



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
كلية الكوت الجامعة
مركز البحوث والدراسات والنشر
بالتعاون مع جمعية الليزر العراقية



الطاقة المتجددة الآفاق والمستقبل

Renewable Energy Management and Storage

إعداد

د. طالب زيدان الموسوي

رئيس مجلس ادارة /كلية الكوت الجامعة
نائب رئيس جمعية الليزر العراقية

أ.م.د. قاسم مهدي وادي

كلية المامون الجامعة
قسم هندسة تقنيات القدرة الكهربائية

أ. م. د. حكمت نجيب عبد الكريم

كلية المامون الجامعة
قسم هندسة تقنيات القدرة الكهربائية

أ.م.د. ثامر عبد الجبار جمعة

جامعة النهريين
كلية العلوم / قسم الفيزياء

المقدمة (Introduction)

تعتبر الشمس مصدر الطاقة لديمومة الحياة في كوكبنا، ان معدل طاقة الشمس التي تصل الارض تعادل ٢ كالوري /سم² / دقيقة اي مايعادل ١٣٥ ملي واط/سم². فكر الانسان منذ القدم باستغلالها. ولكن انصب تفكيره على وجود الوقود الاسهل تحصيلا واستعمالا. وبعد تطور الحياة على الارض، وظهور الثورة الصناعية، اصبح للطاقة دور مهم وفعال في حياة البشر واستخدمت الطاقة البترولية كمصدر رئيسي واساسي للطاقة في الصناعة وتوليد الكهرباء والنقل والمواصلات. وباستمرار الطلب على هذه الطاقة وتزايد سكان الارض وزيادة اسعارها وتأثيرها على البيئة وظهور المؤشرات التي تلوح بنفاذ البترول بدا البحث عن مصادر جديدة للطاقة. وكانت الطاقة الشمسية من اول الطاقات المتجددة التي جلبت انتباه الانسان لاستثمارها في حياته. وبالرغم من ان تطبيقات الطاقة الشمسية للاغراض العملية عرفت من قديم الازمان. ان الاهتمام الجدي لم يظهر بشكل ملموس الا بعد المرور بالأمزات المتعلقة بالوقود الاحفوري وتسابق الدول على ابتكار التكنولوجيات المختلفة لاستخدام الطاقة الشمسية بصورة مباشرة عن طريق توليد الحرارة او الكهرباء واستخدامهما لاغراض مختلفة.

يهدف هذا الكتاب الى تعريف القراء العرب، باهمية الطاقة المتجددة وضرورة الاهتمام بها. يحتوي الكتاب على ثلاثة عشر فصل تتناول مصادر الطاقة الجديدة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الكتلة الحيوية وطاقة المياه وطاقة الحرارة الجوفية، مع بعض الافكار حول كلف الطاقة المتجددة ومستقبلها باختراق الطاقة التقليدية، والهيمنة على نظام الطاقة لانها صديقة للبيئة ومنظوماتها لا تحتاج الى صيانة معقدة ومكلفة ومصادر دائمية لا تنضب.

الفصل الاول

مستقبل ودور الطاقة المتجددة

The Energy Future and Role of Renewable Energy

الفهرست

- ١-١ : المقدمة (Introduction)
- ٢-١ : الاختراق الحالي لتكنولوجيات الطاقة المتجددة في السوق
(Current Penetration of Renewable Energy Technologies in the Marketable)
- ٣-١ : مشهد الطاقة - تاريخها والوضع الراهن (The Energy Its History and Present State)
- ٤-١ : تاريخ طاقة الانسان (Man's Energy History)
- ٥-١ : مستقبل الطاقة ودور الطاقة المتجددة
(The Energy Future and Role of Renewable Energy)

الفصل الثاني

مصادر الطاقة

Energy Resources

الفهرست

- ١-٢ : المقدمة (Introduction)
- ٢-٢ : تصنيف مصادر الطاقة (Classification of Energy Resources)
- ٣-٢ : مصادر الطاقة المتجددة (Renewable Energy Resources)
- ١-٣-٢ : الطاقة الحرارية الشمسية (Solar Thermal Energy)
- ٢-٣-٢ : الخلايا الضوئية الشمسية (Solar Photovoltaic (Spv))
- ٣-٣-٢ : التركيب الضوئي (Photosynthesis)
- ٤-٣-٢ : طاقة الرياح (Wind Energy)
- ٥-٣-٢ : طاقة موجات المد والجزر (Tidal and Wave Energy)
- ٦-٣-٢ : طاقة حرارة الارض (Geothermal Energy)
- ٧-٣-٢ : مولدات القدرة الهيدروليكية المغناطيسية
(Magneto Hydrodynamic Power Generator (MHD))
- ٨-٣-٢ : تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات (Ocean Thermal Energy Conversion)
- ٤-٢ : الطاقة الحيوية الجديدة (Bio Energy)
- ١-٤-٢ : طاقة الغاز الحيوي (Bio Energy)
- ٢-٤-٢ : الوقود الصلب الحيوي (Bio - sold Fuel)

- ٢-٤-٣: وقود الديزل الحيوي (السائل) (Biodiesel)
٢-٥: الطاقة من نفايات الريف و الصناعة (Energy from Industrial and Urban Waste)
٢-٦: التطور المستقبلي للطاقة المتجددة (Future Energy Development)

الفصل الثالث

الخلايا الشمسية

Solar Cells

الفهرست

- ٣-١: المقدمة (Introduction)
٣-٢: التأثير الكهروضوئي (photovoltaic Effect)
٣-٣: تيار الوصلة (Junction current)
٣-٤: اداء الخلية الشمسية (Performance of Solar Cell)
٣-٥: اختيار المواد (Choice of Materials)
٣-٦: حدود الأداء (Performance Limitations)
٣-٧: الخواص المطلوبة في اشباه الموصلات المستعملة في تصنيع الخلايا
(Properties Desired in Semiconductor for Cell Use)
٣-٧-١: المقاومات على التوالي (Series Resistance)
٣-٧-٢: كفاءة الكم (Quantum Efficiency)
٣-٧-٣: تأثير درجة الحرارة (Effect of Temperature)
٣-٧-٤: خواص الجهد- التيار (Current – Voltage Characteristics)
٣-٧-٥: الوحدة القياسية (المركبة) الخلية الضوئية (Photovoltaic Modules)
٣-٨: تصنيع ألواح الخلية الشمسية (Solar Cell Fabrication)
٣-٨-١: المقدمة (Introduction)
٣-٨-٢: مراحل تصنيع الواح الطاقة الشمسية (Solar Energy Complex Fabrication Stages)
٣-٨-٣: تصنيع الخلية الشمسية (Solar Energy Fabrication)
٣-٨-٤: تجميع الواح الطاقة الشمسية (Solar Energy Complex Assembly)
٣-٨-٥: فحص اللوح (Module Testing)
٣-٩: مواد الخلية الضوئية المتقدمة (المواد الضوئية) (Advance in Photo Voltaic Materials)
٣-١٠: محطات القدرة للخلايا الضوئية الشمسية (Solar Photo Voltaic Power Plant)
٣-١١: توليد الطاقة بواسطة الخلايا الضوئية الشمسية (SPV) القيود والمسائل
(Pv Power Generation: Issues and Constraints)
٣-١٢: الكلفة (Cost)

- ١٣-٣ : مصادر التداخل الشبكي (Grid Interface Issues)
- ١٤-٣ : التخزين (Storage)
- ١٥-٣ : الطاقة الشمسية الفضائية (Space Solar Energy)
- ١-١٥-٣ : نقل الطاقة الفضائية (Space Energy Transmission)
- ٢-١٥-٣ : خطوات نقل الطاقة الفضائية (Space Energy Transmission Steps)
- ٣-١٥-٣ : ايجابيات الطاقة الفضائية (Advantage of Space Energy)
- ٤-١٥-٣ : مساوىء الطاقة الفضائية (Disadvantage of Space Energy)
- ١٦-٣ : استخدام الخلايا الضوئية (Photovoltaic Utilization)
- ١٧-٣ : اقتصاديات الخلايا الضوئية الشمسية (Economics of Solar Photovoltaic's)

الفصل الرابع

طاقة الشمس الحرارية

Solar-thermal energy

الفهرست

- ١-٤ : المقدمة (Introduction)
- ٢-٤ : توزيعات الطاقة على كوكبنا (Energy distribution on Earth)
- ٣-٤ : مناطق الاضاءة الشمسية في الدول العربية
- (Solar Luminesces Regions in Arabic Nations)
- ٤-٤ : قوانين الاشعاع (Radiation Laws)
- ٥-٤ : مواقع الشمس وعلاقتها بالارض (Solar Positions in Relation of Earth)
- ٦-٤ : الثابت الشمسي (The Solar Constant)
- ٧-٤ : التوقيت الشمسي (Solar Time)
- ٨-٤ : كتلة الهواء (Air Mass)
- ٩-٤ : الزوايا والعلاقة بينها (Angle, and Their Relationship)
- ١٠-٤ : الاشعاع الشمسي الخارجى على السطح الاقفي
- (Extraterrestrial Radiation on Horizontal Surface)
- ١١-٤ : قياسات توفر الاشعاع الشمسي (Measurements of Available Solar Radiation)
- ١٢-٤ : تخمين متوسط الاشعاع الشمس (Estimation of Average Solar Radiation)
- ١٣-٤ : تخمين اشعاع السماء الصافية (Estimation of Clear Sky Radiation)
- ١٤-٤ : مركبات الحزمة الاشعاعية وانتشار الاشعاع لكل ساعة
- (Beam and Diffuse Component of Hourly Radiation)
- ١٥-٤ : حزمة الاشعاع ومركبات الانتشار للاشعاع اليومي

(Components of Daily of Average Radiation Beam and Diffuse)

١٦-٤ : الشعاع وانتشار المكونات لمعدل الاشعاع الشهري

(Components Monthly Average Radiation Beam and Diffuse)

١٧-٤ : تقدير الاشعاع لكل ساعة من البيانات اليومية

(Estimation of Hourly Radiation from Daily Data)

١٨-٤ : نسبة الحزمة الاشعاعية على سطح الارض الافقي

(Ratio of Beam Radiation on Titled Surface to that on Horizontal Surface)

١٩-٤ : الاشعاع الكلي على السطح المائل الثابت

(Total Radiation on Fixed Sloped Surfaces)

٢٠-٤ : معدل الاشعاع على الاسطح ثابتة الميل

(Average Radiation on Fixed Sloped Surfaces)

٢١-٤ : مجمعات الطاقة الشمسية (Solar Energy Collectors)

١-٢١-٤ : مجمعات الطاقة الشمسية ذات الصفائح المستوية

(Flat Plate Solar Energy Collectors)

٢٢-٤ : اختبار اداء مجمع الطاقة (Collector Performance Testing)

١-٢٢-٤ : المجمعات المركزة (Concentrating Collectors)

٢٣-٤ : سخانات المياه الشمسية (Solar Water Heater)

٢٤-٤ : التسخين في الفضاء (Solar Space Heating)

١-٢٤-٤ : النظام الايجابي (Positive System)

٢-٢٤-٤ : النظام السلبي (Passive Systems)

٣-٢٤-٤ : التبريد في الفضاء (Space Cooling)

٢٥-٤ : التقنيات الحرارية الشمسية (Solar – Thermal Technologies)

٢٦-٤ : أنظمة الشحن ذو الشكل القطع المكافئ (Barabolic Dish Systems)

٢٧-٤ : الحقل الشمسي (Solar Farm)

الفصل الخامس

طاقة الرياح

Wind Energy

الفهرست

٥-١ : المقدمة (Introduction)

٢-٥ : تكنولوجيا طاقة الرياح (Wind Energy Technology)

١-٢-٥ : الدرجة (الخطران) (Pitch)

٢-٢-٥ : الصلابة (Solidity)

- ٣-٢-٥ : نسبة السرعة الطرفية (Tip -Speed Ratio)
- ٤-٢-٥ : معامل الأداء (Performance Coefficient)
- ٥-٢-٥ : عزم الدوران (Rotation Torque)
- ٦-٢-٥ : تصاميم مختلفة للدوارات (Various Designs of Rotors)
- ٣-٥ : تقويم الموقع (Site Evaluation)
- ٤-٥ : قياس الرياح (Wind Measurement)
- ١-٤-٥ : جودة بيانات الرياح (Quality of Wind Data)
- ٢-٤-٥ : خيارات القياس (Measurement Options)
- ٥-٥ : القدرة الانتاجية لمولدات الرياح (Wind Generation Power Production)
- ١-٥-٥ : حساب الطاقة الكهربائية المنتجة من مولدات الرياح
- (Calculation of Wind Generation of Electrical Energy Production)
- ٦-٥ : توربينات الرياح (Wind Turbines)
- ١-٦-٥ : المنظومات الفرعية لتوربينات الرياح (Wind Turbine subsystems)
- ٢-٦-٥ : الدوار (Rotor)
- ٣-٦-٥ : مقطورات التدوير (Drive Trains)
- ٤-٦-٥ : منظومات التحكم بالانعراج (Yaw- Control Systems)
- ٥-٦-٥ : المنظومات الكهربائية (Electrical Systems)
- ٧-٥ : استغلال طاقة الرياح (Wind Energy Utilization)
- ١-٧-٥ : مزارع طاقة الرياح لإنتاج الطاقة النظيفة
- (Farms of Wind Energy for Production of Clean Energy)
- ٢-٧-٥ : حسابات اولية للجدوى الاقتصادية لبناء مزارع الرياح
- (First Calculation for the Economic Benefits)
- ٣-٧-٥ : تطور طاقة الرياح (Wind Farm Development)
- ٤-٧-٥ : مستقبل طاقة الرياح (Wind Farm Future)
- ٥-٧-٥ : مزايا استخدام طاقة الرياح (Features of Wind Energy Utilization)
- ٨-٥ : مزايا طاقة الرياح (Features of Wind Energy)

الفصل السادس

طاقة الكتلة الحيوية

Biomass energy

الفهرست

- ١-٦ : المقدمة (Introduction)
- ٢-٦ : انواع الطاقات المتجددة (Types of Renewable Energies)
- ١-٢-٦ : الوقود السائل (Bio Liquid)
- ٣-٦ : انتاج الوقود الحيوي (Bio - Fuel Production)
- ١-٣-٦ : التخمير (Fermentation)
- ٢-٣-٦ : الهدرجة (Hydrogenation)
- ٣-٣-٦ : التسييل (Gasification)
- ٤-٣-٦ : تكنولوجية تنقية الغاز الحيوي (Bio-Gas Purification Techniques)
- ٤-٦ : تحويل الطاقة (Bio-Gas Purification Techniques)
- ٥-٦ : تسييل الكتلة الحيوية (التغويز) (Gasification of Bio Mass)
- ١-٥-٦ : منظومة التسييل النازل ثابت السرييري (Fixed Bed Down Draft Gasified)
- ٢-٥-٦ : التسييل ثابت الحجره الصاعد (Fixed Bed Up Draft Gasified)
- ٣-٥-٦ : منظومة التسييل (التغويز) السرييري المقطعي (Cross Draft Gasified)
- ٤-٥-٦ : منظومة التسييل (التغويز) السرييري المايع (Fluidized Bed Gasified)
- ٥-٥-٦ : تخمير الميثان (Methane Fermentation)
- ٦-٦ : محطات الكتلة الحيوية (Bio Mass Station)
- ١-٦-٦ : المحطة العائمة (Up Water Station)
- ٢-٦-٦ : محطة المقعد الصحي (Sanitary Latrine)
- ٧-٦ : طاقة الفضلات الحيوية (Bio Waste Energy)
- ٨-٦ : طرق معالجة مشكلة النفايات (Management Methods for Waste Problem)
- ٩-٦ : مستقبل وتطور طاقة الكتلة الحيوية (Mass Energy Future)
- ١-٩-٦ : التعاون الدولي فيما يخص الوقود الحيوي المستدام (Bio-mass International of Assistance)
- ٢-٩-٦ : الوعي الاجتماعي والتطور التقني والعلمي (Bio-mass Fuel Development)
- ٣-٩-٦ : المشاكل والمعوقات (Problems and Constructions)
- ٤-٩-٦ : المشاكل الانتاجية (Productions Problems)
- ١٠-٦ : استخدامات طاقة الكتلة الحيوية (Biomass Utilization)

٦-١٠-١: من ابرز استخدامات الطاقة الحيوية في المجالات الاتية وسائط النقل

(Transportation Fields in Energy Utilities Features)

٦-١٠-٢: توليد الطاقة الكهربائية (Generation of Electric Energy)

الفصل السابع

خلايا الوقود

Fuel Cells

الفهرست

١-٧: المقدمة (Introduction)

٢-٧: خلية الوقود (Fuel Cell)

١-٢-٧: مكونات الخلية (Cell Components)

٢-٢-٧: مبدأ عمل الخلية (Fundamentals of Electrochemistry)

٣-٢-٧: وظيفة خلية الوقود (Cell Function)

٤-٢-٧: وقود الخلية (Fuel Cell)

٥-٢-٧: تشكيل الوقود (Fuel Synthesis)

٣-٧: استخدامات خلايا الوقود (Fuel Cell utilization)

١-٣-٧: أنواع خلايا الوقود الهيدروجيني و مقارنة بينها:

(Hydrogen Fuel Cells Types and Comparison between Them)

٢-٣-٧: مضخات الهيدروجين (Hydrogen Pumps)

٣-٣-٧: إنتاج الكهرباء بالهيدروجين (Electric Generation by Hydrogen)

٤-٧: انواع خلايا الوقود (Fuel cell Type)

١-٤-٧: خلايا الوقود المتجددة (Regenerative Fuel)

٢-٤-٧: خلايا الميثانول Direct Methanol Fuel Cells المباشرة (DMFC)

٣-٤-٧: خلايا الوقود هواء- زنك (Zinc-Air Fuel Cells)

٥-٧: أثر الضغط والحرارة على أداء خلايا الوقود

(The effect of pressure and temperature on fuel cell performance)

١-٥-٧: خواص خلايا الوقود (Characteristics of Fuel Cells)

