٥.٤	٥.٩	٦.١	٦.٣	٦.٣	٥.٩	٥.٦	٥.٨	٥.٨	٥.٩	٥.٤	٥.٤	٥.٨
	٢٠٠٥	٥.٤	٦.٢	٥.٦	٥.٩	٥.٧	٥.٩	٥.٤	٥.٣	٥.٨	٥.٨	٥.٣	٥.٥	٥.٧
	٢٠٠٦	٥.٤	٥.٩	٥.٨	٥.٦	٥.٧	٦.٢	٥	٥.٣	٥.٤	٥.٧	٤.٩	٤.٦	٥.٥
	٢٠٠٧	٥.١	٥.٥	٥.٨	٥.٩	٥.٧	٥.٦	٥.٣	٥.٨	٦.٥	٦.١	٥.٥	٥.٥	٥.٧
	٢٠٠٨	٥.٧	٦.٣	٦.٦	٦.٩	٦.٢	٦.٢	٥.٦	٥.٨	٦.٢	٥.٨	٥.٤	٥.٥	٦.٠
	٢٠٠٩	٥.٣	٦.١	٦.٦	٦.٨	٧.٢	٦.٩	٥.٣	٥.٨	٦.٤	٥.٧	٥.٥	٥.٢	٦.١
		٥.٤	٥.٩	٦.١	٦.٣	٦.٣	٦.٢	٥.٥	٥.٧	٥.٩	٥.٩	٥.٤	٥.٢	٥.٨

تابع الملحق (٥) معدل الطاقة الشمسية في الجمهورية اليمنية (كيلو واط ساعة/م^٢/يوم)

المحطة	السنة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
عدن	٢٠٠٠	٤.٩	٥.٤	٥.٩	٦	٦	٥.٥	٥.٢	٥.٦	٥.٥	٥.٩	٥.٥	٤.٩	٥.٥
	٢٠٠١	٥	٥.٥	٥.٩	٦	٦	٥.٣	٥.٣	٥.٥	٥.٥	٥.٨	٥.٤	٤.٩	٥.٥
	٢٠٠٢	٤.٩	٥.٤	٥.٩	٥.٩	٥.٩	٥.٢	٥.٣	٥.٥	٥.٦	٥.٩	٥.٤	٤.٩	٥.٥
	٢٠٠٣	٥	٥.٥	٥.٩	٦.١	٦.١	٥.٤	٥.٣	٥.٦	٥.٥	٥.٨	٥.٥	٥	٥.٦
	المعدل	٤.٩	٥.٥	٥.٩	٦	٦	٥.٤	٥.٣	٥.٥	٥.٥	٥.٨	٥.٤	٤.٩	٥.٥
الحديدة	٢٠٠١	٤.٦	٤.٩	٥.٣	٥.٩	٥.٨	٤.٨	٤.٨	٥.٣	٥.٣	٥.٥	٥.١	٤.٦	٥.٢
	٢٠٠٢	٤.٥	٥	٥.٢	٥.٨	٥.٩	٥.١	٥.١	٥.٣	٥.٣	٥.٦	٥.٢	٤.٦	٥.٢
	٢٠٠٣	٤.٦	٥.١	٥.٢	٥.٧	٥.٩	٤.٩	٤.٨	٥.٣	٥.٣	٥.٤	٥.١	٤.٧	٥.٢
	٢٠٠٦	٤.٣	٤.٦	٥.٢	٥.٧	٥.٧	٤.٨	٤.٨	٤.٩	٥	٥.٥	٤.٨	٤.٥	٥.٠
		٤.٥	٤.٩	٥.٦	٥.٩	٥.٩	٥.٢	٥.١	٥.٤	٥.٤	٥.٧	٥.٣	٤.٨	٥.٣
الريان	٢٠٠٥	٥	٥.٥	٥.٦	٦.٤	٦.٧	٤.٧	٥.٧	٥.٨	٥.٤	٦.١	٥.٧	٥.٤	٥.٧
	٢٠٠٦	٥.١	٥.٨	٦	٦.٨	٦.٥	٥	٥.١	٦.٢	٥.٩	٦.٣	٥.٦	٥.٣	٥.٨
	٢٠٠٧	٥.١	٥.٦	٥.٦	٦.٦	٦.١	٤.٣	٥.٦	٥.٨	٥.٢	٦.٣	٥.٥	٥.٣	٥.٦
	المعدل	٥.١	٥.٦	٥.٧	٦.٦	٦.٤	٤.٧	٥.٥	٥.٩	٥.٥	٦.٢	٥.٦	٥.٣	٥.٧

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على أن الكيلو وات ساعة = ٣.٦٠ ميغا جول/م^٢