٦-٧: متطلبات الأمان (Safety requirement)

٧-٧: مقارنة بين خلايا الوقود والمصادر التقليدية للطاقة

(The fuel cells and other normal resources)

٨-٧: مشاكل ومزايا خلايا الوقود (Features and troubles of fuel cells)

١-٨-٧: المشاكل (Troubles)

٨-٧-٢: المزايا (Features)

الفصل الثامن

طاقة الحرارة الجوفية

Geothermal Energy

الفهرست

- ١-٨ : المقدمة (Introduction)
- ٢-٨ : مصادر الحرارة الجوفية (Geothermal Resources)
- ٣-٨ : استخدام الطاقة الحرارية الجوفية في توليد الكهرباء
- (Use of Geothermal Energy in Electric Generation)
- ١-٣-٨ : محطات الحرارة الجوفية (Geothermal Stations)
- ٢-٣-٨ : محطات البخار الجاف (Dry Steam Stations)
- ٣-٣-٨ : محطات التبخير (Evaporation Stations)
- ٤-٣-٨ : محطات الدائرة المزدوجة (Double Cycle station)
- ٤-٨ : التدفئة والتبريد (Heating and Cooling)
- ٥-٨ : ايجابيات طاقة الحرارة الجوفية (Advantages of Geothermal Energy)
- ٦-٨ : سلبيات ومعوقات طاقة الحرارة الجوفية
- (Disadvantage and Troubles of Geothermal Energy)
- ٧-٨ : تأثير طاقة الحرارة الجوفية على البيئة
- (Effects of Geothermal Energy on Environment)

الفصل التاسع

محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات

الفهرست

- ١-٩ : المقدمة (Introduction)
- ٢-٩ : طاقة المد والجزر (Tidal Energy)
- ٣-٩ : توليد الكهرباء بواسطة المد والجزر (Electric Generation by Tidal)
- ١-٣-٩ : الطريقة الشاطئية (Beach Methods)
- ٢-٣-٩ : الطريقة البعيدة عن الشاطئ (Faraway Beach Methods)
- ٤-٩ : أجزاء ومكونات محطات المد الجزرية (Parts of Tidal stations)
- ١-٤-٩ : الحوض المدي (Basin)
- ٢-٤-٩ : الحاجز ألمدي (Barrage)
- ٣-٤-٩ : البوابات (Sluice gates)

- ٤-٤-٩ : العنفات (Turbine)
- ٥-٩ : عنفات المد الجزري (Tidal turbines)
- ١-٥-٩ : وحيدة التأثير (Single Effective)
- ٢-٥-٩ : ثنائية التأثير (Double Effective)
- ٦-٩ : طاقة الموجة (Wave Energy)
- ٧-٩ : توليد الطاقة الكهربائية من البخار والمحيطات (Electrical Power Generation)
- ٨-٩ : التأثيرات البيئية (Environmental Effects)
- ٩-٩ : التطور المستقبلي (Future Development)

الفصل العاشر

مولد الطاقة الهايدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD) Magneto Hydro Dynamic Power Generator

الفهرست

- ١-١٠ : المقدمة (Introduction)
- ٢-١٠ : تأين الغاز (Ionization of a gas)
- ٣-١٠ : طريقة تأين الغاز (Methods of Ionization of Gas)
- ٤-١٠ : مولد القدرة الهايدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)
(Magneto hydrodynamic Power Generator)
- ٥-١٠ : المعوقات (المشاكل) (Troubles)

الفصل الحادي عشر

الطاقة الهيدروجينية Hydrogen Energy

الفهرست

- ١-١١ : المقدمة (Introduction)
- ٢-١١ : إنتاج الهيدروجين (Hydrogen Production)
- ٣-١١ : استخدامات الهيدروجين (Hydrogen utilization)
- ٤-١١ : تخزين ونقل الهيدروجين (Tanks Hydrogen)
- ١-٤-١١ : الهيدروجين المضغوط (Compressed hydrogen)
- ٢-٤-١١ : الهيدروجين السائل (Hydrogen liquid)
- ٣-٤-١١ : الهيدروجين ذو الترابط الكيميائي (Bonded hydrogen)

- ٥-١١ : متطلبات الأمان (Safety Requirements)
- ٦-١١ : مخطط محطة إنتاج الهيدروجين (Hydrogen Production Station Plan)
- ١-٦-١١ : إنتاج غاز (Synge's)
- ٢-٦-١١ : قاعدة فصل الغاز (Gas Separation Method)
- ٣-٦-١١ : خلايا الوقود (Fuel Cells)

الفصل الثاني عشر

التأين الحراري والمولدات الكهروحرارية

Thermionic and Thermoelectric Generators

الفهرست

- ١-١٢ : المقدمة (Introduction)
- ٢-١٢ : المبادئ الفيزيائية الأساسية لمحول التأين الحراري
(Basic physical principles of a thermionic converter)
- ٣-١٢ : دالة الشغل أو الشغل السطحي (Work function)
- ٤-١٢ : السيطرة على شحنة الفراغ (الفضاء) (Space Charge Control)
- ٥-١٢ : مواد محول التأين الحراري (Thermionic Converter Materials)
- ٦-١٢ : مولدات الكهروحرارية (Thermo Electric Generators)
- ٧-١٢ : تحليل المولد الكهروحرارية (Analysis of a Thermoelectric Generator)
- ٨-١٢ : القدرة الخارجة للمولد (Power output of a Generator)

الفصل الثالث عشر

الطاقة النووية

Nuclear Energy

الفهرست

- ١-١٣ : المقدمة (Introduction)
- ٢-١٣ : أنواع المفاعلات (Reactors Types)
- ٣-١٣ : استخدامات المفاعلات (Reactors Utilization)
- ٤-١٣ : كيف تعمل محطات توليد الكهرباء من الطاقة النووية
(How the Electric-Nuclear Power stations doing)

الفصل الاول

مستقبل ودور الطاقة المتجددة

The Energy Future and Role of Renewable Energy

١-١: المقدمة (Introduction)

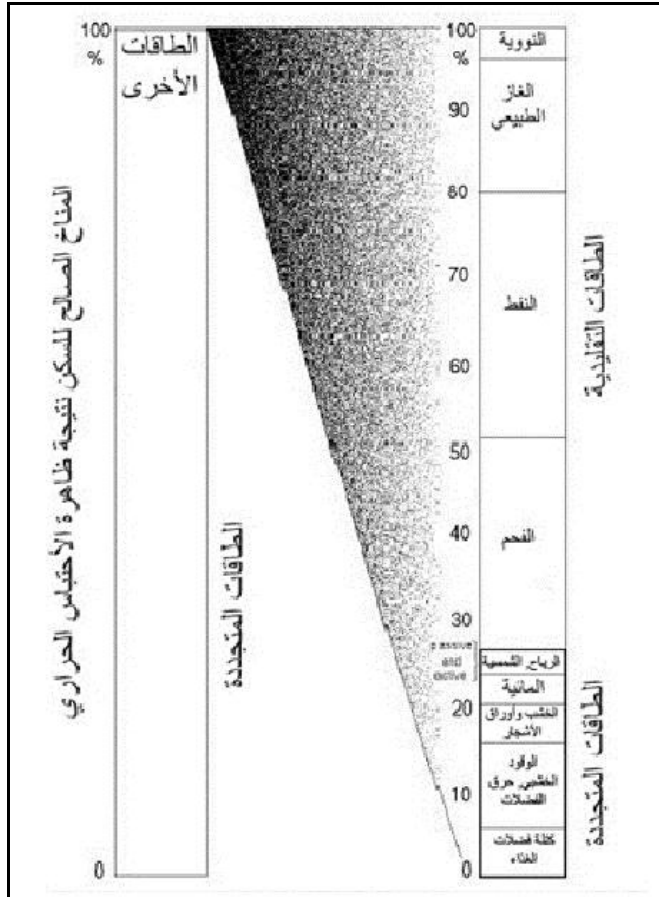
ان زيادة الطلب على الوقود الأحفوري، وارتفاع أسعاره، وتلويثة للبيئة، وقرب نفاذ مصادره. جعل العالم يفكر بمصادر جديدة للطاقة، رخيصة الكلفة، وصديقة للبيئة ولا تنضب. مما دفع العالم بالاهتمام بالطاقة المتجددة بشكل فعلي وجاد، واجراء البحوث، والتركيز على التقنيات، كمحاولة لأستثمار الطاقة المتجددة، بجميع مصادرها، واشكالها المتمثلة بالطاقة الشمسية، والكتلة الحيوية وطاقة الرياح والطاقة المائية وطاقة الحرارة الجوفية ضمن خططها واستراتيجياتها لتوفير الطاقة اللازمة. ان وضع الطاقة المتجددة، في السوق ضمن العالم المادي يتطور وفقاً لتقدير كميات والطاقة التي يمكن انتاجها للاستخدام البشري، بمعدل يؤهل الطاقة المتجددة، ان تخرق النظام العالمي للطاقة وتهيمن عليه. تتفق معظم وجهات النظر على ان تغلغل الطاقة المتجددة بمنظومات الطاقة للمستوطنات البشرية على الارض في المستقبل بما يقارب ١٠٠٪ وستكون المصدر الرئيسي للطاقة في العالم.

١-٢: الاختراق الحالي لتقنيات الطاقة المتجددة في السوق

(Current Penetration of Renewable Energy Technologicis in the Marketable)

تتفق معظم وجهات النظر على ان تغلغل الطاقة المتجددة في منظومة الطاقة للمستوطنات البشرية على الأرض يقارب ١٠٠٪. يرى قاطنو الأرض أن منظومة الطاقة تهيمن عليها الحرارة البيئية المرتبطة بظاهرة الاحتباس الحراري، التي تلتقط الطاقة الشمسية وتخزنها داخل طبقة بالقرب من سطح التربة والغلاف الجوي حول الأرض. ويدير المجتمع البشري حالياً فقط ٠,٠٢٪ من منظومة الطاقة، كما موضح في الشكل (١-١). ضمن هذا الجزء المدار اقتصادياً لقطاع الطاقة، توفر مصادر الطاقة المتجددة حالياً نحو ٢٥٪ من الطاقة المجهزة. كما يؤشر الشكل، فإن جزءاً

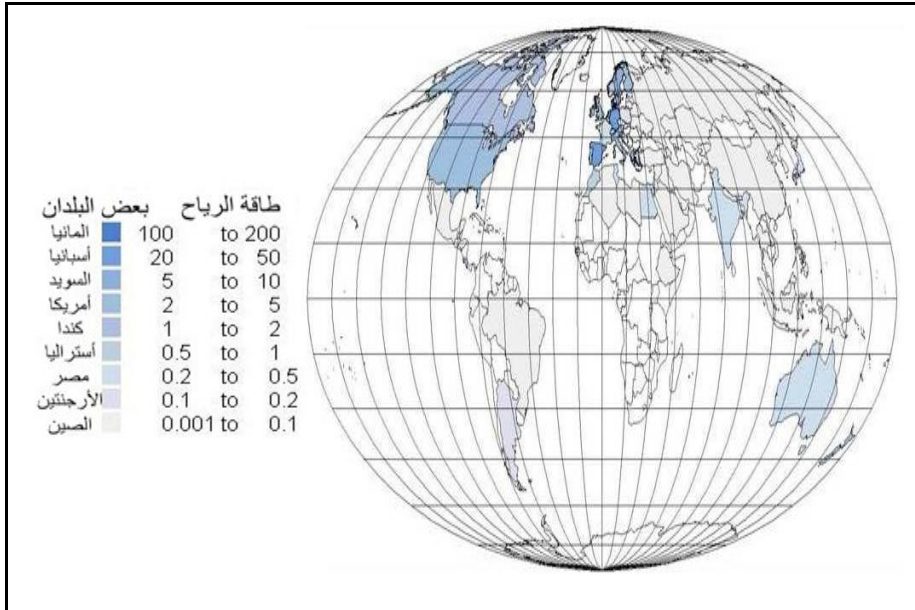
كبيراً من هذه الطاقة المتجددة يكون على شكل طاقة الكتلة الحيوية، سواء في المحاصيل الغذائية أو في الغابات المُدارة التي توفر الخشب للأغراض الصناعية أو الترميد (الحطب المستخدم للتدفئة والطبخ في البلدان الفقيرة، وبقايا ونفايات تحترق بقوة مشتركة ووحيدات التسخين أو المحارق). تشمل المصادر المستغلة بصورة إضافية للطاقة المتجددة الطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية وهي مصدر أساسي، لكن استخدامها لم يعد متنامياً بسبب القيود البيئية المحددة في الكثير من المواقع ذات الموارد المائية الكامنة. إن التسخين الشمسي السليبي هو المعيار الأساسي لتصميم المباني في كل أنحاء العالم، لكن حرارة الشمس الإيجابية أو لوحات القدرة لاتزال في المستوى الضعيف جداً للاختراق (للتغلغل). كذلك تمتلك الرياح دوراً سلبياً وإيجابياً معاً. يؤدي الاستخدام السليبي لطاقة الرياح لتهوية المباني دوراً مهماً، وبات إنتاج القدرة الإيجابي بواسطة توربينات الرياح اليوم تقنيات سريعة التنامي للطاقة في أنحاء كثيرة من العالم. يصل أعلى اختراق للطاقة المتجددة إلى ما يقارب ٢٠٪ من إجمالي الكهرباء المتوفرة في الدنمارك، وهو البلد الرائد في تقنيات الرياح الحديثة. تشمل تقنيات الطاقة المتجددة، الوقود الحيوي مثل الغاز الحيوي والقدرة الحرارية الأرضية والحرارة الشمسية وهي حتى الآن ذات اختراق عالمي صغير. كما مبين في الشكل (١-١)، لاتزال مصادر الطاقة المهيمنة هي الوقود الأحفوري، رغم حقيقة أنها قابلة للنضوب وسبباً للصراعات الوطنية المتكررة، نظراً لعدم التطابق بين توافرها الجغرافي الخاصة وأنماط الطلب.



الشكل (١-١): الطاقة المتجددة في منظومة الطاقة العالمية.

من وجهة النظر الاقتصادية، لا يكون إجمالي تدفقات الطاقة المتجددة التي تشمل الحرارة البيئية الحرة بالطبع مثيرة للاهتمام مثلما الطاقة التي يمكن تداولها (المتاجرة بها) في سوق ما. تشمل أسواق الطاقة المتجددة الحالية أسواق المستهلكين وأسواق تسييرها برامج الاستعراض الحكومي وخطط المعونات المحفزة للسوق. إن السبب الذي يكمن وراء الدعم المبدئي يعزى إلى:-

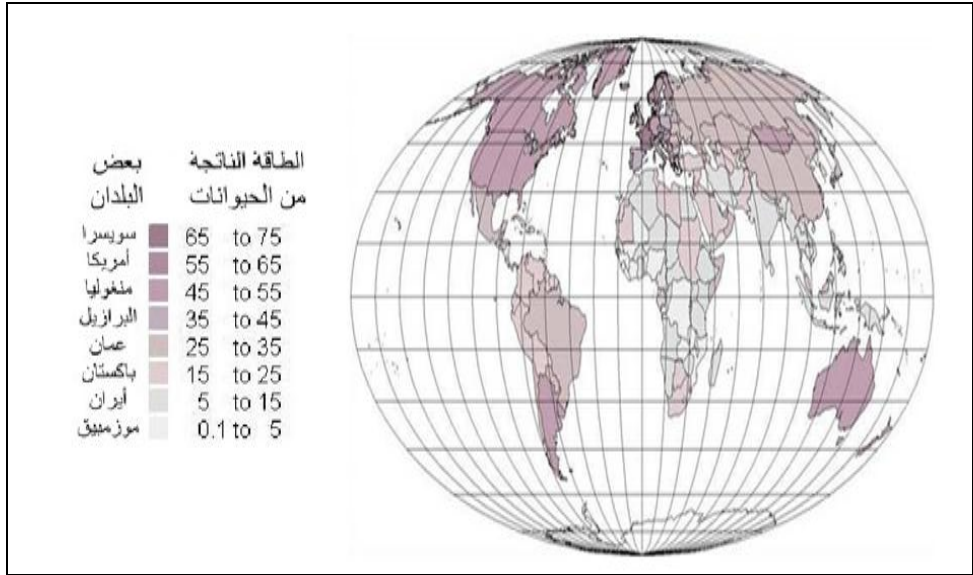
١. السياسة الصناعية بهدف البدء بمجالات صناعة جديدة.
٢. مسألة التعويض عن تشوهات السوق التي خلقتها حقيقة أن صناعات الطاقة التقليدية لا تدفع بصورة كاملة عن الآثار البيئية السلبية التي تسببها منتجاتها.
إن هذه القضية معقدة وشائكة بسبب:
 - أ. صعوبة في التحديد الدقيق للتكاليف الخارجية.
 - ب. معظم البلدان تفرض الضرائب مسبقاً على منتجات الطاقة، والذي قد يكون مساهماً في دفع تكاليف الضرر البيئي، لكنه يكون عادةً مجرد عوائد حكومية لم تُستخدم بالتحديد لتعويض التأثيرات السلبية المرتبطة باستخدام الوقود الأحفوري أو الوقود النووي.إن الاختراق الحالي للاستخدامات الإيجابية للطاقة المتجددة في منظومات الطاقة الوطنية أخذ بالتزايد، وتبين الاشكال من (٢-١) الى (١٤-١) أدناه قيم عام ٢٠٠٠، التي قد تكون بمثابة سنة مرجعية لتقييم البيانات الحديثة. في الحالات التي يكون فيها معدل النمو عالٍ على نحو خاص، تُذكر قيمتها السنوية في التعليق على الشكل الذي يبيّن التوزيع الوطني للأسواق.



الشكل (٢-١): إنتاج طاقة الرياح في بعض دول العالم.

الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة

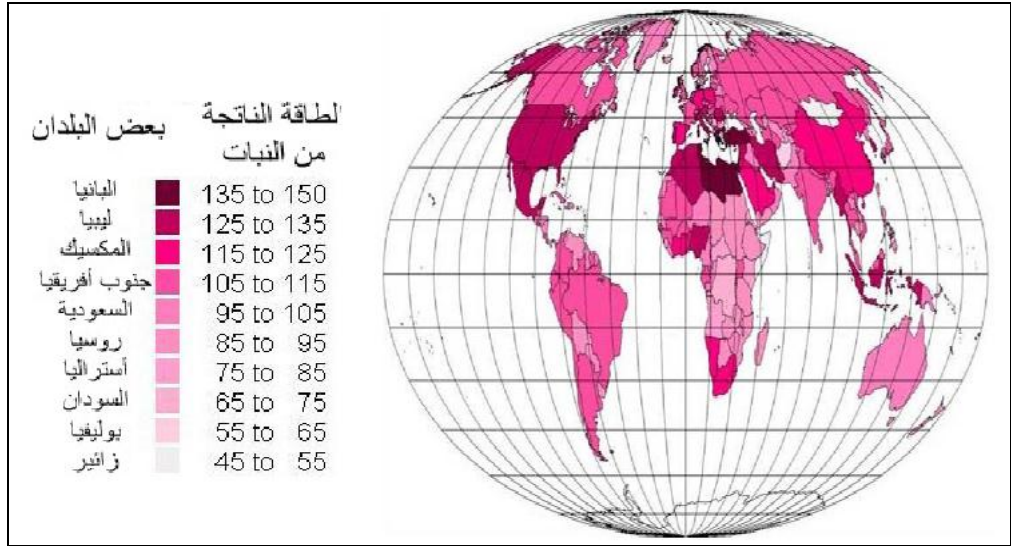
يبيّن معدل القيم الوطنية لسنة ٢٠٠٠، استناداً الى (BTM, 2001) وعامل معدل قدرة الإنتاج ٣,٠. يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ $0.92W/cap$. بلغ النمو في قدرة الإنتاج المركبة المتراكمة من عام ٢٠٠٠ إلى ٢٠٠١ (٣٥٪) (BTM, 2002). يتوقع بعض المراقبين أن يتباطأ النمو خلال السنوات اللاحقة، لأسباب اقتصادية وسياسية، لكن بعدها يتم استئناف النمو (Windpower Monthly, 2003).



الشكل (٣-١): طاقة الكتلة الحيوية الموجودة في المعدل الزمني لاستهلاك الإنسان الغذائي من المنتجات الحيوانية.

يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠ (FAO, 2003). يبلغ المعدل العالمي للاستهلاك الغذائي الحيواني لعام ٢٠٠٠ $22.2W/cap$.

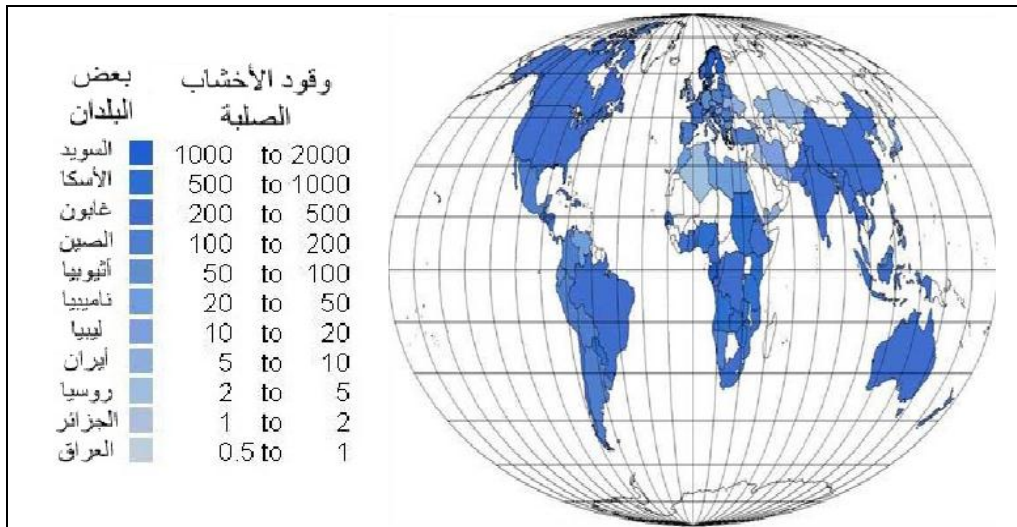
الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة



الشكل (٤-١): طاقة الكتلة الحيوية الموجودة في المعدل الزمني لاستهلاك الإنسان الغذائي من المنتجات الخضرية.

يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠ (FAO, 2003). يبلغ المعدل العالمي للاستهلاك

الغذائي الخضري لعام ٢٠٠٠ 113.7W/cap.



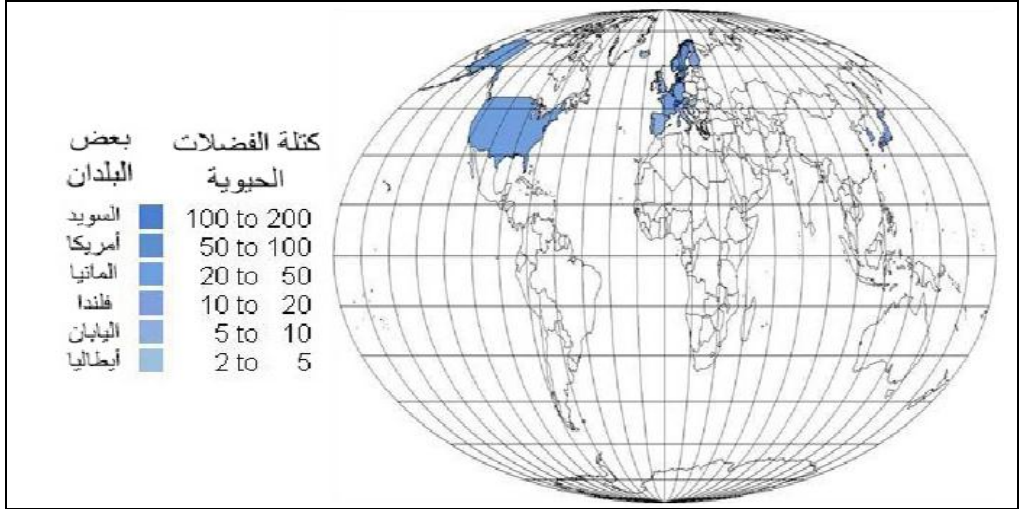
الشكل (٥-١): طاقة الكتلة الحيوية الموجودة في الوقود الخشبي.

يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠ (OECD/IEA, 2002a; 2002b). يبلغ

المعدل العالمي لاستخدام الوقود الخشبي في عام ٢٠٠٠، الذي تضمنته البيانات،

الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة

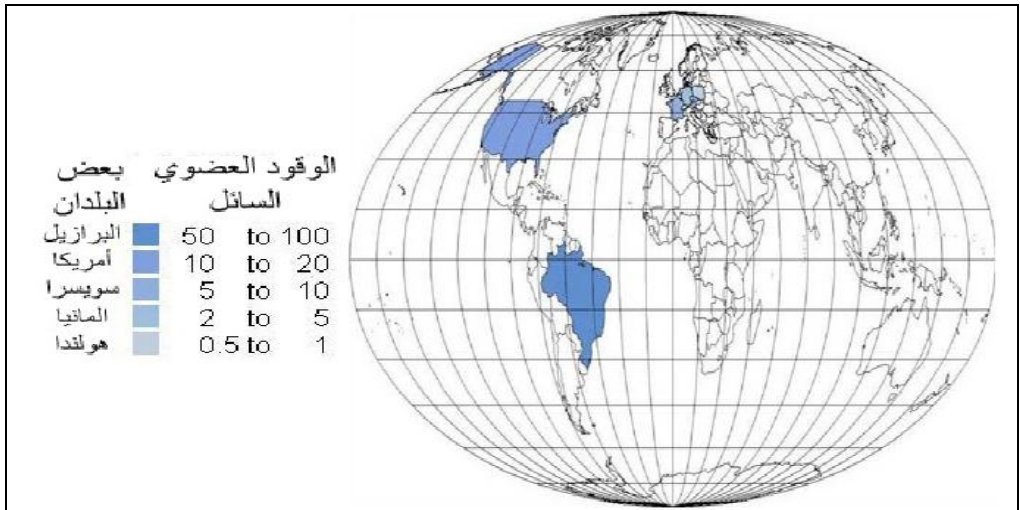
221.9W/cap. لم يُذكر أي استخدام للوقود الخشبي بالنسبة لروسيا. لم يتناول مصدر البيانات بعض البلدان الأخرى.



الشكل (٦-١): الطاقة في نفايات الكتلة الحيوية المستخدمة لإنتاج الطاقة أو الحرارة.

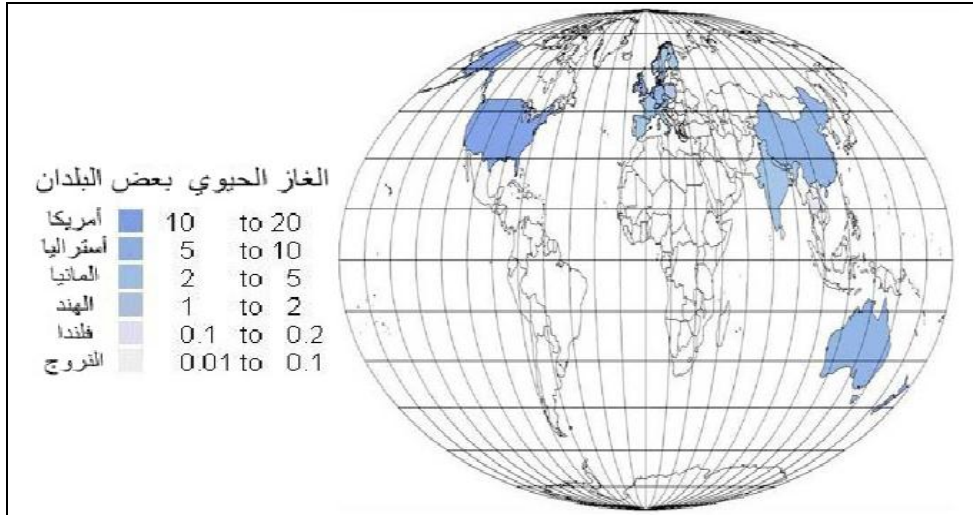
يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠، استناداً إلى منظمة التعاون والتنمية/ وكالة الطاقة الدولية (٢٠٠٢)؛

٢٠٠٢ ب). يبلغ المعدل العالمي لسنة ٢٠٠٠ 3.7W/cap.



الشكل (٧-١): الطاقة في الوقود الحيوي السائل (الإيثانول في الوقت الحاضر ووقود الديزل الحيوي).

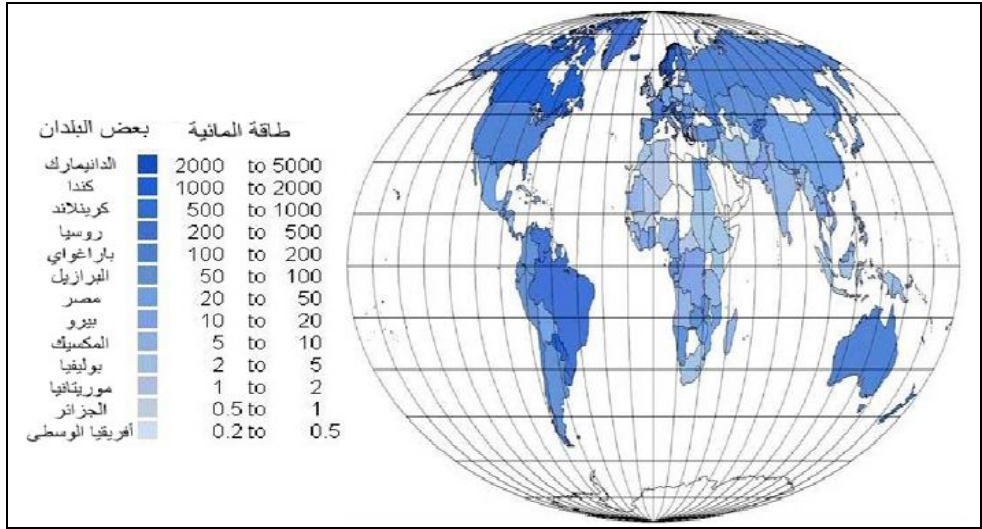
يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠، استناداً إلى EC- ATLAS (٢٠٠٣) ومنظمة التعاون والتنمية/ وكالة الطاقة الدولية (٢٠٠٢؛ أ؛ ٢٠٠٢ ب). يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ 2.3 W/cap



الشكل (١-٨): الطاقة في الغاز الحيوي.

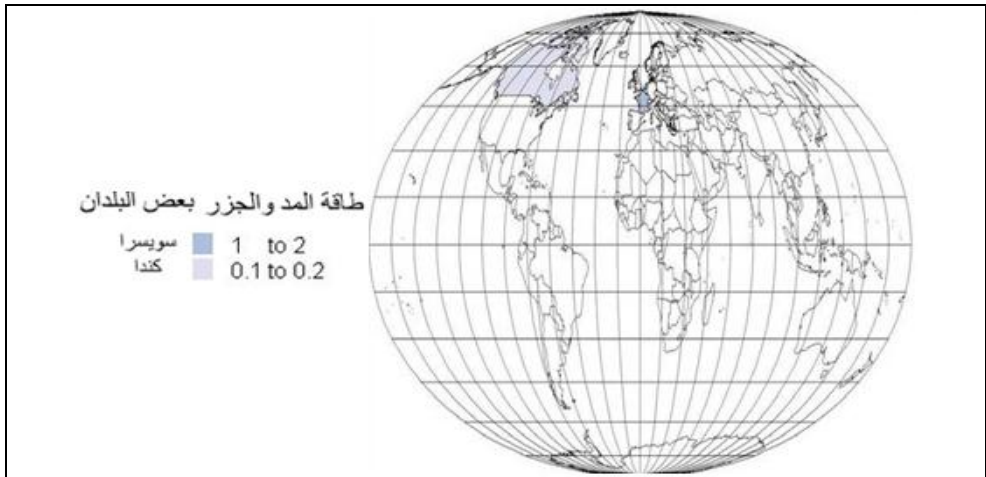
يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠، استناداً إلى تحويل عدد من الوحدات (FAO-Asia, 2003)، افتراضاً على معدل كل وحدة أسرية إنتاج غاز حيوي لنصف ذلك الذي للسماد المغذي للوحدة العاملة من ما يعادل ٢,٥ بقرة وإنتاج ١٧٣٦ واط من الغاز الحيوي. تم الحصول على بيانات إضافية من OECD/IEA (٢٠٠٢؛ أ؛ ٢٠٠٢ ب). يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ 2.8W/cap

الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة



الشكل (٩-١): الطاقة الكهربائية.

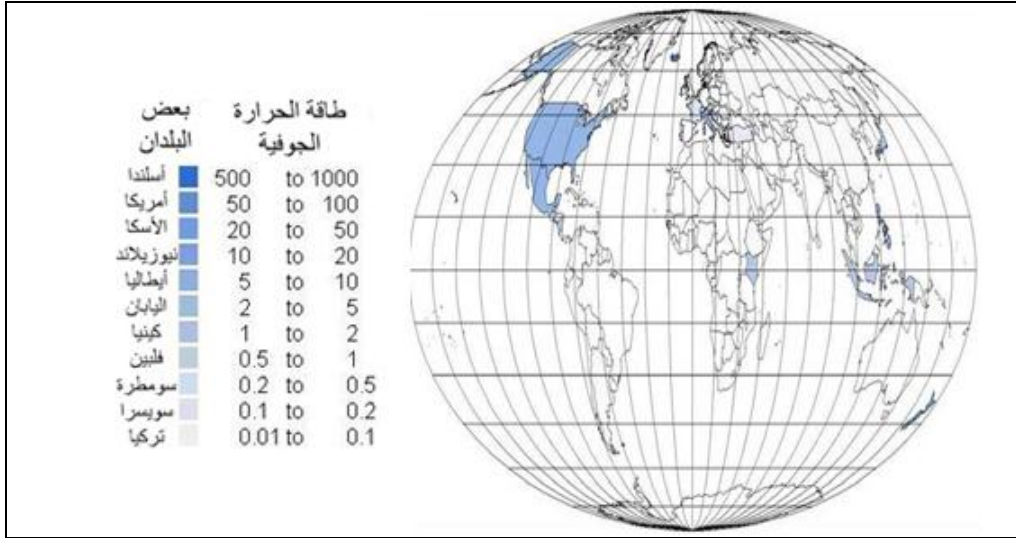
يبيّن معدل القيم الوطنية لسنة ٢٠٠٠، استناداً إلى منظمة التعاون والتنمية/ وكالة الطاقة الدولية (٢٠٠٢؛ ٢٠٠٢ب) وبيانات الطاقة المركبة من أكو-ميديا (١٩٩٧) للبلدان التي لم تتناولها الوكالة الدولية للطاقة، باستخدام عوامل القدرة المقدرة من ٠,٢ إلى ٠,٤. يبلغ المعدل العالمي لسنة ٢٠٠٠ 50 W/cap.



الشكل (١٠-١): طاقة المد والجزر.