ملحق (٦) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واطم/م/ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
الحديدة	٢٠٠٠	٥١.٣	٤٧.٨	٦٢.٨	٥٨.٨	٥٥	٣٢.٧	٤٧.٨	٣٨.٣	٣٥.٤	٢٣.٢	٣٢.٧	٣٠.١	٤٣
	٢٠٠١	٣٢.٧	٢٥.٤	٤٧.٨	٣٥.٤	٢٥.٤	٢١.١	٢٣.٢	٢٥.٤	٢٣.٢	٢٣.٢	٢٥.٤	٣٢.٧	٢٨.٤
	٢٠٠٢	٧١.٣	١٠١.٦	١٠٧.٣	٩٦	٥٨.٨	٧٥.٩	٦٧	٦٧	٦٢.٨	٥٨.٨	٦٧	٥٨.٨	٧٤.٤
	٢٠٠٣	٩٠.٧	٩٠.٧	٧٥.٩	٨٥.٦	٦٧	٦٢.٨	٧١.٣	٥٥	٥١.٣	٥٨.٨	٩٠.٧	١٠٧.٣	٧٥.٦
	٢٠٠٤	٧١.٣	٨٠.٦	٨٥.٦	٦٧	٤٧.٨	٥٥	٣٥.٤	٣٢.٧	٣٢.٧	٢١.١	٣٨.٣	٤٧.٨	٥١.٣
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٧	٥١.٣	٦٢.٨	٢٧.٧	٣٠.١	٣٠.١	١٩.٢	٣٨.٣	٦٢.٨	٧٥.٩	١٥٣.٧	٥٥.٦
	٢٠٠٦	١٥٣.٧	١٤٦.٤	١٢٥.٩	٩٦	٢٥.٤	٣٥.٤	٤٧.٨	٣٠.١	٣٥.٤	١٠١.٦	٥٨.٨	٧٥.٩	٧٧.٧
المعدل		٧٤.١	٧٩.٩	٧٩.٥	٧١.٧	٤٣.٩	٤٤.٧	٤٦.١	٣٨.٢	٣٩.٩	٤٩.٩	٥٥.٥	٧٢.٣	٥٨
الريان	٢٠٠٠	٤٧.٨	٢٥.٤	٣٥.٤	٤٤.٥	٣٠.١	٢٥.٤	١٦٩.١	٣٨.٣	٢٥.٤	٤١.٣	٣٨.٣	٤٤.٥	٤٧.١
	٢٠٠١	٣٨.٣	٣٥.٤	٤١.٣	٤١.٣	٣٨.٣	٣٠.١	٢٧.٧	٢٣.٢	٣٠.١	٣٢.٧	٣٢.٧	٦٢.٨	٣٦.٢
	٢٠٠٢	٥١.٣	٥٨.٨	٥٥	٤٤.٥	٣٨.٣	٣٥.٤	٥١.٣	٢٥.٤	٥٥	٤٤.٥	٤٤.٥	٢٣.٢	٤٣.٩
	٢٠٠٣	٦٢.٨	٥٥	٥٥	٥٥	٥١.٣	٥٨.٨	٦٢.٨	٧٥.٩	٢١.١	٥٥	٥٥	٦٢.٨	٥٥.٩
	٢٠٠٤	٥٨.٨	٦٢.٨	٥٥	٥١.٣	٥١.٣	١٥٣.٧	٥١.٣	١٩.٢	٥٨.٨	٥٥	٥١.٣	٨٥.٦	٦٢.٨
	٢٠٠٥	٨٠.٦	٧٥.٩	٥٨.٨	٥٨.٨	٥٨.٨	٩٠.٧	٢٥.٤	٣٥.٤	٤١.٣	٣٢.٧	٦٢.٨	٦٧	٥٧.٤
	٢٠٠٦	٦٧	٧٥.٩	٦٢.٨	٦٧	٦٧	٥٥	٤١.٣	٣٢.٧	٤٧.٨	٥٥	٥١.٣	٤١.٣	٥٥.٣
المعدل		٥٨.١	٥٥.٦	٥١.٩	٥١.٨	٤٧.٩	٦٤.٢	٦١.٣	٣٥.٧	٣٩.٩	٤٥.٢	٤٨	٥٥.٣	٥١.٢
عدن	٢٠٠٠	١٠.١	٧.٨	١٥.٧	٧.٨	١٠.١	٥.٢	٥.٢	٨.٩	٨.٩	٧.٨	٣٢.٧	٤٤.٥	١٣.٧
	٢٠٠١	٢٣.٢	٥١.٣	٩٠.٧	٤٤.٥	١١.٣	٤.٤	١٤.٢	٥٥	٤٧.٨	٦٢.٨	٤٤.٥	١١٣.٣	٤٦.٩
	٢٠٠٢	٨٥.٦	١٧٧.١	١٣٢.٥	٧٥.٩	٤١.٣	١٠١.٧	٦٧	١٢٥.٩	٣٨.٣	٥٨.٨	٥٨.٨	١١٣.٣	٨٩.٧
	٢٠٠٣	١١٣.٣	٨٠.٦	١١٩.٥	٤٤.٥	٣٠.١	٨٠.٦	١٢٥.٩	١١٣.٣	٤١.٣	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٠.٦	٨٢.٥
	٢٠٠٤	١٢٥.٩	٧٥.٩	٧١.٣	٨٥.٦	٥٥	١٢٥.٩	١٠٧.٣	١١٩.٥	٥١.٣	٨٠.٦	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٨.٢
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٧	١٠٧.٣	٦٢.٨	٣٠.١	١٩.٢	٥٨.٨	١٦٩.١	٦٧	٤٧.٨	١٠١.٧	١٢٥.٩	٧٥.٣٧
	٢٠٠٦	١٥٣.٧	١٧٧.١	٩٠.٧	٧٥.٩	٥١.٣	٢٣.٢	١٤٦.٤	١٧٧.١	٧٥.٩	١١٣.٣	٤٧.٨	١٠٧.٣	١٠٣.٣
المعدل		٧٩.٩	٩١	٨٩.٧	٥٦.٧	٣٢.٧	٥١.٥	٧٥	١٠٩.٨	٤٧.٢	٦١.٤	٦٣.٧	٩٨.١	٧١.٤

تابع الملحق (٦) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واط/م/٣/ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
سقطرى	٢٠٠٠	١٠٧.٣	١٣٩.٣	٥٥	٢٣.٢	٢٦١.٤	١٥١٧.	٢٥٤٤.	١٧٦٩.	٦٠٧.١	٢٣.٢	١٦٩.١	١٨٥.٤	٦١٦.٩
	٢٠٠١	١٧٧.١	١٥٣.٧	٨٥.٦	٨٠.٦	٢٥٠.٩	١٢٥٩.	٢٤٠.١	١٨٨٦.	٧٠٤.٨	١٠٧.٣	٢٠٢.٨	٢٢١.٢	٦٢٧.٧
	٢٠٠٢	١٩٤	٢٥٠.٩	١٦١.٣	٩٠.٧	٢٨٣.١	٩٨١	١٤٨٣.	١١١٤.	٣٦٨.٨	٧١.٣	٢٤٠.٨	١٩٤	٤٥٢.٨
	٢٠٠٣	١١٣.٣	٨٠.٦	١١٩.٥	٤٤.٥	٣٠.١	٨٠.٦	١٢٥.٩	١١٣.٣	٤١.٣	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٠.٦	٨٢.٥
	٢٠٠٤	١٢٥.٩	٧٥.٩	٧١.٣	٨٥.٦	٥٥	١٢٥.٩	١٠٧.٣	١١٩.٥	٥١.٣	٨٠.٦	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٨.٢
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٧	١٠٧.٣	٦٢.٨	٣٠.١	١٩.٢	٥٨.٨	١٦٩.١	٦٧	٤٧.٨	١٠١.٧	١٢٥.٩	٧٥.٤
	٢٠٠٦	١٥٣.٧	١٧٧.١	٩٠.٧	٧٥.٩	٥١.٣	٢٣.٢	١٤٦.٤	١٧٧.١	٧٥.٩	١١٣.٣	٤٧.٨	١٠٧.٣	١٠٣.٣
المعدل		١٣١.٣	١٣٤.٩	٩٨.٧	٦٦.٢	١٣٧.٤	٥٧٢.٥	٩٨١.١	٧٦٤.٢	٢٧٣.٧	٧١.٨	١٣١.٨	١٤٥.٢	٢٩٢.٤
صنعاء	٢٠٠٠	٢.٢	٢.٦	٣.٨	٨.٩	١١.٣	١٠.١	١٧.٤	١١.٣	٧.٨	٥.٢	١.١	١.٤	٦.٩
	٢٠٠١	١.٨	٢.٢	٢.٦	٢.٢	٦	٦.٩	٧.٨	٣.٨	١٠.١	٢.٦	١.٤	٠.٩	٤
	٢٠٠٢	٥١.٣	٧٥.٩	٧١.٣	٣٥.٤	٣٨.٣	٨٥.٦	٨٠.٦	٧٥.٩	٧١.٣	٥١.٣	٤١.٣	٦٧	٦٢.١
	٢٠٠٣	٤٧.٨	٦٧	٤٤.٥	٤٤.٥	٤١.٣	٥٥	٧١.٣	٥٨.٨	٨٥.٦	٦٢.٨	٥٥	٤١.٣	٥٦.٢
	٢٠٠٤	٦٧	٤٧.٨	٥١.٣	٥٥	٤٤.٥	٤٤.٥	٥١.٣	٥٨.٨	٥٥	٣٥.٤	٤٤.٥	٦٢.٨	٥١.٥
	٢٠٠٥	١٣٩.٣	٤٧.٨	٥١.٣	٥٥	٤٧.٨	٦٢.٨	٦٧	٧١.٣	٤٧.٨	٣٥.٤	٣٠.١	٤٤.٥	٥٨.٣
	٢٠٠٦	٣٥.٤	٤١.٣	٣٨.٣	٤١.٣	٥٥	٥٨.٨	٥٨.٨	٥٨.٨	٥٥	٣٥.٤	٢٧.٧	٣٢.٧	٤٤.٩
المعدل		٤٩.٣	٤٠.٧	٣٧.٦	٣٤.٦	٣٤.٩	٤٦.٢	٥٠.٦	٤٨.٤	٤٧.٥	٣٢.٦	٢٨.٧	٣٥.٨	٤٠.٦
صعدة	٢٠٠٠	١٤.٢	١٤.٢	٢٥.٤	١٩.٢	٢٣.٢	٣٥.٤	٥١.٣	٥١.٣	٤١.٣	٣٢.٧	١٤.٢	٣.٨	٢٧.٢
	٢٠٠١	١٥.٧	٣٠.١	١٠.١	٢٥.٤	١٥.٧	٥٨.٨	٢١.١	٢٧.٧	٥١.٣	١٧.٤	٢١.١	٢١.١	٢٦.٣
	٢٠٠٢	٥٨.٨	٨٥.٦	٦٧	٥٨.٨	٦٢.٨	٦٧	٤٤.٥	٤١.٣	٤١.٣	٤٧.٨	٢٥.٤	٤٧.٨	٥٤
	٢٠٠٣	٧١.٣	٧٥.٩	٩٦	٧١.٣	٦٢.٨	٤٧.٨	٥٥	٤٧.٨	٤٤.٥	٥٥	٤١.٣	٥١.٣	٦٠
	٢٠٠٤	٩٠.٧	٤٤.٥	٦٢.٨	٤٧.٨	٤١.٣	٤٤.٥	٤٧.٨	٤٧.٨	٤٧.٨	٥١.٣	٢٧.٧	٤١.٣	٤٩.١
	٢٠٠٥	٤٤.٥	٦٢.٨	٦٧	٦٢.٨	٤٧.٨	٤٧.٨	٤٤.٥	٤٧.٨	٥١.٣	٦٧	٣٢.٧	٢٣.٢	٥٢.٤
	٢٠٠٦	٥٨.٨	٨٥.٦	٦٧	٥٨.٨	٦٢.٨	٤٧.٨	٤٤.٥	٤١.٣	٤١.٣	٤٧.٨	٢٧.٧	٦٢.٨	٥٣.٩
المعدل		٥٠.٦	٥٧	٥٦.٥	٤٩.٨	٤٧.٣	٤٩.٩	٤٥.١	٤٣.٦	٤٥.١	٤٥.٦	٢٧.٢	٣٥.٩	٤٦.١

تابع الملحق (٦) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واطم/م٣/ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
ذمار	٢٠٠٠	٣.٢	٢.٢	٥٨.٨	٣.٢	٨.٩	٥.٢	٣٨.٣	٢٢١.٢	١٠.١	٤١.٣	١٤.٢	٦	٣٤.٤
	٢٠٠١	٣٢.٧	٢٥.٤	٤٧.٨	٣٥.٤	٢٥.٤	٢١.١	٢٣.٢	٢٥.٤	٢٣.٢	٢٣.٢	٢٥.٤	٣٢.٧	٢٨.٤
	٢٠٠٢	٧١.٣	١٠١.٦	١٠٧.٣	٩٦	٥٨.٨	٧٥.٩	٦٧	٦٧	٦٢.٨	٥٨.٨	٦٧	٥٨.٨	٧٤.٤
	٢٠٠٣	٩٠.٧	٩٠.٧	٧٥.٩	٨٥.٦	٦٧	٦٢.٨	٧١.٣	٥٥	٥١.٣	٥٨.٨	٩٠.٧	١٠٧.٣	٧٥.٦
	٢٠٠٤	٦٧	٥٥	٥١.٣	٤٤.٥	١٣٩.٣	١٣٢.٥	٨٥.٦	٢٢١.٢	١٧٧.١	١٣٢.٥	٣٨.٣	٣٨.٣	٩٨.٦
	٢٠٠٥	٨٠.٦	٧٥.٩	٤٤.٥	١٠١.٦	٥٥	١٦٩.١	٣٥.٤	١٢٥.٩	١٤٦.٤	١١٩.٥	٩٦	٥٨.٨	٩٢.٤
	٢٠٠٦	٥١.٣	١١٣.٣	٦٧	٥١.٣	٦٧	٨٠.٦	٦٢.٨	٧١.٣	٦٢.٨	٤٤.٥	١٩.٢	٣٨.٣	٦٠.٨
المعدل		٥٦.٧	٦٦.٣	٦٤.٧	٥٩.٧	٦٠.٢	٧٨.٢	٥٤.٨	١١٢.٤	٧٦.٢	٦٨.٤	٥٠.١	٤٨.٦	٦٦.٤
إب	٢٠٠٠	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٩	٠.٥	٠.٣٣	٠.٢٢	٠.٢٢	٠	٠	٠	٠.٢٢	٠.٥	٠.٣
	٢٠٠١	٠.٦٥	٥.٢	١٢.٧	٦.٩	٢.٢	٤.٤٢	٦.٩	٠	٠	٢.٢	٤.٤٢	٢.٢	٤
	٢٠٠٢	٢.٦٤	٥.٢	٥.٢	٥.٢	٠	٠	١٤.٢	٣٢.٧	٢٧.٧	١٩.٢	١٩.٢	١٧.٤	١٢.٤
	٢٠٠٣	١٤.٢	٢٧.٧	٣٥.٤	٢٧.٧	٢١.١	٥١.٣	٥٨.٨	٣٥.٤	٣٠.١	١٤.٢	٣٢.٧	٣٢.٧	٣١.٨
	٢٠٠٤	٣٠.١	٣٨.٣	٤٧.٨	٣٢.٧	٢١.١	٥٨.٨	٢٧.٧	٣٢.٧	١٤.٢	٣٢.٧	٤٧.٨	٣٥.٤	٣٤.٩
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٢.٨	٥٥	٧٥.٩	٤١.٣	٧١.٣	٥٨.٨	٧١.٣	٢١.١	٣٥.٤	٥٥	٤٨.٧	٥٣.٧
	٢٠٠٦	٦٢.٨	٨٠.٦	٥٥	٥٨.٨	٤٧.٨	٧٥.٩	٣٥.٤	٣٨.٣	٣٠.١	٣٠.١	٤٧.٨	٣٨.٣	٥٠.١
المعدل		٢٢.٧	٣١.٥	٣٠.٣	٢٩.٧	١٩.١	٣٧.٤	٢٨.٩	٣٠.١	١٧.٦	١٩.١	٢٩.٦	٢٥	٢٦.٧
تعز	٢٠٠٠	٢٥.٤	٣٢.٧	٤١.٣	٣٨.٣	٣٠.١	٣٥.٤	٥٥	٢١.١	٧.٨	٠	٠	٠	٢٣.٩
	٢٠٠١	٠.١٤	٠.٦٥	١.١	٠.٣٣	٠.٠٢	٠.١٤	٠.١٤	٠.٠١	٠.٠٠١	٠.٦٥	٢.٢	١.١	٠.٥
	٢٠٠٢	٣٢.٧	٥١.٣	٦٧	٦٧	٧٥.٩	١٠٧.٣	٦٧	٦٧	٥١.٣	٤٤.٥	٢٣.٢	٢١.١	٥٦.٣
	٢٠٠٣	٢٥.٤	٤١.٣	٥٥	٦٢.٨	٦٢.٨	٨٠.٦	١٣٢.٥	٦٢.٨	٦٢.٨	٤١.٣	١٥٣.٧	٢٧.٧	٦٧.٤
	٢٠٠٤	٣٢.٧	٣٢.٧	٦٧	٤١.٣	٨٠.٦	٥٥	٥٨.٨	٥٨.٨	٤١.٣	٤٤.٥	٤٤.٥	٣٢.٧	٤٩.٢
	٢٠٠٥	٢٧.٧	٤٧.٨	٥٨.٨	٧٥.٩	٣٥.٤	٧١.٣	٧٥.٩	٣٥.٤	٧.٨	٢٧.٧	٣٢.٧	٤١.٣	٤٤.٨
	٢٠٠٦	٢٥.٤	٢٣.٢	٢٣.٢	٣٠.١	٦	٦	٦٧	٥٨.٨	٥٥	٢٧.٧	١٤.٢	١٤.٢	٢٩.٢
المعدل		٢٤.٢	٣٢.٨	٤٤.٨	٤٥.١	٤١.٦	٥٠.٨	٦٥.٢	٤٣.٤	٣٢.٣	٢٦.٦	٣٨.٦	١٩.٧	٣٨.٨