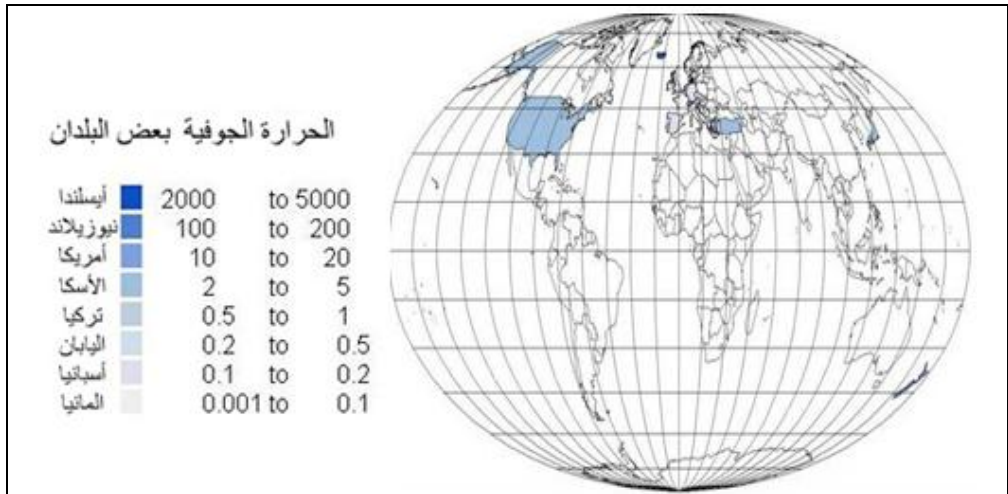
معدل القيم الوطنية لسنة ٢٠٠٠، استناداً إلى منظمة التعاون والتنمية/الوكالة الدولية للطاقة (٢٠٠٢؛ ٢٠٠٢ب). يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ 0.01 W/cap.

الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة



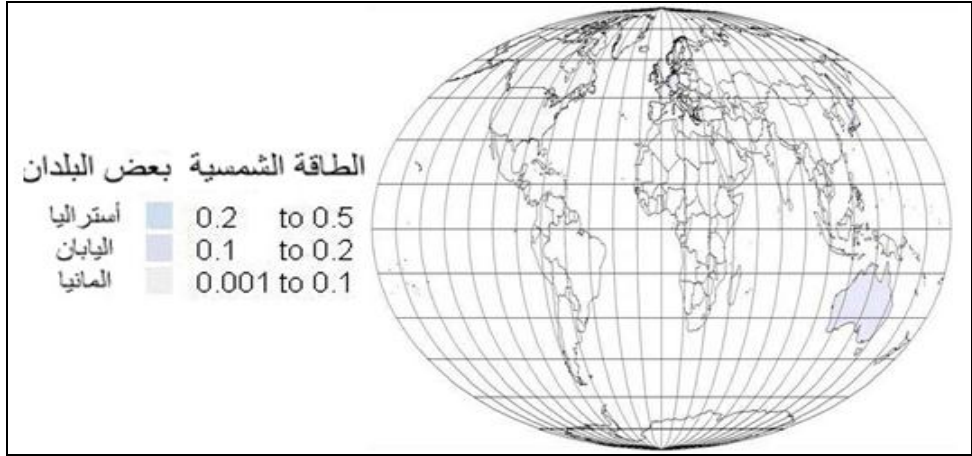
الشكل (١-١١): القدرة الحرارية الأرضية.

يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠، استناداً إلى ١٠٪ من مدخلات الحرارة المعطاة في OECD/IEA (٢٠٠٢؛ ٢٠٠٢ب) أو ٦٠٪ من الطاقة المركبة من بارييه (١٩٩٩). يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ $9.3W/cap$.



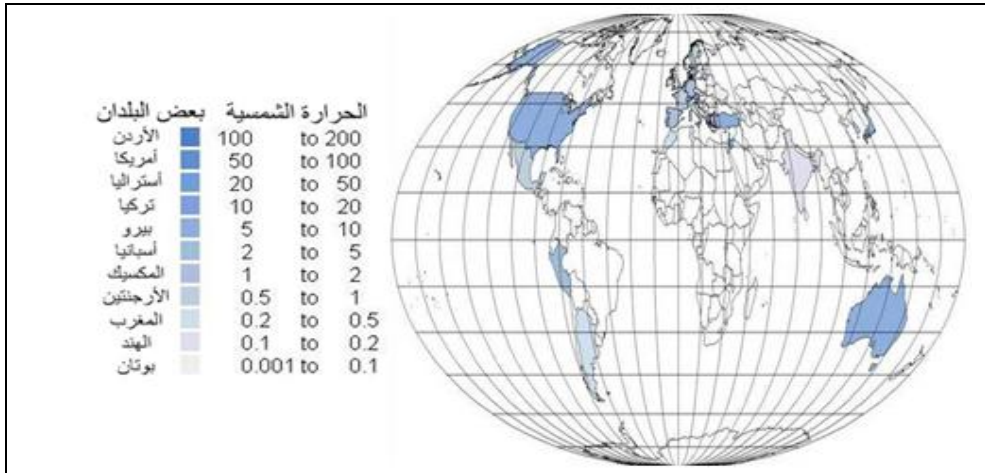
الشكل (١٢-١): الطاقة الحرارية الأرضية (بصورة رئيسة التدفئة النطاقية).

يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠، استناداً إلى OECD/IEA (٢٠٠٢؛ ٢٠٠٢ب). يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ $0.5 W/cap$.



الشكل (١-١٣): الطاقة الشمسية.

معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠، استناداً إلى منظمة التعاون والتنمية/الوكالة الدولية للطاقة (٢٠٠٢ب) أو معدل إنتاج الطاقة المكافئ ١٠٪ من السعة المركبة الواردة في IEA-PVPS(2001). يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ 0.007 W/cap. بلغ معدل النمو من عام ٢٠٠٠ إلى ٢٠٠١ ٣٥٪ (IEA-PVPS, 2002).



الشكل (١-١٤): الحرارة الشمسية.

يبيّن معدل القيم الوطنية لعام ٢٠٠٠، استناداً إلى IEA-PVPS (2001). تم شمول كل من المنظومتين الحرارية للتدفئة المتكاملة للمباني والتدفئة النطاقية المركزية. يبلغ المعدل العالمي لعام ٢٠٠٠ 0.11 W/cap.

الفصل الأول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة

الفصل الأول

البلدان	التنفس 1000*	الطاقة المبتدئة	الطاقة الجوفية	الحرارة الجوفية	الخلية الجوفية	الحرارة الشمسية	المد والجزر	الرياح	الحيوي التثوي	الصلب الحيوي	الغاز الحيوي	الغذاء الحيوي	الغذاء النباتي
أفغانستان	17270	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.67	62.86
الباييا	3400	164.13	0	0	0	0	0	0	23.45	0	0	37.68	101.02
الجزائر	30400	1.8	0	0	0	0	0.04	0	3.5	0	0	14.77	127.85
اندورا	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.41	121.07
أنغولا	13100	8.11	0	0	0	0	0	0	572.03	0	0	7.65	84.5
أنغولا	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	65
التقطب الجنوبي	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
جزر الكناري	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.69	77.34
الأرجنتين	37000	89.05	0.01	0	0	0.22	0.13	0	105.93	0	0	48.43	105.62
أرمينيا	3800	38.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.01	79.08
أوريا	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	96.85
أستراليا	19160	100.06	0	0.15	6.8	0.47	0	349.36	0	9.57	50.8	102.95	
النمسا	8110	591.74	0.15	0.82	0.05	7.7	0	2.6	9.34	453.31	2.13	4.75	59.23
أندونيسيا	8000	21.59	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	17.53	101.99
مينا موسى	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.43	121.07
جزر البهاما	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.43	83.87
البحرين	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.74	121.07
بنغلاديش	131100	0.81	0	0	0	0	0	0	77.02	0	0	3.24	98.55
بربادوس	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.95	112.4
برازيل	10000	0.2	0	0	0	0	0.04	0	131.54	0	0	38.79	101.74
بلجيكا	10250	5.06	0.01	0.13	0	0.26	0	0.6	15.94	33.96	0	3.89	54.29
هندوراس	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.06	110.8
بنين	6300	0	0	0	0	0	0	0	375.39	0	0	4.84	119.03
بورما	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	110.07
بوتان	1840	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.84	96.85
بوتان	8300	27.21	0	0	0	0	0	0	115.26	0	0	17.19	90.27
بوسنة هرزك	4000	146.15	0.33	0	0	0	0	0	59.79	0	0	17.53	111.33
بوتسوانا	1480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.11	91.09
البرازيل	170400	204.29	0	0	0	0	0.04	0	324.52	52	0	29.78	114.77
جزر العذراء	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
بروناي	300	0	0	0	0	0	0	0	88.58	0	0	24.65	112.49
بلغاريا	8200	37.27	0	0	0	0	0	0	93.98	0	0	33.41	86
بوركينافاسو	11100	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.62	105.42
بوروندي	6030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.74	75.98
كمبوديا	6820	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.81	91.43
كامرون	14900	26.75	0	0	0	0	0	0	444.07	0	0	6.44	102.76
كندا	30750	133.14	0	0	0.02	0	0.13	1.36	0	484.27	0	0	45.42
الرأس الأخضر	440	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	22.37	136.37
جزر كيلمان	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
أفريقيا الوسطى	2790	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.49	84.7
تشاد	6670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.92	92.15
ثايلند	15200	143.35	0	0	0	0	0	0	369.75	0	0	30.22	109.35
صين	1262500	20.13	0.02	0	0	0	0.08	0	225.66	0	5	28.23	118.45
كولومبيا	42300	86.69	0	0	0	0	0	0	165.22	0	0	20.63	105.18
جزر القمر	3800	171.33	29.37	0	0	5.59	0	0	87.41	0	0	4.46	80.44
كونغو	3000	13.29	0	0	0	0	0	0	261.3	0	0	6.39	101.26
جزر المحيط	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
كوستاريكا	2500	74	0	0	0	0	6.1	0	0	0	0	25.18	109.64
كرواتيا	4400	154	0.3	0	0	0	0	0	111.73	0	0	24.94	95.3
كوبا	11200	1.19	0	0	0	0	0	0	347.58	0	0	17	107.17
قبرص	800	0.17	0	0	0	59.79	0	0	16.61	0	0	46.15	111.62
تشيك	10270	19.54	0	0	0	0	0.05	0	41.14	5.95	4.66	40.53	109.78
الدنمارك	5340	0.5	0.02	0	0.03	1.99	0	131.5	145.55	220.94	8.46	17.17	63.24
جيبوتي	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.83	86.44
دومينيكا	80	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.41	111.53
دومينيكا	8400	11.07	0	0	0	0	0	0	215.11	0	0	16.46	96.17
زنجبار	50900	12.27	0	0	0	0	0	0	355.26	0	0	2.28	71.04
أكوادور	12600	68.54	0	0	0	0	0	0	73.81	0	0	20.97	109.44
مصر	64000	25.33	0	0	0	0	0.32	0	27.61	0	0	12.4	149.64
السلفادور	6300	21.09	14.34	0	0	0	0	0	291.04	0	0	14.67	106.54
غينيا الاستوائية	430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.84	96.85
أرتريا	4100	0	0	0	0	0	0	0	165.27	0	0	4.99	75.64
أستونيا	1400	0	0	0	0	0	0	0	474.51	0	0	42.52	120.97
أثيوبيا	64300	2.89	0.04	0	0	0	0.03	0	359.95	0	0	5.08	92.86
جزر فالاكلاند	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
فيجي	730	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.97	111.57
فلندا	5180	323.44	0	0	0.05	0	2.3	11.54	1659.77	0	4.62	55.79	100.48
فرنسا	60430	126.58	0.27	0	0.02	0.55	1.08	0.3	39.82	202.03	5.78	3.83	65.18
جويانا الفرنسية	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
بولنيسيا الفرنسية	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	98.16
كالون	1200	66.43	0	0	0	0	0	0	1018.62	0	0	17.14	107.02
غامبيا	690	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.67	114.14

الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة

المنظور

جورجيا	5000	132.86	0	0	0	0	0	18.6	0	0	19.23	97.63		
الماتيا	82170	30.22	0	0.16	0.14	1.47	0	22.3	28.47	79.49	2.64	9.01	50.12	116.95
غانا	19300	39.24	0	0	0	0	0	0	366.24	0	0	0	5.81	124.84
جبل طارق	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.84	121.07
اليونان	10560	40.01	0	0.25	0	12.46	0	7.8	0	118.77	0	0.13	41.02	138.4
غرينلاند	50	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.43	96.85
غرينادا	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.64	101.21
جزر غوادالوب	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
غوام	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.53	96.85
غواتيمالا	11400	23.31	0	0	0	0	0	0	454.54	0	0	0	10.07	95.06
غيانا	4050	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.87	110.07
غيانا بيساو	920	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.85	105.18
غيانا	870	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.29	104.75
هايتي	8000	3.32	0	0	0	0	0	0	252.44	0	0	0	6.44	93.12
هوندوراس	6400	39.44	0	0	0	0	0	0	276.11	0	0	0	16.66	99.32
هونك كونغ	6800	0	0	0	0	0	0	0	9.77	0	0	0	38.74	96.85
هنغاريا	10020	1.99	0	0.66	0	0	0	0	2.65	47.21	0	0	53.9	113.56
ايسلندا	280	2595.6	623.51	2984.7	0	0	0	0	4.75	0	0	0	67.65	94.19
هند	1015900	8.37	0	0	0	0.17	0	0.4	0	263.64	0	2.3	9.39	108.18
أندونيسيا	210400	4.93	1.44	0	0	0	0	0.02	0	299.95	0	0	5.67	134.87
إيران	63700	6.67	0	0	0	0	0	0.06	0	16.48	0	0	13.03	128.04
العراق	23300	2.85	0	0	0	0	0	0.08	0	1.71	0	0	4.26	102.13
أيرلندا	3790	25.59	0	0	0	0	0	9.7	0	47.68	0	9.82	54.38	120.58
فلسطين	6200	0.2	0	0	0.007	127.72	0	0.08	0	0	0	0	31.96	140.53
إيطاليا	57730	87.5	6.7	0	0.03	0.25	0	2.2	7.69	36.71	0	2.97	45.28	132.01
ساحل العاج	16000	12.46	0	0	0	0	0	0	350.43	0	0	0	4.75	120.68
جامايكا	2600	5.11	0	0	0	0	0	0	245.29	0	0	0	18.98	111.43
اليابان	126920	78.55	3.01	2.33	0.25	8.41	0	0.34	10.56	47.64	0	0	27.55	106.2
الأردن	4900	0.3	0	0	0	17.62	0	0.08	0	0	0	0	15.79	117.34
كازاخستان	14900	57.96	0	0	0	0	0	0.04	0	6.24	0	0	31.23	113.61
كينيا	30100	4.86	1.63	0	0	0	0	0	0	519.98	0	0	11.33	83.78
هاراباتي	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.84	124.36
كوريا الجنوبية	47280	9.7	0	0	0.008	1.18	0	0.06	41.84	4.83	0	1.1	22.47	127.31
كوريا الشمالية	22300	109.03	0	0	0	0	0	0	0	59.58	0	0	5.96	99.81
الكويت	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.53	117.14
قرغيزستان	4900	319.96	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	26.73	112.3
لاوس	2960	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.7	102.08
لاتفيا	2400	132.86	0	0	0	0	0	0	548.06	0	0	0	33.32	104.94
لبنان	4300	12.36	0	0	0	2.16	0	0	40.17	0	0	0	19.56	133.22
ليسوتو	1980	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.84	106.54
ليبيريا	2510	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.24	97.29
ليبيا	5300	0	0	0	0	0	0	0.04	0	35.1	0	0	17.82	142.23
ليختنشتاين	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.43	106.59
ليتوانيا	3700	10.77	0	0	0	3.59	0	0	0	226.23	0	0	34.09	113.12
لكسمبورك	440	30.2	0	0	0	0	0	4.09	81.53	48.31	0	3.02	54.29	124.94
مقدونيا	2000	66.43	1.99	0	0	0	0	0	0	139.51	0	0	24.21	121.31
مدمشقر	8460	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.59	87.65
مالاوي	9860	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.37	103.2
ماليزيا	23300	34.21	0	0	0	0	0	0	144.27	0	0	0	27.41	113.95
مالديف	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.82	93.7
مالي	8070	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.84	106.25
مالطا	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.21	127.36
جزر مارشال	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
مارتينيك	450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
موريتانيا	2250	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.84	107.02
موريشيوس	1220	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.68	123.87
مكسيك	97220	38.94	6.94	0	0.014	0.59	0	0.02	0	109.81	0	0.08	28.23	125.04
مكرونيزيا	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.21	96.85
مولدافيا	4300	3.09	0	0	0	0	0	0	18.54	0	0	0	18.98	114.87
موناكو	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.28	108.72
منغوليا	2310	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.67	50.27
المغرب	28700	2.78	0	0	0	0.28	0	0.56	0	20.37	0	0	10.36	133.17
موزنبيق	17700	45.04	0	0	0	0	0	0	496.18	0	0	0	2.32	90.99
بورما	47700	4.46	0	0	0	0	0	0	255.7	0	0.03	0	6	131.62
ناميبيا	1800	88.58	0	0	0	0	0	0	125.48	0	0	0	12.88	115.4
ناورو	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.37	96.85
نيبال	23000	8.09	0	0	0	0	0	0	388.77	0	3.7	7.75	110.22	
هولندا	15920	1	0	0	0.08	1.34	0	8.9	41.81	28.38	0	11.02	57.38	102.18
كاليدونيا الجديدة	170	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.72	101.02
نيوزلندا	3830	734.39	82.56	164.43	0	0	0	2.74	0	286.89	0	10.41	52.59	104.89
نيكاراغوا	5100	5.21	3.13	0	0	0	0	0	369.94	0	0	0	8.77	99.08
نيجر	8650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.42	95.74
نيجيريا	126900	5.23	0	0	0	0	0	0	757.29	0	0	0	4.21	133.8
الملكية المشتركة	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.53	96.85