تابع الملحق (٦) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واط/م/٣ ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
حجة	٢٠٠٠	١.٨	٣.٨	٣.٨	٢.٦	٢.٢	١٢.٧	٣.٢	١٠.١	٧.٨	٨.٩	٦.٩	٦.٩	٥.٩
	٢٠٠١	١.٤	١.٤	٣.٨	٢.٦	٢.٦	٤.٤	٢.٢	١.٨	٣.٢	٣.٨	٢.٦	١.٤	٢.٦
	٢٠٠٢	٦.٩	١٢.٧	١٤.٢	١٥.٧	١٤.٢	١٧.٤	١٧.٤	١٤.٢	١٤.٢	١٧.٤	١٥.٧	١٠.١	١٤.٢
	٢٠٠٣	١٠.١	١١.٣	١٩.٢	٨.٩	١٧.٤	١٩.٢	٢٣.٢	١٧.٤	١٩.٢	١٢.٧	١٤.٢	٨.٩	١٥.١
	٢٠٠٤	١٠.١	٨.٩	١٤.٢	١٠.١	١٩.٢	١٤.٢	١٢.٧	١١.٣	٢١.١	٢٣.٢	١١.٣	١٧.٤	١٤.٥
	٢٠٠٥	١١.٣	١٩.٢	١٧.٤	١٩.٢	٧.٨	٨.٩	٧.٨	٦.٩	١١.٣	١٢.٧	٧.٨	٧.٨	١١.٥
	٢٠٠٦	١٢.٧	٧.٨	١٤.٢	٨.٩	١٠.١	١٥.٧	١٢.٧	١٠.١	١١.٣	١١.٣	٧.٨	٦.٩	١٠.٨
المعدل		٧.٨	٩.٣	١٢.٤	٩.٧	١٠.٥	١٣.٢	١١.٣	١٠.٣	١٢.٦	١٢.٩	٩.٥	٨.٥	١٠.٧
مأرب	٢٠٠٠	٤١.٣	٤٧.٨	١٢٥.٩	٨٠.٦	١٠١.٦	٩٦	١٤٦.٤	١٠٧.٣	١٠٧.٣	٧٥.٩	٢١.١	٢١.١	٨١
	٢٠٠١	١٥.٧	٢١.١	٢١.١	٣٥.٤	٤١.٣	٦٧	٧١.٣	٥٨.٨	١١٩.٥	٥٨.٨	٤٧.٨	٤١.٣	٤٩.٩
	٢٠٠٢	٦٧	٧١.٣	٧١.٣	٧١.٣	٨٥.٦	١٦١.٣	١٤٦.٤	١٦٩.١	١٥٣.٧	٨٥.٦	٧٥.٩	٦٢.٨	١٠١.٨
	٢٠٠٣	٥٨.٨	٧٥.٩	٩٦	٧١.٣	١٤٦.٣	١٥٣.٧	٢١١.٩	١٦١.٣	١٢٥.٩	٩٦	٦٢.٨	٥١.٣	١٠٩.٣
	٢٠٠٤	٥٥	٧١.٣	٧١.٣	٨٠.٦	١٥٣.٧	١٥٣.٧	١٦٩.١	٢١١.٩	١٩٤	١٠٧.٣	٧١.٣	٦٧	١١٧.٢
	٢٠٠٥	٦٢.٨	٨٥.٦	٩٦	٩٦	١١٩.٥	١٦٩.١	٢٣٠.٩	١٧٧.١	٢٣٠.٩	١٩٤	٨٥.٦	٥٨.٨	١٣٣.٩
	٢٠٠٦	٦٢.٨	٧٥.٩	١١٩.٥	٩٠.٧	١٣٩.٣	١٨٥.٤	٢٠٢.٨	١٣٩.٣	١٣٩.٣	٧١.٣	٧٥.٩	٥٥	١٠١.٨
المعدل		٥١.٩	٦٤.١	٨٥.٩	٧٥.١	١١٢.٥	١٤٠.٩	١٦٨.٤	١٤٦.٤	١٣٣.٦	٩٨.٤	٦٢.٩	٥١	٩٩.٣
سينون	٢٠٠٠	٠.٠٤	٠.٢٢	١.٤	٢.٦	٣.٨	١.٤٢	٢.٦٤	١.١٢	١.١٢	٠.٩	٠.٦٥	٠.٦٥	١.٤
	٢٠٠١	٠.٠٨	٠.١٤	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.١٤	٠.٢٢	٠.١٤	٠.٠٨	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.١
	٢٠٠٢	٣٥.٤	٣٥.٤	٣٠.١	٣٢.٧	٢٧.٧	٢٧.٧	٣٢.٧	٣٠.١	٤٤.٥	٣٢.٧	٥١.٣	٣٠.١	٣٤.٢
	٢٠٠٣	٢٣.٢	٢٥.٤	٤٧.٨	٣٥.٤	٦٧	٧١.٣	٧٥.٩	٣٥.٤	٢١.١	١٩.٢	١٤.٢	١١.٣	٣٧.٣
	٢٠٠٤	١٥.٧	٢٧.٧	٢٥.٤	٢٥.٤	٤٤.٥	٤٤.٥	٧١.٣	٣٠.١	٢٥.٤	٢٧.٧	١٥.٧	١٥.٧	٣٠.٨
	٢٠٠٥	١٧.٤	١٥.٧	٣٢.٧	٢٥.٤	١٩.٢	١٢.٧	١٧.٤	١٤.٢	٣٥.٤	١٧.٤	١٢.٧	٨.٩	١٩.١
	٢٠٠٦	٦.٩	١٠.١	٦	١١.٣	١٢.٧	٧.٨	١٢.٧	١١.٣	١٢.٧	٧.٨	٦.٩	٤.٤٢	٩.٢
المعدل		١٤.١	١٦.٤	٢٠.٥	١٩	٢٥	٢٣.٧	٣٠.٤	١٧.٥	٢٠.١	١٥.١	١٤.٥	١٠.٢	١٨.٩