الفصل الأول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة

الفصل الأول

جزر مريم العذراء	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.53	96.85		
الذوج	4490	3603.3	0	0	0.13	0	0	0.87	36.69	354.8	0	1.48	56.13	109.15	
سلطنة عمان	2400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.9	96.85	
باكستان	138100	14.24	0	0	0	0	0	0	0	231.09	0	0.01	20.77	97.97	
جزر بالاو	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.37	96.85	
بنما	2900	123.7	0	0	0	0	0	0	0	210.75	0	0	28.09	92.4	
غينيا الجديدة	4420	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.12	95.25	
بورغواي	5500	1111.2	0	0	0	0	0	0	0	553.2	0	0	28.09	94.58	
بيرو	25700	71.86	0	0	0	2.74	0	0	0	115.29	0	0	16.8	110.31	
فلين	75600	11.78	17.57	0	0	0	0	0.02	0	167.66	0	0.01	17.14	98.06	
بولندا	38650	6.22	0	0	0	0	0	0.1	0	123.31	0	0.7	1.03	43.1	120.39
برتغال	10010	129.28	0.92	0.13	0.009	2.39	0	3.3	23.1	249.14	0	0.13	51.19	128.72	
بورتوريكا	4940	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.43	121.07	
قطر	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.74	96.85	
جزر ريونيون	650	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.06	96.85	
رومانيا	22400	75.33	0.12	0	0	0	0	0	0	169.05	0	0	32.74	125.81	
روسيا	185500	108	0.04	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	31.38	109.88	
زاواندا	145600	128.76	0.05	0	0	0	0	0	0	63.97	0	0	2.47	98.11	
لوكا	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.11	105.33	
سان مارينو	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.04	132.01	
ساوتومي وبرينسيبي	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.41	111.33	
المملكة العربية السعودية	20700	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	21.6	117.63	
سنغافيل	9500	0	0	0	0	0	0	0	0	240.55	0	0	9.64	99.66	
سيشيل	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.97	93.8	
سيراليون	3480	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.15	87.12	
سنغافورة	4000	0	0	0	0	21.26	0	0	0	0	0	0	29.06	96.85	
سلانداور	5400	99.89	0	0	0	0	0	0.04	0	19.68	0	0	38.16	113.56	
سلوفينيا	2000	219.23	0.66	0	0	0	0	0	0	305.59	0	0	45.08	108.33	
جزر سليمان	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.27	100	
الصومال	10510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.88	48.96	
جنوب أفريقيا	42800	3.73	0	0	0	0	0	0	0	393.32	0	0	17.92	121.84	
أنغوليا	39930	81.19	0	0.2	0.02	1.03	0	21.3	7.75	130.47	0	3.79	44.41	117.92	
سيرلانكا	19400	18.49	0	0	0	0	0	0	0	291.75	0	0.1	7.51	108.91	
جزر الملوك	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.17	93.85	
جزر فينوس	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.23	102.66	
السودان	31100	4.27	0	0	0	0	0	0	0	602.37	0	0	22.08	91.62	
سورينام	420	166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.68	110.75	
سوازيلند	700	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.89	107.99	
السويد	8870	1017.1	0	0	0.03	0.75	0	8.97	60.22	1155.48	0	4.19	49.83	100.78	
سويسرا	7190	585.42	0	16.82	0.21	4.25	0	0.12	140.26	92.76	0	11.64	52.88	106.59	
سوريا	16200	65.61	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0	19.85	127.26	
تايوان	22200	45.49	0	0	0	0	0	0.02	0	0.6	0	0	29.06	96.85	
طاجيكستان	6200	255.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.17	76.13	
تنزانيا	33700	7.49	0	0	0	0	0	0	0	567.73	0	0	5.91	86.39	
تایلاند	60700	11.38	0	0	0	0	0	0.04	0	312.13	0	0.15	13.75	107.6	
توغو	4500	7	0	0	0	0	0	0	0	307.06	0	0	3.87	108.91	
تونغا	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.06	96.85	
جزر الثلوث	1300	0	0	0	0	0	0	0	0	30.66	0	0	21.16	113.32	
تونس	9600	1.38	0	0	0	0.28	0	0.34	0	171.62	0	0	16.8	142.95	
تركيا	66840	52.8	0.13	3.56	0	5.21	0	0.09	0	128.31	0	0.1	18.21	147.22	
تركمانستان	5200	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.94	107.6	
الغرب التركي	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.06	96.85	
ترينيداد	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.06	96.85	
أوغندا	16670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.83	107.41	
أوكرانيا	48500	26.85	0	0	0	0.03	0	0.04	0	7.12	0	0	28.33	110.7	
الإمارات العربية المتحدة	2900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.16	116.47	
المملكة المتحدة	59760	9.76	0	0.02	0.003	0.24	0	2.13	6.23	18.65	0	17.88	48.52	112.93	
الولايات الأمريكية	275420	103.04	6.09	2.5	0.05	7.32	0	2.84	34.29	290.69	15.55	15.91	50.51	132.16	
أورغواي	3300	245.6	0	0	0	0	0	0	0	169.1	0	0	46.88	92.49	
جزر العذراء الأمريكية	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.58	121.07	
أوزباكستان	24800	27.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.97	93.85	
فانواتو	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.15	102.13	
فاثيان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.04	132.01	
فنزولا	24200	296.47	0	0	0	0	0	0	0	29.65	0	0	17.19	92.06	
فيتنام	78500	21.16	0	0	0	0	0	0.02	0	383.02	0	0.02	13.17	111.91	
الصحراء الغربية	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.84	96.85	
ساموا الغربية	190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.06	96.85	
اليمن	17500	0	0	0	0	0	0	0	0	6.07	0	0	6.59	92.11	
مصربيا والجزل الأسود	10600	130.36	0	0	0	0	0	0	0	31.34	0	0	48.23	76.22	
زامبيا	10100	88.14	0	0	0	0	0	0	0	674.84	0	0	4.5	88.09	
زيمبابوي	12600	29.53	0	0	0	0	0	0	0	589.45	0	0	6.83	95.64	

الجدول يبين استخدام الطاقات المتجددة للعام 2000

كما تبيّن الأشكال مايلي:-

١. عند معدل عالمي من 222 W/cap ، لايزال الاستخدام التقليدي للكتلة الحيوية للاحتراق هو الاستخدام المهيمن للطاقة المتجددة، على الرغم من أنه يأخذ أشكالاً أكثر كفاءة في العديد من البلدان الصناعية، أقل بقليل فقط (146 W/cap) هو استخدام الطاقة الغذائية في الكتلة الحيوية ذات المنشأ الحيواني أو النباتي (كون القيمة الغذائية للغذاء في أي حال أكثر من تلك الطاقة التي توفرها. بعد ذلك تأتي الطاقة المائية (50 W/cap).

٢. الطاقة الحرارية الأرضية، والتي لا يمكن تصنيفها إلا جزئياً كطاقة متجددة (بينما يتم استغلال الكثير من خزانات البخار بمعدل من شأنه أن يستنفد الخزان على مدى عقود من الزمن). على مستوى 1 W/cap .

٣. في نفايات الكتلة الحيوية (التي تستخدم لتوليد القدرة أو الحرارة)، والغاز الحيوي، والوقود الحيوي السائل (المستخدم في قطاع النقل)، وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية (التي تستخدم للتسخين المنطقي أو النطاقي). في النهاية تأتي الحرارة الشمسية وطاقة المد والجزر والطاقة الشمسية، وهذه الأخيرة تكون أدنى من 0.01 W/cap . مع ذلك، فإن أسرع الأسواق نمواً هي أسواق طاقة الرياح والطاقة الشمسية، كلتاهما تضيف حالياً 35% من الطاقة المركبة في كل عام.

٤. تعرض خصائص السوق لأشكال الطاقة المتجددة المتنوعة الاختلافات المرتبطة بطبيعة كل مصدر.

بالنسبة للطاقة الغذائية، يتأثر السعر بالتباينات في الانتاج نتيجة للتغيرات المناخية، والاختيارات المعمولة فيما يتعلق باستخدام المجالات، امتلاك الماشية والحصص السمكية والسلوك التنافسي لمعالجة الأغذية وصناعة التسويق. مع هذا، فإن معظم أسعار السلع المختلفة تبدو متناسقة بشكل ملحوظ مع محتواها الطاقوي، وتكون متفاوتة فقط بين 70 سنتاً أمريكياً لكل kWh (قيمة الحرارة) و 200 c/kWh . بترجمة بيانات منظمة التعاون والتنمية (OECD, 2002) إلى وحدات طاقة، يكون سعر بيع الجملة الحالي للحبوب مثل الأرز أو القمح حوالي 70 c/kWh ، في حين أن سعر بيع الجملة للحوم ومنتجات الألبان النموذجية هو

حوالي ١٠٠ c/kWh. تحصل المنتجات المتخصصة فقط على أعلى الأسعار في السوق. تكون أسعار المفرد للمستهلك عادة أعلى بخمسة أضعاف من أسعار الجملة المحددة. يكون هذا أكثر من ٣٠ مرة من سعر المستهلك الحالي لـ c/kWh من الكهرباء المنتجة من الوقود الأحفوري .

تتراوح أسعار سوق الجملة لنفايات الكتلة الحيوية والحطب من حوالي 1 c لكل kWh (من "قيمة الاحتراق"، أي طاقة الاحتراق) في الهند (FAO-Asia, 2003) إلى نحو ٢ c/kWh في البلدان الصناعية (مثل القش، رقائق الخشب ١,٦ c/kWh وكريات الخشب ١,٩ c/kWh؛ الوكالة الدانمركية للطاقة، ١٩٩٦؛ Alakangas et al., 2002) (C تعني سنت). على سبيل المقارنة، تبلغ كلفة الفحم قبل مراعاة العوامل الخارجية ٥,٠ c/kWh (وكالة الطاقة الدانمركية، ٢٠٠٢). وتبلغ كلفة إنتاج الغاز الحيوي ٦,٣-٧ c/kWh (وكالة الطاقة الدانمركية، ١٩٩٢)، في حين تبلغ كلفة طاقة الرياح ٣-٧ c/kWh (تبعاً لأحوال لرياح) تبلغ تلك التي للطاقة الشمسية الضوئية ٤٠-١٣٠ c/kWh (IEA- PVPS, 2002). تتمتع سوق الخلايا الفلطائية الضوئية بدعم مادي لأجل صناعتها (عادةً على شكل دعم استثمارات العملاء أو تقديم أسعار إعادة شراء جاذبة لطاقة شمسية مفرطة). هذه هي الحال في بلدان مثل ألمانيا واليابان، بينما في سويسرا، يتشكل السوق على نحوٍ واسع عن طريق الصناعات التي تشتري الـ PV لأسباب جمالية أو ادامة الخضرة.

٥. إنتاج الطاقة الكهرومائية تكلف ١-٥ c/kWh في حين يكلف إنتاج الطاقة الناتجة القائمة من الفحم والغاز حوالي ٥ c/kWh لإنتاجها (وكالة الطاقة الدانمركية، ٢٠٠٢). بالنسبة لهذا تأتي تكاليف التوزيع من وحدات الإنتاج المركزية إلى العملاء، و في الكثير من البلدان، (الضرائب ومدفوعات العوامل البيئية الخارجية)، مما أدى بأسعار العملاء إلى تجاوز الـ ١٤ c/kWh. نتيجة لذلك، تُباع طاقة الرياح، كونها معفاة من رسوم التلوث وCO₂، وطاقة الكتلة الحيوية في الكثير من البلدان بأسعار مشابهة جداً لتلك التي للطاقة القائمة على الحفريات. كذلك تكون الطاقة الحرارية الأرضية متنافسة عادةً مع غيرها من أشكال الطاقة الكهربائية، في حين يعتمد بقاء الطاقة الحرارية الأرضية على التكاليف المحلية لتوزيع التدفئة المناطقية.

٦. تتغير تكاليف انتاج النفط الحالية من أقل بكثير من ١ c/kWh في بعض آبار الشرق الأوسط إلى حوالي ٢ c/kWh من المنشآت البحرية في بحر الشمال. لا يقتصر سعر البيع بالجملة (حالياً - فبراير ٢٠٠٣ - حوالي ٢ c/kWh) بقوة بأسعار الإنتاج، لكن يتم تحديده عن طريق السوق والاعتبارات السياسية. تكون بعض الدول على استعداد لخوض حرب ضد البلدان المنتجة للنفط من أجل السيطرة على الأسعار. تُباع المنتجات المكررة مثل البنزين (الكازولين) حالياً بأسعار تقارب ٤ c/kWh، يكون وقود الديزل أقل بقليل، بالإضافة الى الضرائب والرسوم البيئية حيث تُفرض (وكالة الطاقة الدنماركية، ٢٠٠٢؛ وكالة الطاقة الدولية عام ٢٠٠٢). إن للوقود الحيوي السائل تكاليف انتاج تبلغ من ٣-٧ c/kWh (الايثانول من قصب السكر هو الأدنى، والايثانول من بنجر السكر هو الأعلى، والميثانول من الكتلة الحيوية الخشبية عند ٤-٥ c/kWh). يبلغ سعر الهيدروجين من الكتلة الحيوية الخشبية حوالي ٣ c/kWh (Turkenbur2000) وآخرون. تبلغ أسعار سوق الغاز الطبيعي حالياً ١٠٪ أعلى من تلك التي للنفط (IEA, 2002).

نظراً لكلفة المعدات المتطورة عادةً، من الواضح أن أسعار الطاقة المتجددة في حالات معينة فقط قد تتطابق مع تلك التي للوقود الأحفوري، حتى مع التقدم المتوقع في مجال التكنولوجيا ومرافق الإنتاج. لذلك ترتبط الحالة بالنسبة لزيادة دور مصادر الطاقة المتجددة بعدم التيقن من أسعار الوقود الأحفوري المستقبلية (لأسباب سياسية ولاستنزاف أو نضوب الموارد) والوعي المتزايد بالتكاليف غير المباشرة للتلوث الذي يسببه الوقود الأحفوري والنووي، شاملاً في حالة الأحفوري انبعاثات المواد المساهمة في ظاهرة الاحتباس الحراري.

أوردت بيانات المصادر للشكلين (١-٢)، (١-١٤) بشكل جدولي في الجدول (١-١). ينبغي أن يوضع في الاعتبار أن العديد من الأرقام تنطوي على تقديرات ونمذجة، بما ان إنتاج الطاقة المباشر لم يتم رصده دائماً.

(The Energy-its History and Present State)

من وجهة النظر العلمية أن وضع ومكانة الطاقة المتجددة في السوق ضمن العالم المادي يتطور وفقاً لتقدير كميات الطاقة التي يمكن إنتاجها للاستخدام من المجتمع البشري، بمعدل يؤهل العملية بوصفها متجددة. إما وجهات النظر الأخرى فهي فلسفية واقتصادية.

تبلغ سرعة الأرض في مدارها حول الشمس حوالي $3 \times 10^4 \text{ms}^{-1}$ ، المناظر لطاقة حركية تقدر حوالي $2.7 \times 10^{33} \text{J}$. وتدور الأرض أيضاً حول محورها بسرعة زاوية تعادل $7.3 \times 10^{-5} \text{rads}^{-1}$ ، مما يزيد بطاقة حركية إضافية بمقدار $2.2 \times 10^{29} \text{J}$. تصل قوة سحب الأرض لأقصى حد بعيداً عن الشمس، ضد قوى الجاذبية، بما يعادل $5.3 \times 10^{33} \text{J}$ ، إما القوة اللازمة لفصل الأرض عن قمرها بمقدار $8 \times 10^{28} \text{J}$.

هذه بعض الظروف الخارجية لكوكبنا، المنصوص عليها في وحدات الطاقة. يصعب الحصول على تقديرات موثوقة عن مقدار الطاقة الكامنة داخل الأرض نفسها. تقدر الطاقة الحركية للحركة الجزيئية، أي الطاقة الحرارية، بمقدار $5 \times 10^{30} \text{J}$. أي ما يعادل الطاقة الحرارية الكلية، نسبةً إلى درجة حرارة الصفر المطلق. ويمكن الاستقراء قيمة $4 \times 10^{30} \text{J}$ للطاقة الحرارية في باطن الأرض نسبةً إلى معدل درجة الحرارة السطحية 287K بمقدار $4 \times 10^{30} \text{J}$.

تحمل المواد المكونة للأرض طاقة إضافية بمقدار 10^{21}J بالإضافة إلى الطاقة الحرارية المناظرة لدرجة حرارتها على المعدل الموجود كطاقة حركية في دوران الغلاف الجوي والمحيطات، وتبلغ الطاقة الكامنة لتضاريس القمم القارية، نسبةً إلى مستوى سطح البحر، حوالي $2 \times 10^{25} \text{J}$ ، مع الأخذ بعين الاعتبار التباينات في الكثافة في القشرة. وتشارك كميات أكبر بكثير من الطاقة في الارتباطات الكيميائية والنوية، التي تحدد حالة وتركيب المادة. تقدم مركبات الكربون للمادة البيولوجية مثلاً عن الطاقة الكيميائية. خلال فترات سابقة من تاريخ الأرض، كوّنت أحفورية المادة البيولوجية ترسبات من الفحم، والنفط والغاز الطبيعي، منها على الأقل 10^{23}J يعتقد حالياً بأنها قابلة للاسترداد بشكل يناسب لاستخدامات الوقود. تتوافق المحاصيل القائمة الحالية للكتلة الحيوية مع معدل $1.5 \times 10^{22} \text{J}$.

قد يتم إطلاق (تحرير) الطاقة النووية بكميات كبيرة من التفاعلات النووية، مثل انشطار النوى الثقيلة أو اندماج الأنوية الخفيفة. باستثناء نظائر الإنشطار النووي تلقائياً في قشرة الأرض، التي تطلق حوالي $4 \times 10^{30} \text{J}$ سنوياً، لا بد من توفير مقدار أولي للطاقة من أجل الحصول على الانشطار المحرر للطاقة أو عمليات الاندماج الجارية. تُستخدم إعدادات إطلاق المواد المتفجرة للطاقة النووية التي تشمل كلا النوعين من العمليات لأغراض عسكرية. أُثبت حتى الآن أن عملية الانشطار فقط هي أساس لمنظومات تجهيز الطاقة المراقبة، مع تحسينات إضافية ضرورية في تكنولوجيا مفاعلات التوليد السريع، وتقدير الموارد القابلة للاسترداد من الوقود النووي كونها من الرتبة 10^{24}J . إن أمكن جعل انصهار نوى الديوتيريوم لتشكيل نواة الهليوم قابلة للبقاء على أساس الديوتيريوم الموجود في مياه البحر، وقد يصل هذا المورد لوحده إلى أكثر من 10^{31}J .

يمكن القول بأن عمليات التحويل المستتفة لمواد معينة من الأرض تشكل العمليات اللاعكوسية. يصحّ هذا عادةً من وجهة النظر العملية، حتى لو كانت العملية العكسية ممكنة من الناحية النظرية .

إن مصطلحي "استخدام الطاقة"، و"صرف الطاقة"... الخ، المستخدمان في أدبيات الطاقة وفي لغة الحياة اليومية، هما بالطبع تعبيران غير دقيقين يصفان عمليات تحويل الطاقة. ترتبط مثل هذه العمليات في معظم الحالات بزيادة في القصور الحراري (الانتروبيا). والقصور الحراري هو خاصية لمنظومة ما، تقوم بتكميم "نوعية" الطاقة التي تحتويها المنظومة. قد تكون المنظومة، على سبيل المثال، مقدار من الوقود، كتلة من الهواء المتحرك، أو النظام الأرضي-الغلاف الجوي برمته.

يحدد تغيير القصور الحراري لعملية ما (مثل عملية تحويل الطاقة)، الذي يحول المنظومة من حالة ١ إلى حالة ٢، حيث يكون التكامل فوق خطوات عملية متناهية الصغر متعاقبة وقابلة للعكس (لا تتعلق بالضرورة بعملية حقيقية، قد لا تكون قابلة للعكس)، خلالها يُنقل مقدار من الحرارة dQ من خزان بدرجة الحرارة T إلى المنظومة. قد توجد الخزانات المتخيلة في عملية حقيقية، لكن الحالات الأولية والنهائية للمنظومة ينبغي أن تمتلك درجات حرارة جيدة التحديد T_1 و T_2 ، من أجل أن يكون (١, ١) قابلاً للتطبيق.

قد لا يغير تحويل أشكال معينة للطاقة، مثل الطاقة الكهربائية أو الميكانيكية، فيما بينها مبدئياً القصور الحراري، لكن عملياً يكون جزء ما من الطاقة متحولاً دائماً إلى حرارة. تتضمن سمة عمليات الطاقة لأنشطة الإنسان على الأرض سلسلة من عمليات التحويل المتعاقبة، التي تنتهي عادة بكل الطاقة المحولة على شكل حرارة، المشعة إلى الفضاء أو المحررة إلى الغلاف الجوي، حيث يحدث كذلك إشعاع الطاقة الحرارية في الفضاء. تبلغ درجات الحرارة المشتركة (T_2) نموذجياً $200-300$ K.

عندها يمكن تسمية الطاقة المخزنة بأي شكل، التي يمكن تحويلها إلى حرارة تُفقد في الفضاء في نهاية المطاف، بـ"موارد الطاقة غير المتجددة". يُستخدم مصطلح "موارد الطاقة المتجددة" لتدفقات الطاقة، التي يتم تجديدها بنفس المعدل الذي "تستخدم" فيه. بالتالي تكون موارد الطاقة المتجددة الرئيسة إشعاعاً شمسياً معترضاً من الأرض، لأن الأرض تشع من جديد إلى الفضاء مقدار من الحرارة مساوٍ لمقدار الإشعاع الشمسي المستلم. وهكذا يعني إلى استخدام الطاقة الشمسية تحويلها بطريقة ملائمة ومريحة للإنسان، لكن النتيجة النهائية هي نفسها وكأن الإنسان لم يتدخل، أي في النهاية تحويل الإشعاع الشمسي إلى حرارة مشعة إلى الفضاء. قد ينطوي مثل هذا الاستخدام على تأخير في إعادة الحرارة، إما كجزء من مخطط تحويل الإنسان أو عن طريق عملية طبيعية. لهذا السبب تعد مخازن الطاقة، التي هي جزء من العملية الطبيعية لتحويل الطاقة الشمسية إلى إعادة الإشعاع الحراري، كذلك "موارد طاقة متجددة".

إن "الطاقة المتجددة" ليست محددة بصورة ضيقة هنا، وقد تشمل استخدام أي مستودع ل تخزين الطاقة يجري "تعبئته" بمعدلات مقارنة بتلك التي للاستخراج .

إن مقدار الطاقة الشمسية الذي تعترضه الأرض وبالتالي يبلغ مقدار الطاقة المتدفق في "دورة الطاقة الشمسية" (من فيض الإشعاع الحادث عبر الانعكاس، الامتصاص وإعادة الإشعاع إلى فيض الحرارة البعيد عن الأرض) حوالي 5.4×10^{24} J سنوياً .

تكون تدفقات الطاقة من مناشئ أخرى عدا المنشأ الشمسي التي تحدث بشكل طبيعي على سطح الأرض أصغر بكثير عددياً. على سبيل المثال، يبلغ الفيض الحراري من باطن الأرض خلال السطح حوالي 9.5×10^{20} Jy⁻¹، وتكون الطاقة المتبددة بالارتباط مع تباطؤ دوران الأرض (بسبب جذب المد والجزر من الكتل الأخرى في المنظومة الشمسية) من التربة 10^{20} Jy⁻¹.

١-٤: تاريخ طاقة الانسان (Humans Energy History)

قد تؤخذ متطلبات الطاقة الدنيا للإنسان كمقدارٍ للطاقة الكيميائية "المتبادلة" التي يمكن ربطها مع مقدار الغذاء اللازم للحفاظ على العمليات الحياتية لشخص ما يؤدي الحد الأدنى من العمل ولا يفقد وزناً. يعتمد هذا الحد الأدنى على درجة الحرارة المحيط، لكن بالنسبة لرجل بالغ تكمن عموماً في منطقة ٦٠-٩٠ واط على معدل لفترات طويلة، الموافق ل(٦ إلى ٨) $\times 10^6$ جول يومياً. تكون متطلبات الحياة الكلية بالطبع أكثر من الطاقة، شاملاً تجهيزات ملائمة من المياه والمواد الغذائية، الخ.

من أجل أداء أي عمل (عضلي) لا يكون بصورة محضة، ينبغي تجهيز طاقة إضافية على شكل غذاء، وإلا ستصح الطاقة المخزونة في الجسم مستنزفة. تتراوح الكفاءة في تحويل الطاقة المخزونة إلى عمل نموذجياً من ٥% إلى ٥٠%، كون الكفاءة الأدنى ترتبط بالنشاطات التي تشمل أجزاء كبيرة من التحويل الساكن (على سبيل المثال حمل وزن ما، يتطلب تحويل طاقة الجسم حتى لو لم يُحرك أو يُنقل الوزن). يتم تحرير النسبة المئوية المكتملة للكفاءة كأشكال مختلفة من الطاقة الحرارية.

يبلغ متوسط معدل الحد الأقصى لاستهلاك الطاقة الغذائية التي يمكن للكائن البشري أن يستمر عليها لفترات طويلة حوالي ٣٣٠ واط، ويكون متوسط معدل الحد الأقصى الذي عنده يمكن تقديم عمل لفترات طويلة من الرتبة ١٠٠ واط. أثناء فترات العمل، قد يبلغ مستوى مخرجات (طاقة-الإنسان) ٣٠٠-٤٠٠ واط، وتبلغ الطاقة القصوى التي يمكن تقديمها ذكر بالغ لمدة دقيقة تقريباً ٢٠٠٠ واط.

رغم عدم التأكد من أن معدلات تحويل الطاقة عن طريق جسم الإنسان بقيت ثابتة خلال تطور الإنسان، قد يكون من المعقول افتراض أن متوسط مقدار "الطاقة العضلية" المستخدمة من الأعضاء الأوائل من جنس هومو، التي تشير الدلائل بأنهم عاشوا تقريباً 4×10^6 سنة مضت في أفريقيا، كان من الرتبة ٢٥ واط.

يكون فيض الطاقة الإجمالي الذي يتلقاه الإنسان الفرد في جمع الغذاء أو مجتمع الصيد هو مجموع الطاقة في الغذاء، حيث بلغ متوسطها لنقل ١٢٥ واط، والفيض الممتص للإشعاع والحرارة من البيئة المحيطة، الذي قد يصل إلى قيم أكبر بكثير، لكنه يعتمد اعتماداً كبيراً على

الملابس، والمناخ وطبيعة البيئة المحيطة. يتكون فيض الطاقة الصادرة من جديد من الحرارة وتدفقات الإشعاع، وتحول المادة العضوية، زائداً مقدار الطاقة المحول إلى عمل. بالنسبة للأفراد المتنامين، يكون صافي الفيض (التدفق) ايجابياً وتزداد كتلة المادة البيولوجية، لكن أيضاً بالنسبة للأفراد البالغين ذوي صافي فيض طاقة صفر، لاتزال الكتلة الحيوية الجديدة تُنتج لتحل محل "خسائر أو مفقودات التنفس".

لقد طور الإنسان بصورة متعاقبة الأنشطة الجديدة، التي سمحت له بالوصول والولوج إلى مقادير أكبر من الطاقة. قد تكون الطاقة الشمسية مستخدمة لأغراض التجفيف، وحالما تُصبح النيران متاحة يتم البدء بعدد من الأنشطة القائمة على طاقة الحطب، بما في ذلك التدفئة، إعداد الطعام وحرارة العمليات لصنع الأدوات. يتأتى الدليل الأول للنيران المستخدمة بالارتباط مع المساكن من هنغاريا، قبل ٣٥٠٠٠٠ - ٤٠٠٠٠٠ سنة مضت.

قد تحول نار جيدة في الهواء الطلق، بمعدل 10^4-10^5 واط باستخدام بعض ١٠-٥٠ كغم من الحطب للساعة الواحدة، في حين أن النيران في الأماكن المغلقة من المحتمل أن تكون محدودة بحوالي 10^3 واط. يشترك عدة أشخاص افتراضاً بنار ما، وعلى الأرجح لن تحترق باستمرار عند هذا المستوى من الطاقة، لكنها بالأحرى سيعاد إشعالها عند الحاجة، على سبيل المثال من جمرات متوهجة. بالتالي من الصعب تقدير متوسط طاقة النار للشخص الواحد، لكنها بالكاد تتجاوز ١٠٠ واط في المجتمعات البدائية. تكون كفاءة إيصال الطاقة لمهمة المطلوبة منخفضة نوعاً ما، ولاسيما بالنسبة للنيران في الهواء الطلق.

عموماً تعدّ القفزة اللاحقة في مجال استخدام الطاقة مرتبطة بترويض الحيوانات البرية لتكوين الثروة الحيوانية، وإدخال الزراعة. يعود تأريخ هذه الثورات إلى حوالي ١٠ ٤ سنة مضت لمنطقة الشرق الأدنى، لكنها قد تكون طورت في مناطق أخرى في نفس الوقت تقريباً، على سبيل المثال في تايواند وبيرو. يتوافق هذا الزمن مع انتهاء العصر الجليدي الأخير، الذي قد يكون تسبب في تغيرات في مناخ خطوط العرض المنخفضة، بما في ذلك معدلات هطول الأمطار المتبدلة. إن إدخال الماشية قد يعزز الميل إلى الاستقرار في مكان معين (أو العكس بالعكس)، مما بدوره قد يزيد في الحاجة إلى الغذاء بما يفوق قدرة مجتمع الصيد. قامت الزراعة في البدء على أصناف برية من القمح، على سبيل المثال، ويعتقد أن الري الاصطناعي كان ضرورياً في

العديد من المواقع حيث تم العثور على دليل زراعي (أدوات مختلفة). تُستخرج طاقة نقل المياه و، لاحقاً، الضخ من حيوانات جرّ ملائمة في مجموعة الشروة الحيوانية، باعتبارها بديلاً للقوة العضلية الخاصة بالإنسان. حدث الانتقال من مجتمع صيد إلى مجتمع زراعي، الذي عادةً ما يسمى بالنيوليتي أو "العصر الحجري الحديث"، بعد عدة آلاف من السنين في المناطق المعتدلة الحرارة لأميركا الشمالية وأوروبا.

يشهد تكوين ثقافات متنامية الحجم ومستوى التطور، الذي أدى إلى تكوين المدن الكبيرة، على سبيل المثال في أنهار الفرات ودجلة والنيل، قبل حوالي ٥٠٠٠ سنة مضت، استخداماً متزايداً للطاقة في مجال حراثة، وري، وطحن ونقل (المؤن الغذائية والمواد)، ولا يعرف بالضبط مامقدار العمل البدني الذي أدّاه الإنسان، والمقدار الذي أدّته الحيوانات، لكن من المرجح أن ١٠٠-٢٠٠ واط آخر أُضيف إلى متوسط استخدام الطاقة للفرد الواحد في المناطق الأكثر تقدماً.

من المهم أيضاً أن نضع في اعتبارنا لا بد أن تكون هناك اختلافات كبيرة في استخدام الطاقة، بين مختلف المجتمعات وبين الأفراد داخل مجتمع معين. على مر التاريخ الإنسان (لم يكن معنى "التاريخ" مقتصرًا على وجود سجلات مكتوبة) هناك أفراد كان ولوجهم إلى الطاقة محدوداً على نحو واسع بتلك التي حولتها أجسامهم. تمتلك مناطق واسعة في آسيا وأفريقيا اليوم متوسط صرف الطاقة للشخص الواحد، الذي يصل فقط إلى بضعة مئات من الواط فوق مستوى الطاقة العضلية (مع الحطب كمصدر مهم). هذا يعني أن أجزاء من السكان لا يستخدمون طاقة أكثر من معدل الشخص خلال العصر الحجري الحديث.

إن مصادر الطاقة التي برزت حتى الآن ماهي إلا إشعاع شمسي مباشر، وحرارة بيئية، وكتلة حيوية حيوانية فضلاً عن كتلة حيوية (نباتية) ابتدائية على شكل غذاء ومن ثم على شكل حطب، زائداً العمل الميكانيكي من الطاقة العضلية للحيوانات. في الشرق الأدنى، أُستخدم النفط للإضاءة، وليس للبيوتومين استخدامات طاقية. يُعتقد أن السفر بالقوارب في عرض البحر (البحر المتوسط) قد بدأ قبل أكثر من ٩٠٠٠ سنة مضت، وهناك أدلة على استخدام طاقة الرياح عن طريق الأشرعة في مصر قبل حوالي ٤٥٠٠ سنة مضت، قد لا تكون طاقة الرياح في هذا الوقت قد أسهمت بنسبة مهمة من المجموع الكلي لاستخدام الطاقة في منطقة البحر الأبيض المتوسط،

لكن في وقت لاحق، عندما أصبحت التجارة أكثر تقدماً وتطوراً (قبل حوالي ٤٠٠٠ سنة مضت)، أُلّف المقدار الكلي للطاقة المصروفة على وسائل النقل في البر والبحر حصة ضئيلة يمكن إهمالها (لربما نسبة مئوية قليلة) من المقدار الإجمالي للطاقة المصروفة في "المناطق المتقدمة" للعالم في ذلك الوقت.

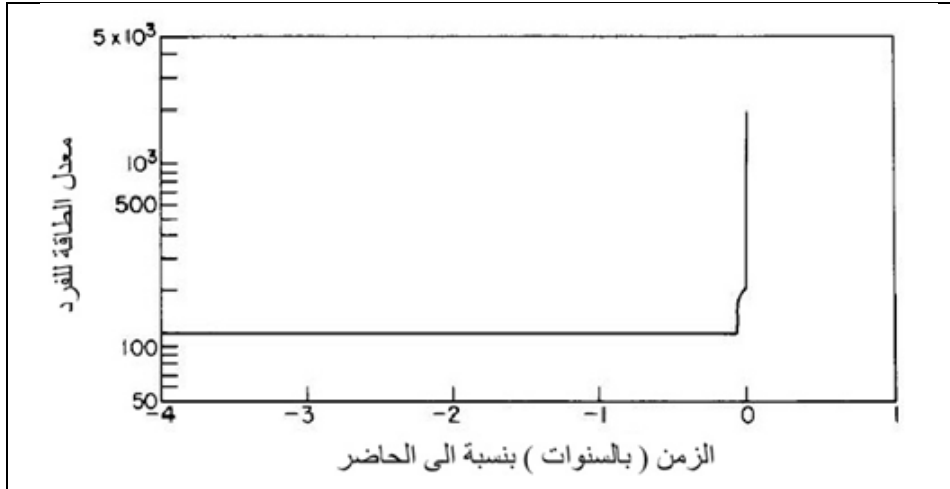
انطوى بناء المنازل في حالات كثيرة على خلق مناخ داخلي مطلوب بالاستفادة من الطاقة الشمسية. في المناطق ذات خطوط العرض المنخفضة، تم استخدام هياكل (تراكيب) ذات قدرات حرارية عالية من أجل تقليل تباينات درجة حرارة النهار-إلى-الليل، وفي حالات كثيرة بُنيت البيوت تحت الأرض جزئياً، وأُستخدم تبخر رطوبة التربة لخلق بيئات باردة للعيش (خلال الأزمنة الحارة) وتخزين المواد الغذائية. في المناطق ذات مناخ أبرد، أُستخدم عدد من مواد البناء العازلة (مثل السقوف المصنوعة من القش) لخفض مفاوئد الحرارة، ويزيد الإنتاج الحراري الذي لايشمل الحرائق عن طريق حفظ الثروة الحيوانية داخل المنطقة السكنية للمنازل، وذلك للاستفادة من إطلاقها للحرارة التنفسية.

أدت طواحين الماء وطواحين الهواء مثل نوع **panemone** ذا المحور العمودي الذي أُشتق على الأرجح من النواعير، أو نوع الجناح الشراعي المستنسخ افتراضاً عن السفن الشراعية أيضاً دوراً من مرحلة معينة في التطور. كان أول ذكر للطواحين الهوائية في الاستخدام الفعلي من الهند قبل حوالي ٢٤٠٠ سنة مضت. بالنظر الى كفاءتها المنخفضة وحجمها الإجمالي، فإنه من غير المحتمل ان تكون طاقة الرياح في أي وقت قد شكلت نسبة كبيرة من متوسط استخدام الطاقة. من ناحية أخرى، عرضت طواحين الهواء وطواحين المياه البديل الوحيد للطاقة العضلية بالنسبة للطاقة الميكانيكية ذات الجودة العالية (أي منخفضة القصور الحراري)، لغاية اختراع المحرك البخاري.