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على المعادلة الرياضية

ملحق (٧) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واطم/م/ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
الحديدة	٢٠٠٠	٥١.٣	٤٧.٨	٦٢.٨	٥٨.٨	٥٥	٣٢.٧	٤٧.٨	٣٨.٣	٣٥.٤	٢٣.٢	٣٢.٧	٣٠.١	٤٣
	٢٠٠١	٣٢.٧	٢٥.٤	٤٧.٨	٣٥.٤	٢٥.٤	٢١.١	٢٣.٢	٢٥.٤	٢٣.٢	٢٣.٢	٢٥.٤	٣٢.٧	٢٨.٤
	٢٠٠٢	٧١.٣	١٠١.٦	١٠٧.٣	٩٦	٥٨.٨	٧٥.٩	٦٧	٦٧	٦٢.٨	٥٨.٨	٦٧	٥٨.٨	٧٤.٤
	٢٠٠٣	٩٠.٧	٩٠.٧	٧٥.٩	٨٥.٦	٦٧	٦٢.٨	٧١.٣	٥٥	٥١.٣	٥٨.٨	٩٠.٧	١٠٧.٣	٧٥.٦
	٢٠٠٤	٧١.٣	٨٠.٦	٨٥.٦	٦٧	٤٧.٨	٥٥	٣٥.٤	٣٢.٧	٣٢.٧	٢١.١	٣٨.٣	٤٧.٨	٥١.٣
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٧	٥١.٣	٦٢.٨	٢٧.٧	٣٠.١	٣٠.١	١٩.٢	٣٨.٣	٦٢.٨	٧٥.٩	١٥٣.٧	٥٥.٦
	٢٠٠٦	١٥٣.٧	١٤٦.٤	١٢٥.٩	٩٦	٢٥.٤	٣٥.٤	٤٧.٨	٣٠.١	٣٥.٤	١٠١.٦	٥٨.٨	٧٥.٩	٧٧.٧
المعدل		٧٤.١	٧٩.٩	٧٩.٥	٧١.٧	٤٣.٩	٤٤.٧	٤٦.١	٣٨.٢	٣٩.٩	٤٩.٩	٥٥.٥	٧٢.٣	٥٨
الريان	٢٠٠٠	٤٧.٨	٢٥.٤	٣٥.٤	٤٤.٥	٣٠.١	٢٥.٤	١٦٩.١	٣٨.٣	٢٥.٤	٤١.٣	٣٨.٣	٤٤.٥	٤٧.١
	٢٠٠١	٣٨.٣	٣٥.٤	٤١.٣	٤١.٣	٣٨.٣	٣٠.١	٢٧.٧	٢٣.٢	٣٠.١	٣٢.٧	٣٢.٧	٦٢.٨	٣٦.٢
	٢٠٠٢	٥١.٣	٥٨.٨	٥٥	٤٤.٥	٣٨.٣	٣٥.٤	٥١.٣	٢٥.٤	٥٥	٤٤.٥	٤٤.٥	٢٣.٢	٤٣.٩
	٢٠٠٣	٦٢.٨	٥٥	٥٥	٥٥	٥١.٣	٥٨.٨	٦٢.٨	٧٥.٩	٢١.١	٥٥	٥٥	٦٢.٨	٥٥.٩
	٢٠٠٤	٥٨.٨	٦٢.٨	٥٥	٥١.٣	٥١.٣	١٥٣.٧	٥١.٣	١٩.٢	٥٨.٨	٥٥	٥١.٣	٨٥.٦	٦٢.٨
	٢٠٠٥	٨٠.٦	٧٥.٩	٥٨.٨	٥٨.٨	٥٨.٨	٩٠.٧	٢٥.٤	٣٥.٤	٤١.٣	٣٢.٧	٦٢.٨	٦٧	٥٧.٤
	٢٠٠٦	٦٧	٧٥.٩	٦٢.٨	٦٧	٦٧	٥٥	٤١.٣	٣٢.٧	٤٧.٨	٥٥	٥١.٣	٤١.٣	٥٥.٣
المعدل		٥٨.١	٥٥.٦	٥١.٩	٥١.٨	٤٧.٩	٦٤.٢	٦١.٣	٣٥.٧	٣٩.٩	٤٥.٢	٤٨	٥٥.٣	٥١.٢
عدن	٢٠٠٠	١٠.١	٧.٨	١٥.٧	٧.٨	١٠.١	٥.٢	٥.٢	٨.٩	٨.٩	٧.٨	٣٢.٧	٤٤.٥	١٣.٧
	٢٠٠١	٢٣.٢	٥١.٣	٩٠.٧	٤٤.٥	١١.٣	٤.٤	١٤.٢	٥٥	٤٧.٨	٦٢.٨	٤٤.٥	١١٣.٣	٤٦.٩
	٢٠٠٢	٨٥.٦	١٧٧.١	١٣٢.٥	٧٥.٩	٤١.٣	١٠١.٧	٦٧	١٢٥.٩	٣٨.٣	٥٨.٨	٥٨.٨	١١٣.٣	٨٩.٧
	٢٠٠٣	١١٣.٣	٨٠.٦	١١٩.٥	٤٤.٥	٣٠.١	٨٠.٦	١٢٥.٩	١١٣.٣	٤١.٣	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٠.٦	٨٢.٥
	٢٠٠٤	١٢٥.٩	٧٥.٩	٧١.٣	٨٥.٦	٥٥	١٢٥.٩	١٠٧.٣	١١٩.٥	٥١.٣	٨٠.٦	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٨.٢
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٧	١٠٧.٣	٦٢.٨	٣٠.١	١٩.٢	٥٨.٨	١٦٩.١	٦٧	٤٧.٨	١٠١.٧	١٢٥.٩	٧٥.٣٧
	٢٠٠٦	١٥٣.٧	١٧٧.١	٩٠.٧	٧٥.٩	٥١.٣	٢٣.٢	١٤٦.٤	١٧٧.١	٧٥.٩	١١٣.٣	٤٧.٨	١٠٧.٣	١٠٣.٣
المعدل		٧٩.٩	٩١	٨٩.٧	٥٦.٧	٣٢.٧	٥١.٥	٧٥	١٠٩.٨	٤٧.٢	٦١.٤	٦٣.٧	٩٨.١	٧١.٤