رُبطت الثورة الصناعية قبل ٢٠٠-٣٠٠ سنة مضت بوضع مقادير من الطاقة القادرة على إنتاج عمل يفوق قوته العضلية تحت تصرف الإنسان. مع ذلك، في ذلك الوقت كان الحطب بالكاد من الموارد المتجددة في المناطق المتقدمة في العالم، على الرغم من البرامج المكثفة نوعاً ما لزراعة غابات جديدة لتعويضها للاستخدام. إن الزيادة في استخدام الطاقة تحققت بفضل عدم التعجيل بالتصنيع المتنامي، بالتالي، قبل أن تصبح مقادير كبيرة من الفحم متاحة كوقود. في القرن

الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة

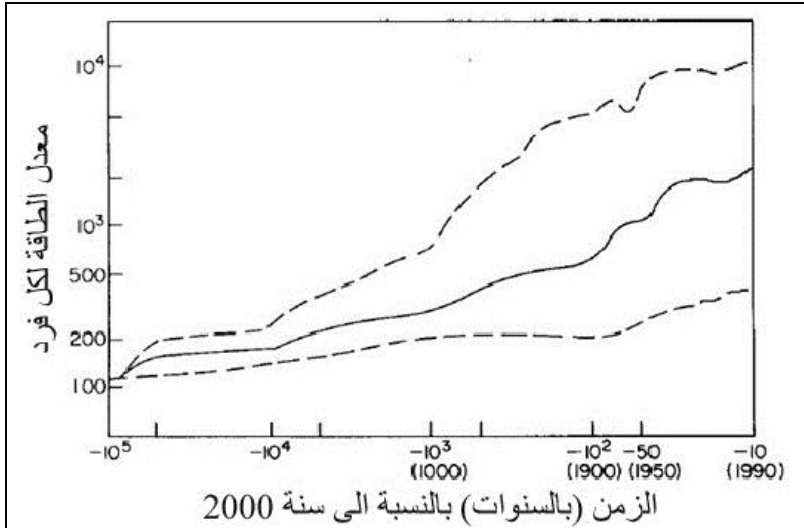
العشرين، تحقق نمو كبير في استهلاك الطاقة بفضل توافر الوقود الأحفوري الباهظ الثمن: الفحم والغاز الطبيعي والنفط.



الشكل (١-١٥): الاتجاهات في متوسط معدل تحويل الطاقة لكل فرد، غير شامل التدفقات المرتبطة بالبيئة الحرارية المحلية.

تقدم الأشكال من (١-١٥) إلى (١-١٧) مخططاً تفصيلياً للتطور المحتمل في استخدام الطاقة حتى الوقت الحاضر. فقط على مدى القرن الماضي أو القرنين الماضيين تم تسجيل بيانات موثوقة في جميع أنحاء العالم عن استخدام الطاقة، وحتى بالنسبة لهذه المدة تشمل بصورة رئيسة الاستخدام المباشر للوقود التجاري، مستكملة مع معلومات ناقصة عن الكتلة الحيوية ومصادر الطاقة المتجددة الأخرى. يكمن أحد الأسباب وراء هذا هو أن من الصعب تحديد استخدام الطاقة المتبقية، وذلك لأن على سبيل المثال لا تكون المُجمعات الشمسية عادةً مرصودة ومراقبة فردياً، ولا تكتم الكتلة الحيوية المحلية في وحدات الطاقة، تختلف المكاسب الحرارية البيئية من يوم إلى آخر، وهلم جراً. في الأشكال من ١-١٥ إلى ١-١٧، التي تكون على أية حال بيانية فقط، يتم شمول الوقود من حيث قيمة طاقتها الإجمالية، بشكل مستقل عن كفاءة الاستخدام النهائي. يُعطى استخدام تدفقات الطاقة المتجددة، من ناحية أخرى، كصافي طاقة مقدّر في مرحلة التحويل الابتدائية، أي الطاقة في تناول الطعام بدلاً من المقدار الكلي للطاقة التي تمتصها النباتات أو الكتلة الحيوية الكلية للنباتات والحيوانات. تم استبعاد إسهام الطاقة البيئية في الحفاظ

على درجة حرارة جسم الإنسان فضلاً عن تنظيم المناخ الداخلي عن طريق اختيار المواد ونظم البناء ("منظومات الطاقة السلبية").



الشكل (١-١٦): الاتجاهات في متوسط معدل الطاقة بالنسبة لعدد السنوات.

(الخط الصلب) تحويل الطاقة للفرد الواحد، غير شامل التدفقات المرتبطة بالبيئة الحرارية المحلية كما الشكل (١-١) نفسه، لكن على مقياس زمني لوجاريتمي) تؤشر الخطوط المتقطعة الاتجاهات المتطابقة للمجتمعات، التي تمتلك في زمن معين أعلى وأدنى متوسط استخدام الطاقة. مؤخراً جداً، أُستخدمت البيانات من دارمستادر Darmstadter وآخرون (١٩٧١) والمفوضية الأوروبية بشكل ممهّد.

يبين الشكل (١-١٥) الاتجاه في متوسط معدل تحويل الطاقة للفرد الواحد، على مقياس الزمن الخطي، والشكل (١-١٦) يبين الاتجاه نفسه على مقياس الزمن اللوغاريتمي، ممتداً باتجاه الوراء من عام ٢٠٠٠. يؤشر الشكل (١-١٦) أيضاً الانتشار المقدّر في استخدام الطاقة، مع المنحنى العلوي يمثل المجتمعات ذات استخدام الطاقة الأعلى، في وقت مفترض، والمنحنى السفلي يمثل المجتمعات ذات استخدام الطاقة الأدنى. لاتمثل هذه المنحنيات، التي لاتعكس أية درجة كبيرة للدقة، حدوداً صارمة، وقد تكون القيم خارج الفاصل الزمني بالتأكيد مناسبة لأفراد مجتمع مفترض - الأغنياء جداً أو الفقراء جداً.

أُتخذ معدل تحويل الطاقة المناظرة في الغذاء فقط بأنه 125 واط على طول الفاصل الزمني. ارتبطت الزيادة في استخدام الطاقة من حوالي 10^5 سنة بالولوج إلى النار. يعتمد مقدار الطاقة المستمد من النيران على ما إذا كانت النيران مستخدمة فقط للطهي أو للتدفئة أيضاً. يقع اختيار المنحنى المتوسط أيضاً على افتراض أن بين 7×10^4 - 10^4 سنة (أي خلال العصر الجليدي الأخير) حوالي نصف سكان العالم يستخدمون النيران لأغراض التدفئة.

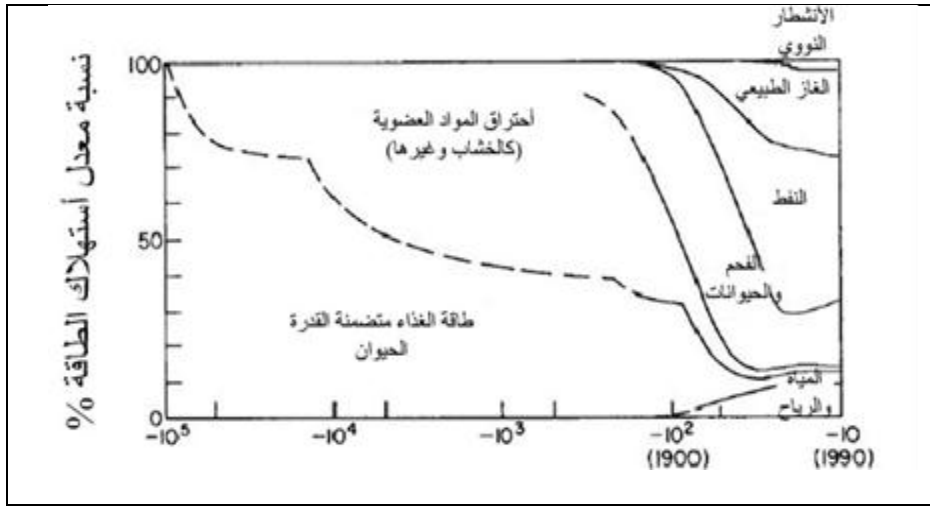
في الفاصل الزمني 10^4 إلى 10^3 سنة، تطورت المستوطنات البشرية إلى مجموعة متنوعة من المجتمعات، التي يمتلك بعضها درجة عالية جداً من التنظيم والتحضر. ارتبطت الزيادة في استخدام الطاقة بصورة رئيسة بممارسات تدفئة وطهي نظامية أكثر، بإنتاج الأدوات (مثلاً الأسلحة) وبوسائل النقل (على سبيل المثال عن طريق ركوب الحيوانات أو عن طريق حيوانات الجر). مع زيادة الكثافة السكانية، ينبغي نقل المواد التي كانت متوفرة سابقاً في البيئات الطبيعية المحيطة المباشرة من أماكن بعيدة، أو تصنيع البدائل؛ في كلتا الحالتين، لا بد من صرف طاقة إضافية. في العديد من المجتمعات المعنية، تم تنفيذ العمل الميكانيكي ليس فقط عن طريق الحيوانات بل أيضاً عن طريق العبيد من البشر، حتى يكون متوسط استخدام الطاقة لكل فرد أقل تأثيراً. تعكس اتجاهات المنحنيات أيضاً الاختلافات في التطور الذي يميز مناطق جغرافية مختلفة. بالتزامن مع أوج الحضارات في بلاد ما بين النهرين وفي مصر، دخلت أوروبا الشمالية وأمريكا الشمالية العصر الحجري الحديث، مع ظروف مناخية دافئة مختلفة نوعاً ما عن تلك التي لعدة آلاف من السنين السابقة.

خلال الـ ١٠٠٠ سنة الماضية، يُعزى استخدام الطاقة المتزايد جزئياً إلى التغير في التوزيع السكاني نحو خطوط عرض أعلى، وإلى متطلبات متزايدة إجمالاً لتدفئة مكانية في هذه المناطق ("العصر الجليدي الصغير"). ينبغي أيضاً ذكر أن كفاءة تحويل طاقة الحطب (المستكملة بروت الحيوانات وفيما بعد بالبلد أي الخشب نصف المتفحم) إلى حرارة مفيدة للطهو، العمل الحرفي، والمياه الساخنة والتدفئة المكانية كانت واطئة نوعاً ما، على سبيل المثال في أوروبا القرن السادس عشر، لكنها تحسنت تدريجياً عندما اقترب القرن العشرين. خلال المدة ١٥٠٠ - ١٩٠٠، كانت المنحنيات هي نتيجة لهذه الميزة (لاسيما القيمة الأقصى العالية الأولى التي تم بلوغها في المجتمعات الأكثر ثراء) جنباً إلى جنب مع الطلب المتزايد على الطاقة (على سبيل المثال نسب

الفصل الاول: مستقبل ودور الطاقة المتجددة

أكبر من السكان الذين يكتسبون عادات أو أنماط الحياة متطلبة للطاقة، مثل أخذ حمامات ساخنة، وشرب المشروبات الساخنة، غسل الملابس بالماء الساخن، الخ).

إن التطور في القرن الماضي هيمن عليه استهلاك الطاقة في البلدان الصناعية (حرارة العمليات الصناعية، والنقل، ودرجة حرارة الغرفة المتزايدة، والتبريد، والإضاءة، الخ). خلال هذه المدة، يمثل المنحنى العلوي في الشكل ١-١٦ استخدام الطاقة المسرف لمواطن أميركي متوسط، بينما يمثل المنحنى السفلي يمثل متوسط استخدام الطاقة في المناطق الفقيرة من أفريقيا أو الهند، شاملة الوقود غير التجاري مثل روث البقر والخشب الضال (الذي من المعتاد أن يكون غائباً عن الإحصاءات الرسمية، كما لوحظ أول مرة من ماخيجاني، ١٩٧٧).



الشكل (١٧-١): يوضح الزمن (بالسنوات) بالنسبة لسنة ٢٠٠٠

الشكل (١٧-١) الاتجاهات في التوزيع على أنواع مختلفة من موارد الطاقة لمتوسط معدل استخدام الطاقة. تستند المدة الأحداث إلى بيانات منظمة من دارمستاد **Darmstadter** والمفوضية الأوروبية (١٩٩٧)، ويوضح أساس التقديرات المتصلة بمدد سابقة في النص. غني عن القول، إن مثل هذه التقديرات ينبغي أن تُعدّ تجريبية جداً، وإن تعريف متوسط الاستخدام هو نفسه غير مؤكد، لاسيما بالنسبة للمدد الأولى (مثلاً يعتمد إسهام الـ ٢٠٪ من النيران قبل ٥٠٠٠٠ سنة مضت بصورة حساسة على شريحة من سكان العالم الذين يعيشون في مناطق حيث تكون فيها التدفئة المكانية مرغوبة).

في الشكل (١-١٧)، تم محاولة رسم مخطط لتوزيع استهلاك الطاقة على مصادر مختلفة للطاقة. مرة أخرى، أستخدمت البيانات الفعلية فقط للقرن الماضي أو للقرنين الماضيين. يكون شكل المنحنى الذي يصف الحصص المتناقصة لطاقة الغذاء بدءاً من حوالي 10^5 سنة مضت معتمداً مرة أخرى على صورة الثقافات الناشئة والتوزيع الجغرافي للسكان، الميمنة أعلاه. من الواضح، على أية حال، أن أساس الطاقة للمجتمعات البشرية كان مصادر الطاقة المتجددة حتى وقت قريب جداً. سواء أكان كل استخدام الخشب ينبغي أن يُحسب مصدر طاقة متجدد هو أمر قابل للنقاش. تضمنت الممارسة الزراعية الأولى (على سبيل المثال في أوروبا الشمالية) حرق مناطق الغابات لأغراض زراعية، وتكرار العملية في منطقة جديدة بعد بضع سنوات، لما تناقص إنتاج المحاصيل بسبب نقص في المواد المغذية للتربة. نجحت معظم الغابات التي لم تحول إلى أرض زراعية دائمة من هذا الاستغلال، وذلك بسبب الكثافة السكانية المنخفضة واستقرار الترب المتولدة من الرواسب الجليدية. إن الاستخدام المفرط المشابه، أو الرعي المفرط للثروة الحيوانية، سيكون (وحدث بالفعل) كارثياً في المناطق ذات خطوط العرض الدنيا وذات طبقة تربة ضحلة جداً، التي ستأكل ببساطة إذا زال الغطاء النباتي. كان إعادة زرع الغابات عاماً في أوروبا الشمالية خلال القرون القليلة الماضية، لكن الطلب المتزايد بقوة على الخشب خلال القرن الماضي (ليس فقط لأغراض الوقود)، فضلاً عن أعمال البناء المرتبطة بالتحضر، قاد إلى انخفاض فعلي في مساحة الغابات في معظم أنحاء العالم.

من منتصف القرن الـ١٩، زاد الوقود الأحفوري غير المتجدد بسرعة من حصته من استخدام الطاقة الكلي، إلى ٨٠-٩٠% في الوقت الحاضر. في البداية، حل الوقود الأحفوري محل الخشب، لكنه سرعان ما أصبح أساساً للنمو الهائل في استخدام الطاقة، وارتبط بعدد من الأنشطة الجديدة المتطلبية للطاقة. خلال المدة نفسها، ازداد استخدام الطاقة المائية، وتجاوزت طاقة الانشطار النووي مؤخراً مستوى ١٪. لقد توقف النمو نتيجة الحروب وفترات الركود الاقتصادي. تطور الاعتماد الكبير على مصادر الطاقة غير المتجددة على مدى مدة قصيرة جداً من الزمن. إن خلاصة هذا العصر مقارنة بتاريخ الإنسان على وجه الأرض يقف بوضوح على المقياس الخطي المستخدم في الشكل (١-١٥).

(The Energy Future and Role of Renewable Energy)

يبين الشكل (١-١٦) فرقاً كبيراً جداً بين استخدام الطاقة للبلدان الرائدة، بالمقارنة مع الأستخدام للطاقة في البلدان الفقيرة. إن هذه الميزة متغيرة حالياً، بسبب تزايد مستوى التفاعل بين بلدان العالم واصبح كل مواطن في العالم واعٍ لنوع النمط الحياتي "الممكن". مع ذلك، فإن التطور الحالي لا يبدو أنه يشير إلى وجود نسبة متناقصة من استخدام الطاقة لأولئك الذين يستخدمون أقصى طاقة وأولئك الذين يستخدمون أدنى طاقة. ينطبق هذا أيضاً على البضائع الأخرى المتصلة بمستوى المعيشة.

لايدل استخدام الطاقة واستنزاف الموارد بطبيعة الحال على الأهداف الابتدائية لأي مجتمع أو فرد داخل مجتمع ما (مستوى المعيشة والرخاء) على سبيل المثال، يصل متوسط استخدام الأوروبيين أو اليابانيين نحو نصف ما يستهلكه متوسط الأمريكيين الشماليين، لكنهم يمتلكون مستوى معاش ليس أدنى من ذلك الذي لمواطني أمريكا الشمالية. وهذا يؤكد حقيقة أن مستوى المعيشة والرخاء يعتمد على الحصول على معايير ابتدائية (الغذاء، والمأوى، والعلاقات) فضلاً عن معايير ثانوية تفي بالأفضلية الفردية، ويمكن أن يتم بطرق مختلفة مع مضامين مختلفة لاستخدام الطاقة.

لقد تمت مناقشة العلاقة بين الأنشطة الاقتصادية والرفاه الاجتماعي لفترة لا بأس بها من الزمن، وكذلك إمكانية الحدود البدنية على النمو في الاستغلال المادي لموارد كوكب محدود. كان جواب خبراء الاقتصاد التقليديين على هذا النقاش هو أن "ابتكارية الإنسان" سوف تؤدي إلى استبدال المواد المهتدة بالنفاد بأخرى، في عملية دائمة الاستمرار. بادراك محدودية مصادر الوقود الأحفوري والطاقة النووية، يقود هذا إلى التنبؤ العام بأن مصادر الطاقة المتجددة يجب أن تهيمن وتسيطر عند مرحلة معينة، ويكمن النقاش الوحيد حول كيفية حدوث هذا قريباً.