تابع الملحق (٧) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واط/م/٣/ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
سقطرى	٢٠٠٠	١٠٧.٣	١٣٩.٣	٥٥	٢٣.٢	٢٦١.٤	١٥١٧.	٢٥٤٤.	١٧٦٩.	٦٠٧.١	٢٣.٢	١٦٩.١	١٨٥.٤	٦١٦.٩
	٢٠٠١	١٧٧.١	١٥٣.٧	٨٥.٦	٨٠.٦	٢٥٠.٩	١٢٥٩.	٢٤٠.١	١٨٨٦.	٧٠٤.٨	١٠٧.٣	٢٠٢.٨	٢٢١.٢	٦٢٧.٧
	٢٠٠٢	١٩٤	٢٥٠.٩	١٦١.٣	٩٠.٧	٢٨٣.١	٩٨١	١٤٨٣.	١١١٤.	٣٦٨.٨	٧١.٣	٢٤٠.٨	١٩٤	٤٥٢.٨
	٢٠٠٣	١١٣.٣	٨٠.٦	١١٩.٥	٤٤.٥	٣٠.١	٨٠.٦	١٢٥.٩	١١٣.٣	٤١.٣	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٠.٦	٨٢.٥
	٢٠٠٤	١٢٥.٩	٧٥.٩	٧١.٣	٨٥.٦	٥٥	١٢٥.٩	١٠٧.٣	١١٩.٥	٥١.٣	٨٠.٦	٥٨.٨	١٠١.٧	٨٨.٢
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٧	١٠٧.٣	٦٢.٨	٣٠.١	١٩.٢	٥٨.٨	١٦٩.١	٦٧	٤٧.٨	١٠١.٧	١٢٥.٩	٧٥.٤
	٢٠٠٦	١٥٣.٧	١٧٧.١	٩٠.٧	٧٥.٩	٥١.٣	٢٣.٢	١٤٦.٤	١٧٧.١	٧٥.٩	١١٣.٣	٤٧.٨	١٠٧.٣	١٠٣.٣
المعدل		١٣١.٣	١٣٤.٩	٩٨.٧	٦٦.٢	١٣٧.٤	٥٧٢.٥	٩٨١.١	٧٦٤.٢	٢٧٣.٧	٧١.٨	١٣١.٨	١٤٥.٢	٢٩٢.٤
صنعاء	٢٠٠٠	٢.٢	٢.٦	٣.٨	٨.٩	١١.٣	١٠.١	١٧.٤	١١.٣	٧.٨	٥.٢	١.١	١.٤	٦.٩
	٢٠٠١	١.٨	٢.٢	٢.٦	٢.٢	٦	٦.٩	٧.٨	٣.٨	١٠.١	٢.٦	١.٤	٠.٩	٤
	٢٠٠٢	٥١.٣	٧٥.٩	٧١.٣	٣٥.٤	٣٨.٣	٨٥.٦	٨٠.٦	٧٥.٩	٧١.٣	٥١.٣	٤١.٣	٦٧	٦٢.١
	٢٠٠٣	٤٧.٨	٦٧	٤٤.٥	٤٤.٥	٤١.٣	٥٥	٧١.٣	٥٨.٨	٨٥.٦	٦٢.٨	٥٥	٤١.٣	٥٦.٢
	٢٠٠٤	٦٧	٤٧.٨	٥١.٣	٥٥	٤٤.٥	٤٤.٥	٥١.٣	٥٨.٨	٥٥	٣٥.٤	٤٤.٥	٦٢.٨	٥١.٥
	٢٠٠٥	١٣٩.٣	٤٧.٨	٥١.٣	٥٥	٤٧.٨	٦٢.٨	٦٧	٧١.٣	٤٧.٨	٣٥.٤	٣٠.١	٤٤.٥	٥٨.٣
	٢٠٠٦	٣٥.٤	٤١.٣	٣٨.٣	٤١.٣	٥٥	٥٨.٨	٥٨.٨	٥٨.٨	٥٥	٣٥.٤	٢٧.٧	٣٢.٧	٤٤.٩
المعدل		٤٩.٣	٤٠.٧	٣٧.٦	٣٤.٦	٣٤.٩	٤٦.٢	٥٠.٦	٤٨.٤	٤٧.٥	٣٢.٦	٢٨.٧	٣٥.٨	٤٠.٦
صعدة	٢٠٠٠	١٤.٢	١٤.٢	٢٥.٤	١٩.٢	٢٣.٢	٣٥.٤	٥١.٣	٥١.٣	٤١.٣	٣٢.٧	١٤.٢	٣.٨	٢٧.٢
	٢٠٠١	١٥.٧	٣٠.١	١٠.١	٢٥.٤	١٥.٧	٥٨.٨	٢١.١	٢٧.٧	٥١.٣	١٧.٤	٢١.١	٢١.١	٢٦.٣
	٢٠٠٢	٥٨.٨	٨٥.٦	٦٧	٥٨.٨	٦٢.٨	٦٧	٤٤.٥	٤١.٣	٤١.٣	٤٧.٨	٢٥.٤	٤٧.٨	٥٤
	٢٠٠٣	٧١.٣	٧٥.٩	٩٦	٧١.٣	٦٢.٨	٤٧.٨	٥٥	٤٧.٨	٤٤.٥	٥٥	٤١.٣	٥١.٣	٦٠
	٢٠٠٤	٩٠.٧	٤٤.٥	٦٢.٨	٤٧.٨	٤١.٣	٤٤.٥	٤٧.٨	٤٧.٨	٤٧.٨	٥١.٣	٢٧.٧	٤١.٣	٤٩.١
	٢٠٠٥	٤٤.٥	٦٢.٨	٦٧	٦٢.٨	٤٧.٨	٤٧.٨	٤٤.٥	٤٧.٨	٥١.٣	٦٧	٣٢.٧	٢٣.٢	٥٢.٤
	٢٠٠٦	٥٨.٨	٨٥.٦	٦٧	٥٨.٨	٦٢.٨	٤٧.٨	٤٤.٥	٤١.٣	٤١.٣	٤٧.٨	٢٧.٧	٦٢.٨	٥٣.٩
المعدل		٥٠.٦	٥٧	٥٦.٥	٤٩.٨	٤٧.٣	٤٩.٩	٤٥.١	٤٣.٦	٤٥.١	٤٥.٦	٢٧.٢	٣٥.٩	٤٦.١

تابع الملحق (٧) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واطم/م³/ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
ذمار	٢٠٠٠	٣.٢	٢.٢	٥٨.٨	٣.٢	٨.٩	٥.٢	٣٨.٣	٢٢١.٢	١٠.١	٤١.٣	١٤.٢	٦	٣٤.٤
	٢٠٠١	٣٢.٧	٢٥.٤	٤٧.٨	٣٥.٤	٢٥.٤	٢١.١	٢٣.٢	٢٥.٤	٢٣.٢	٢٣.٢	٢٥.٤	٣٢.٧	٢٨.٤
	٢٠٠٢	٧١.٣	١٠١.٦	١٠٧.٣	٩٦	٥٨.٨	٧٥.٩	٦٧	٦٧	٦٢.٨	٥٨.٨	٦٧	٥٨.٨	٧٤.٤
	٢٠٠٣	٩٠.٧	٩٠.٧	٧٥.٩	٨٥.٦	٦٧	٦٢.٨	٧١.٣	٥٥	٥١.٣	٥٨.٨	٩٠.٧	١٠٧.٣	٧٥.٦
	٢٠٠٤	٦٧	٥٥	٥١.٣	٤٤.٥	١٣٩.٣	١٣٢.٥	٨٥.٦	٢٢١.٢	١٧٧.١	١٣٢.٥	٣٨.٣	٣٨.٣	٩٨.٦
	٢٠٠٥	٨٠.٦	٧٥.٩	٤٤.٥	١٠١.٦	٥٥	١٦٩.١	٣٥.٤	١٢٥.٩	١٤٦.٤	١١٩.٥	٩٦	٥٨.٨	٩٢.٤
	٢٠٠٦	٥١.٣	١١٣.٣	٦٧	٥١.٣	٦٧	٨٠.٦	٦٢.٨	٧١.٣	٦٢.٨	٤٤.٥	١٩.٢	٣٨.٣	٦٠.٨
المعدل		٥٦.٧	٦٦.٣	٦٤.٧	٥٩.٧	٦٠.٢	٧٨.٢	٥٤.٨	١١٢.٤	٧٦.٢	٦٨.٤	٥٠.١	٤٨.٦	٦٦.٤
إب	٢٠٠٠	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٩	٠.٥	٠.٣٣	٠.٢٢	٠.٢٢	٠	٠	٠	٠.٢٢	٠.٥	٠.٣
	٢٠٠١	٠.٦٥	٥.٢	١٢.٧	٦.٩	٢.٢	٤.٤٢	٦.٩	٠	٠	٢.٢	٤.٤٢	٢.٢	٤
	٢٠٠٢	٢.٦٤	٥.٢	٥.٢	٥.٢	٠	٠	١٤.٢	٣٢.٧	٢٧.٧	١٩.٢	١٩.٢	١٧.٤	١٢.٤
	٢٠٠٣	١٤.٢	٢٧.٧	٣٥.٤	٢٧.٧	٢١.١	٥١.٣	٥٨.٨	٣٥.٤	٣٠.١	١٤.٢	٣٢.٧	٣٢.٧	٣١.٨
	٢٠٠٤	٣٠.١	٣٨.٣	٤٧.٨	٣٢.٧	٢١.١	٥٨.٨	٢٧.٧	٣٢.٧	١٤.٢	٣٢.٧	٤٧.٨	٣٥.٤	٣٤.٩
	٢٠٠٥	٤٧.٨	٦٢.٨	٥٥	٧٥.٩	٤١.٣	٧١.٣	٥٨.٨	٧١.٣	٢١.١	٣٥.٤	٥٥	٤٨.٧	٥٣.٧
	٢٠٠٦	٦٢.٨	٨٠.٦	٥٥	٥٨.٨	٤٧.٨	٧٥.٩	٣٥.٤	٣٨.٣	٣٠.١	٣٠.١	٤٧.٨	٣٨.٣	٥٠.١
المعدل		٢٢.٧	٣١.٥	٣٠.٣	٢٩.٧	١٩.١	٣٧.٤	٢٨.٩	٣٠.١	١٧.٦	١٩.١	٢٩.٦	٢٥	٢٦.٧
تعز	٢٠٠٠	٢٥.٤	٣٢.٧	٤١.٣	٣٨.٣	٣٠.١	٣٥.٤	٥٥	٢١.١	٧.٨	٠	٠	٠	٢٣.٩
	٢٠٠١	٠.١٤	٠.٦٥	١.١	٠.٣٣	٠.٠٢	٠.١٤	٠.١٤	٠.٠١	٠.٠٠١	٠.٦٥	٢.٢	١.١	٠.٥
	٢٠٠٢	٣٢.٧	٥١.٣	٦٧	٦٧	٧٥.٩	١٠٧.٣	٦٧	٦٧	٥١.٣	٤٤.٥	٢٣.٢	٢١.١	٥٦.٣
	٢٠٠٣	٢٥.٤	٤١.٣	٥٥	٦٢.٨	٦٢.٨	٨٠.٦	١٣٢.٥	٦٢.٨	٦٢.٨	٤١.٣	١٥٣.٧	٢٧.٧	٦٧.٤
	٢٠٠٤	٣٢.٧	٣٢.٧	٦٧	٤١.٣	٨٠.٦	٥٥	٥٨.٨	٥٨.٨	٤١.٣	٤٤.٥	٤٤.٥	٣٢.٧	٤٩.٢
	٢٠٠٥	٢٧.٧	٤٧.٨	٥٨.٨	٧٥.٩	٣٥.٤	٧١.٣	٧٥.٩	٣٥.٤	٧.٨	٢٧.٧	٣٢.٧	٤١.٣	٤٤.٨
	٢٠٠٦	٢٥.٤	٢٣.٢	٢٣.٢	٣٠.١	٦	٦	٦٧	٥٨.٨	٥٥	٢٧.٧	١٤.٢	١٤.٢	٢٩.٢
المعدل		٢٤.٢	٣٢.٨	٤٤.٨	٤٥.١	٤١.٦	٥٠.٨	٦٥.٢	٤٣.٤	٣٢.٣	٢٦.٦	٣٨.٦	١٩.٧	٣٨.٨

تابع الملحق (٧) كمية طاقة الرياح المتوقعة في الجمهورية اليمنية بحسب التوزيع الجغرافي للمحطات واط/م/٣ ساعة

المحطة	السنوات	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
حجة	٢٠٠٠	١.٨	٣.٨	٣.٨	٢.٦	٢.٢	١٢.٧	٣.٢	١٠.١	٧.٨	٨.٩	٦.٩	٦.٩	٥.٩
	٢٠٠١	١.٤	١.٤	٣.٨	٢.٦	٢.٦	٤.٤	٢.٢	١.٨	٣.٢	٣.٨	٢.٦	١.٤	٢.٦
	٢٠٠٢	٦.٩	١٢.٧	١٤.٢	١٥.٧	١٤.٢	١٧.٤	١٧.٤	١٤.٢	١٤.٢	١٧.٤	١٥.٧	١٠.١	١٤.٢
	٢٠٠٣	١٠.١	١١.٣	١٩.٢	٨.٩	١٧.٤	١٩.٢	٢٣.٢	١٧.٤	١٩.٢	١٢.٧	١٤.٢	٨.٩	١٥.١
	٢٠٠٤	١٠.١	٨.٩	١٤.٢	١٠.١	١٩.٢	١٤.٢	١٢.٧	١١.٣	٢١.١	٢٣.٢	١١.٣	١٧.٤	١٤.٥
	٢٠٠٥	١١.٣	١٩.٢	١٧.٤	١٩.٢	٧.٨	٨.٩	٧.٨	٦.٩	١١.٣	١٢.٧	٧.٨	٧.٨	١١.٥
	٢٠٠٦	١٢.٧	٧.٨	١٤.٢	٨.٩	١٠.١	١٥.٧	١٢.٧	١٠.١	١١.٣	١١.٣	٧.٨	٦.٩	١٠.٨
المعدل		٧.٨	٩.٣	١٢.٤	٩.٧	١٠.٥	١٣.٢	١١.٣	١٠.٣	١٢.٦	١٢.٩	٩.٥	٨.٥	١٠.٧
مأرب	٢٠٠٠	٤١.٣	٤٧.٨	١٢٥.٩	٨٠.٦	١٠١.٦	٩٦	١٤٦.٤	١٠٧.٣	١٠٧.٣	٧٥.٩	٢١.١	٢١.١	٨١
	٢٠٠١	١٥.٧	٢١.١	٢١.١	٣٥.٤	٤١.٣	٦٧	٧١.٣	٥٨.٨	١١٩.٥	٥٨.٨	٤٧.٨	٤١.٣	٤٩.٩
	٢٠٠٢	٦٧	٧١.٣	٧١.٣	٧١.٣	٨٥.٦	١٦١.٣	١٤٦.٤	١٦٩.١	١٥٣.٧	٨٥.٦	٧٥.٩	٦٢.٨	١٠١.٨
	٢٠٠٣	٥٨.٨	٧٥.٩	٩٦	٧١.٣	١٤٦.٣	١٥٣.٧	٢١١.٩	١٦١.٣	١٢٥.٩	٩٦	٦٢.٨	٥١.٣	١٠٩.٣
	٢٠٠٤	٥٥	٧١.٣	٧١.٣	٨٠.٦	١٥٣.٧	١٥٣.٧	١٦٩.١	٢١١.٩	١٩٤	١٠٧.٣	٧١.٣	٦٧	١١٧.٢
	٢٠٠٥	٦٢.٨	٨٥.٦	٩٦	٩٦	١١٩.٥	١٦٩.١	٢٣٠.٩	١٧٧.١	٢٣٠.٩	١٩٤	٨٥.٦	٥٨.٨	١٣٣.٩
	٢٠٠٦	٦٢.٨	٧٥.٩	١١٩.٥	٩٠.٧	١٣٩.٣	١٨٥.٤	٢٠٢.٨	١٣٩.٣	١٣٩.٣	٧١.٣	٧٥.٩	٥٥	١٠١.٨
المعدل		٥١.٩	٦٤.١	٨٥.٩	٧٥.١	١١٢.٥	١٤٠.٩	١٦٨.٤	١٤٦.٤	١٣٣.٦	٩٨.٤	٦٢.٩	٥١	٩٩.٣
سينون	٢٠٠٠	٠.٠٤	٠.٢٢	١.٤	٢.٦	٣.٨	١.٤٢	٢.٦٤	١.١٢	١.١٢	٠.٩	٠.٦٥	٠.٦٥	١.٤
	٢٠٠١	٠.٠٨	٠.١٤	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.٢٢	٠.١٤	٠.٢٢	٠.١٤	٠.٠٨	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.١
	٢٠٠٢	٣٥.٤	٣٥.٤	٣٠.١	٣٢.٧	٢٧.٧	٢٧.٧	٣٢.٧	٣٠.١	٤٤.٥	٣٢.٧	٥١.٣	٣٠.١	٣٤.٢
	٢٠٠٣	٢٣.٢	٢٥.٤	٤٧.٨	٣٥.٤	٦٧	٧١.٣	٧٥.٩	٣٥.٤	٢١.١	١٩.٢	١٤.٢	١١.٣	٣٧.٣
	٢٠٠٤	١٥.٧	٢٧.٧	٢٥.٤	٢٥.٤	٤٤.٥	٤٤.٥	٧١.٣	٣٠.١	٢٥.٤	٢٧.٧	١٥.٧	١٥.٧	٣٠.٨
	٢٠٠٥	١٧.٤	١٥.٧	٣٢.٧	٢٥.٤	١٩.٢	١٢.٧	١٧.٤	١٤.٢	٣٥.٤	١٧.٤	١٢.٧	٨.٩	١٩.١
	٢٠٠٦	٦.٩	١٠.١	٦	١١.٣	١٢.٧	٧.٨	١٢.٧	١١.٣	١٢.٧	٧.٨	٦.٩	٤.٤٢	٩.٢
المعدل		١٤.١	١٦.٤	٢٠.٥	١٩	٢٥	٢٣.٧	٣٠.٤	١٧.٥	٢٠.١	١٥.١	١٤.٥	١٠.٢	١٨.٩

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على الملحق (٦)

Abstract study

This study highlights the importance of its object of study of renewable energy (solar radiation and wind) from a geographic perspective as a branch of economic geography, not be considered until today in the Republic of Yemen .

This study aimed at finding treatments for the problem of lack of power in the Republic of Yemen by showing the possibility of electricity generation to renewable energy sources and of my solar radiation, wind, and what can be generated through them by solar cells and wind turbines, and adopted the historical method in the study of energy sources in the Republic of Yemen (oil, gas and electricity) and the analytical descriptive method which is based on the description of climate data for the study, analysis and use the curriculum quantitative and mathematical methods and Alcartogreveh to discuss the possibility generated by dividing Yemen into four geographic regions and with analysis of the impact of geographic factors in solar radiation and wind to the work of a map containing the best places for the establishment of private farms generate energy, either solar or wind.

And formed the study of five chapters divided into ten Investigation, and included the first chapter Mbgesan the first contains a scientific methodology of the study and the second devoted to the theoretical framework, while the second chapter the concept of solar radiation, wind, and the factors affecting the two and a section to Mbgesan first the concept of solar radiation and factors affecting it and arranged to degree of impact and the second is the concept of wind and the factors influencing them and arranged according to impact as well, The third chapter is devoted Mbgesh the first of the geographical distribution of solar radiation and Mbgesh second for the geographical distribution of wind movement, being the fundamental basis on which can determine the feasibility of generating, in the fourth quarter was the first topic address the geographical analysis of the possibility of generating energy from solar radiation and in the second topic covered the possibility of generating energy from the wind and see Jdoiham economic, in Chapter V dealt with the study and the reality and the future of electricity in the Republic of Yemen, and the review of per capita in the Republic of Yemen and its comparison with per capita world and some countries, and then dealt with in the second part, future use of solar and wind, the study concluded the most important findings and proposals that can be used in the future, in addition to a number of appendices task.

Dhmar University
Faculty of Arts
Department of Geography



Solar Radiation, Wind, and their role in energy production in the Republic of Yemen Study Of Economic Geography

A Thesis submitted to the Department of Geography, Faculty
of Arts to fulfill the Partial requirements of Masters Degree
in Geography

BY

Mokbel Mohammad Ali Al-hyasy

Supervised by

Prof. Dr. Maresh Ahmed Saeed Al-Odaini

Ramadan ١٤٣٢

August ٢٠١١