يعتقد معظم الجيولوجيين في الوقت الراهن ان إنتاج النفط والغاز الطبيعي سوف يبلغ الذروة في العقدين القادمين. بعد ذلك لابد للأسعار أن ترتفع، وبالتالي سيسهل إدخال مصادر بديلة للطاقة. بقبول سعر أعلى للطاقة، هذا يعني أيضاً أن الطاقة يجب أن تستخدم بصورة أكفاً، من أجل الحيلولة دون أن تتسبب تكلفة الطاقة الأعلى بإبطاء التطور في رفاهية الإنسان.

يرتبط هذا التطور في استخدام الطاقة بمشكلة أخرى قد تخدم في تسريع تحول الطاقة، أي الوعي المتزايد بالمضامين السلبية للآثار البيئية لإنتاج الطاقة واستخدامها. كان الإنسان الأول قادراً على التسبب في اضطراب البيئة فقط على نطاق محلي للغاية. مع ذلك، قد يكون الحرق المكثف للغابات، على سبيل المثال، لتوفير أرض للزراعة، التي ستُهجر فيما بعد حين يقلل الاستغلال المفرط من غلات المحاصيل أو محاصيل الرعي، مفيداً في تهيئة المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية التي وُجدت في الوقت الحاضر على خطوط العرض المنخفض هذا بالفعل مثال هام عن تغير مناخي محتمل من صنع الإنسان. مؤخراً، وصل الإنسان إلى مستوى تكنولوجي مكّنه من تحويل الطاقة بمعدلات يمكن المحافظة عليها فوق مناطق واسعة والتي لم تعد صغيرة بالمقارنة مع تدفقات الطاقة من منشأ شمسي يكون مسؤولاً عن المناخ.

قدّر متوسط تدفق الحرارة في المتوسط من أصل اصطناعي (أي من الوقود الأحفوري) في منطقة صناعية وحضرية مثل حوض لوس انجلوس (حوالي 10^{10}m^2) في عام ١٩٧٠ بـ ٧ واط/متر^٢. بلغ متوسط القيمة العالمية حوالي ٠,٠١٥ واط/متر^٢ عام ١٩٧٠، ويبلغ متوسط التدفق الشمسي الممتص بواسطة منظومة الغلاف الجوي للأرض ٢٤٠ واط/متر^٢. للمقارنة، سيُطلق حريق غابات، الذي قد يحرق مساحة من الغابات الاستوائية الخصبة في أسبوع واحد، تدفقاً حرارياً يصل إلى حوالي ١٠٠٠ واط/متر^٢. مع هذا يبلغ متوسط تدفق الحرارة من حرائق الغابات في كل المناطق القارية، المتوسط على مدى عدة سنوات، أقل من متوسط تدفق الحرارة الاصطناعية. تبلغ ترسانة الأسلحة النووية المتراكمة خلال السنوات الـ ٥٠ الماضية بين مدى 10^4 – 10^5 ميغاطن، والرقم الأعلى المطابق له هو 4.4×10^{20} جول تقريباً. إن فُجرت هذه الأسلحة في غضون فاصل زمني من ٢٤ ساعة، فسيكون متوسط تدفق الطاقة 5×10^{15} واط، وإن كانت المساحة المستهدفة هي 10^{12} متر^٢، فسيبلغ متوسط التدفق الحراري ٥٠٠٠ واط/متر^٢. لن تكون الآثار المدمرة مقتصرة على تلك المتعلقة بإطلاق (تحرير) الطاقة الفوري. سيسبب التلوث الإشعاعي للبيئة وفاة وازمحلل إضافيان، وسينشئ آليات أخرى لاضطراب مناخي (مثل تدمير درع الأوزون في الغلاف الجوي العلوي)، بالإضافة إلى الصعوبة المقدمة لبقاء الإنسان كونه النوع السائد على كوكبنا.

لقد أقرح أن طاقة الاندماج تشكل بديلاً للطاقة المتجددة كحلٍ طويل الأمد. مع ذلك، ليس من الواضح في الوقت الحاضر ما إذا كانت طاقة الانصهار على الأرض ستصبح مصدراً ممكناً وعملياً لتجهيز الطاقة المنضبطة. ستخلق نفايات نووية بمقادير مشابهة لتلك الخاصة بتكنولوجيات الانشطار، وسوف تقاوم التطور نحو تكنولوجيات لامركزية تميز الاتجاه الحالي. وربما يكون من قبيل المبالغة تصور أن إدخال نوع واحد من تكنولوجيا الطاقة بدلاً من آخر سيقرر أو يحل مثل هذه المشاكل المؤسسية. ما قد يكون صحيحاً، مع ذلك، هو أن أنواعاً معينة من التكنولوجيا تكون أكثر ملائمة للمجتمعات المنظمة بطريقة معينة، وأن نوع التكنولوجيا المتخيل بالارتباط مع استخدام بعض موارد الطاقة المتجددة يتناسب بشكل حسن مع احتياجات المجتمعات المتطورة، واللامركزية معاً التي تركز على تقنية المعلومات ومع احتياجات المناطق الأقل امتيازاً في الوقت الحاضر.

تحتوي أدبيات العلوم والتكنولوجيا على مجموعة من الاقتراحات لمعالجة الطلب على الطاقة في المستقبل. في الماضي، طُورت بعض التقنيات المقدمة بالتالي كونها "ممكنة تقنياً" فعلاً من أجل أن تعيش تجارياً، ولم تطور الأخرى، لمجموعة من الأسباب. انتقلت الطاقة المتجددة على مدى العقود الماضية من مستوى الجدوى الفنية إلى مستوى الإدخال الحذر إلى السوق، وليس آخراً في التخطيط الحكومي الطويل الأمد. أحد أسباب التغلغل البطيء هو استمرار بعض مؤسسات التمويل المؤثرة، بما في ذلك اللجنة الأوروبية، باستخدام جزء كبير من أموالها الـ R&D، فضلاً عن القروض والمساعدات المالية، على الانشطار والاندماج، متجاهلةً عدم جاذبية مشاكل النفايات الإشعاعية على المدى الطويل، وأملاً في الحصول على فوائد الصناعة على المدى القصير تصديراً لتكنولوجيا الانشطار التي عفا عليها الزمن إلى الكتلة الشرقية السابقة والدول النامية. إن كانت الأموال تهدف بنية خالصة إلى انتقال سريع من العصر الأحفوري إلى عصر الطاقة المتجددة، فقد يكون التقدم أسرع بكثير. لقد تجلّى ذلك من خلال عدد من الدراسات الحديثة. ناقش اليوت واليوت (١٩٧٦) وسورنسن (١٩٨٣؛ ٢٠٠١) السؤال العام عن من سيسيطر على تطور التكنولوجيا. خلال العقود الأخيرة، ناصرت عدد من الحركات "الأساسية" استخدام الطاقة المتجددة، ويمكن تأمل أن يتم الحفاظ على هذه التفضيلات بينما يشق ذلك الجيل من الناس طريقه الى مواقع صنع القرار.

تتميز مصادر الطاقة المتجددة نموذجياً بأقصى معدل نظري يمكن عنده استخراج الطاقة بطريقة "متجددة"، أي المعدل الذي عنده تصل الطاقة الجديدة أو تصب في خزانات مرتبطة بالكثير من تدفقات الطاقة المتجددة. في بعض الحالات، ستعدّل الحلقة الإضافية على دورة طاقة متجددة مفترضة، يسببها استخدام الإنسان للمصدر، بنفسها المعدل الذي عنده تصل الطاقة الجديدة (على سبيل المثال، قد يبدل استخدام الاختلافات في درجات الحرارة في المحيطات معدلات تبخر السطح وسرع تيارات المحيطات، وفي كلتا الحالتين قد تصبح آليات إنشاء الاختلافات في درجات الحرارة متغيرة). إن تدفق الطاقة الحرارية الأرضية من باطن الأرض ليس مورداً متجدداً، طالما إن الجزء الرئيسي للتدفق مرتبط بتبريد الباطن. من ناحية أخرى، إن الجزء المفقود من الحرارة في كل سنة صغير جداً (2.4×10^{-10}) جول، لذا لأغراض عملية تسلك الطاقة الحرارية الأرضية سلوك مورد متجدد. فقط في حالة الاستغلال المفرط، التي ميّزت بعض المشاريع البخارية الحرارية الأرضية، فإن التجديد غير مضمون.

الفصل الثاني مصادر الطاقة Energy Resources

١-٢ : المقدمة (Introduction)

الطاقة هي مفتاح النمو الاقتصادي، اذ توجد علاقة وثيقة بين توفير الطاقة والنمو المستقبلي للامم. ففي دول العالم، كلما زاد أنتاج الطاقة، تبقى الحاجة مستمرة الى زيادة أنتاجها نتيجة للنمو والتطور الاقتصادي والحضاري المعتمد على توفر الطاقة.

أن التلوث البيئي الناتج، عن استثمار الطاقة بالطرق التقليدية، والتقديرات حول نفاذ الطاقة البترولية في العالم، مما دفع الأمم إلى التفكير الجدي، بمصادر الطاقة المتجددة. وهي الطاقة الناتجة من المصادر المتجددة، مثل الشمس، الرياح، والمواد العضوية، وهذه المصادر توجد بشكل ثابت ودائم بصورة طبيعيه، فالطاقة المتجددة تعني بينه نظيفه وتجهيز محلي أكثر استقراراً في المستقبل ولا تسبب اي تلوث او ضوضاء. وتصنف مصادرها في العالم الى:-
أ- الطاقة المستديمة التقليدية:- مثل الطاقة المتولدة من السدود(طاقة المياه)، والمحطات الكهرومائية والمحطات النووية.

ب-الطاقة المتجددة:- مثل طاقة الشمس، الرياح، المد والجزر.

ج- الطاقة البديلة التقليدية:- الطاقة الناتجة من حرق الخشب وبقايا المحاصيل، فضلات الحيوانات، الهيدروجين.

د- الطاقة البديلة المتجددة الناتجة من طاقة الكتلة الحيوية (Bio mass) مثل:-

١- الوقود الصلب الحيوي Biofuel.

٢- الوقود الغازي الحيوي Biogas.

٣- الوقود السائل (الديزل) الحيوي Biodiesel.

الفصل الثاني : مصادر الطاقة

ان الطاقة المتجدده ستهيمن على نظام الطاقة، في المستوطنات البشرية على الارض، ما يقارب ١٠٠%. من خلال ملائمتها للمسار البيئي الاخضر، توفر الطاقة المتجددة حاليا ما يقارب ٢٥% من الاستهلاك العالمي للطاقة، يتم الحصول عليها من قنوات متعددة منها:

اولاً: طاقة الكتلة الحيوية. الناتجة من المحاصيل الغذائية او من مخلفاتها.

ثانياً: الطاقة المائية التي تعتبر مصدر كبير ولكن استخدامه محدود نتيجة القيود البيئية المحدودة في العديد من المواقع ذات الموارد المائية المحدودة.

ثالثاً: الطاقة الشمسية التي تعتبر مفتاح الطاقة المستقبلية في جميع انحاء العالم ولكنها لاتزال على مستوى واطى من الاحتراق للاسواق العالمية بسبب قلة كفاءة الخلايا الشمسية نوعا ما.

رابعاً: طاقة الرياح التي هي مصدر جيد للطاقة وتتمو سريعا في كثير من انحاء العالم ففي الدنمارك ٢٠% من اجمالي الكهرباء يتم الحصول عليه من طاقة الرياح. ان نمو استهلاك الطاقة رافق المجتمعات البشرية وحسب مراحل تطورها؛ الجدول (٢-١) والجدول (٢-٢) يبين ان الطلب المتزايد على استهلاك الطاقة للفرد خلال مراحل تطور المجتمع.

جدول (٢-١): يمثل نمو استهلاك الفرد للطاقة حسب تطور المجتمع.

مرا حل تطور المجتمع	كيلو غرام فحم حجري الاستهلاك اليومي للفرد
البدائي	٠,٣
الاقطاعي	٠,٧
الزراعي البدائي	١,٨
الزراعي المتطور	٢,٨
الصناعي	١١,٢
المتطور تكنولوجيا	٣٣,٣

الفصل الثاني : مصادر الطاقة

إن المصادر القديمة للطاقة (الوقود الاحفوري) لاتزال تسيطر على الأسواق العالمية ولكن طريق نضوبها القريب والصراعات العالمية المتكررة بسبب عدم تطابق توفرها جغرافيا وأنماط الطلب المتزايد على الطاقة وعدم كفاية المصادر القديمة دفع العالم إلى التفكير الجدي باستخدام الطاقة المتجددة، وإجراء البحوث والدراسات للاستغلال الأمثل لها. وقد اظهرت بعض الاحصائيات مقدار استهلاك الطاقة في دول العالم حسب تطورها وكما موضحة في الجدول (٢-٢).

الجدول (٢-٢): يبين مقدار استهلاك الطاقة في المجتمعات حسب تطورها.

نوع الوقود	الدول النامية	الدول المتطورة	الدول الصناعي
١- الغاز الطبيعي	١٧,٤ %	٢٢,٧ %	٧,١ %
٢- الطاقة النووية	٤,١ %	٥,٩ %	٥,١ %
٣- الطاقة الهيدروجينية	٥,٥ %	٥,٧ %	٥,١ %
٤- الطاقة الحيوية	١٤,٧ %	٢,٨ %	٣٨,٠١ %
٥- النفط	٣٤,١ %	٣٨,٣ %	٢٥,٨ %
٦- الفحم	٢٤,١ %	٢٤,٥ %	٣٣,٩ %

تبين الاحصائيات العالمية أن الطاقة الحيوية هي المصدر المميز حاليا في التجهيز بالطاقة ويظهر في ذلك أن تنامي استخدام الطاقة المتجددة في نظام الطاقة الدولي يزداد وبصورة مستمرة. والشكل (١-٢) يبين توزيع مصادر الطاقة في العالم.



شكل (١-٢): يبين توزيع مصادر الطاقة في العالم.

أن الدول المتقدمة تبني سياسة لتجهيز الطاقة اللازمة باقل الكلف، وتحقيق الاكتفاء الذاتي وحماية البيئة من التأثيرات العكسية بأستخدام مصادر الطاقة النظيفة وبطريقة قانونية مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الآتية :-

- ١- ادارة وحفظ الطاقة بالاعتماد على الطاقة النظيفة لحماية البيئة.
- ٢- الاستخدام الامثل للطاقة وفق سياقات وضوابط محددة لذلك.
- ٣- أستثمار وتنمية المصادر المتجددة لتلبية متطلبات الطاقة للمجتمعات الريفية والمدنية.
- ٤- تكثيف المصادر وأنشطة التنمية للمصادر الجديدة او المتجددة.
- ٥- تنظيم تدريب الاشخاص النوعي الذي يجمع بين المستويات المختلفة في القطاعات للتوعية بالاستغلال الامثل للطاقة.
- ٦- إجراء البحوث والدراسات لتطوير تقنية إنتاج الطاقة لتقليل كلف إنتاج ونقل و خزن الطاقة المتجددة.

٢-٢: تصنيف مصادر الطاقة (Classification of Energy Resources)

تتضمن الانواع الآتية :-

اولاً- الوقود التجاري (Commercial Fuel) مثل:-

أ- النفط Petroleum

النفط سائل قابل للاشتعال يتكون بصورة رئيسية من الهيدروكربونات (٩٠ - ٩٨%) والبقية من مركبات عضوية تحتوي على الاوكسجين والنايتروجين والكبريت والقليل جدا من المركبات المعدنية العضوية ويستخدم النفط ومنتجاته بصورة رئيسية كقوة محركة وكمواد تشحيم وكمصدر للمركبات الخام التي يصنع منها مختلف المواد الكيميائية التي تحتاجها الصناعات المختلفة.

النفط الخام يرتبط وجوده بصورة رئيسية في الصخور الرسوبية التي تعود الى العصور الجيولوجية Mesozoic وال Tertiary التي كانت تتواجد تحت البحار الضحلة.

أن الاحتياط العالمي الموثق من النفط يقدر ب ٧. ٩٩٩. مليار برميل يستخرج منه سنويا حوالي ١٩-٢٢ مليار برميل سنويا وعند المقارنة بين هذين العاملين (الاحتياطي والانتاج) فان احتياطي النفط العالمي سوف ينفذ بعد ٤٥ سنة.

ب- الفحم Coal

هو المصدر الرئيسي للطاقة ويشكل ٩٧% من متطلبات الطاقة التجارية للدول ولا يمكن الاستغناء عنه في الصناعات الكيماوية والتعدينية، ان الطاقة الحرارية الناتجة من الفحم الردي تمثل ٥٢% من مجموع القدرة المولدة، يصنف الفحم على أساس الوجود النسبي للكربون والرطوبة والمواد المتطايرة فيصنف من الرتب العالية الى الرتب الواطئة:-

• Anthracite

• Bituminous

• Scenic Bituminous

• Lignite or brown coal

ويصنف كذلك حسب النسبة المئوية من المادة المتطايرة في نوعين:

- فحم منخفض التطاير: وهذا الفحم يحتوي على نسبة مئوية منخفضة من المادة المتطايرة اذ ان المحتوى الرطوبي منخفض نسبيا ويتراوح من ٢٠ الى ٣٠ ويعرف بـ **Cooking coal** (فحم الكوك) وهذه الانواع من الفحم يتميز بصفات تحول جيدة اذ ان محتواها من الرماد اكثر من ٢٤% ويستخدم عادة في أغراض التعدين.
- فحم عالي التطاير: يحتوي هذا النوع من الفحم أكثر من ٣٠% من المواد المتطايرة وحوالي ١٠% من الرطوبة ويحترق تلقائيا ويعد ملائما وبشكل اساسي لتوليد البخار المعروف بأسم **Non-cooking** ويستخدم في صناعات التسخين الحراري وتوليد البخار في محطات الطاقة الكهربائية الحرارية وفي المحركات البخارية وفي الصناعات الكيماوية او كوقود محلي.

ج- الغاز الطبيعي (Natural Gas)

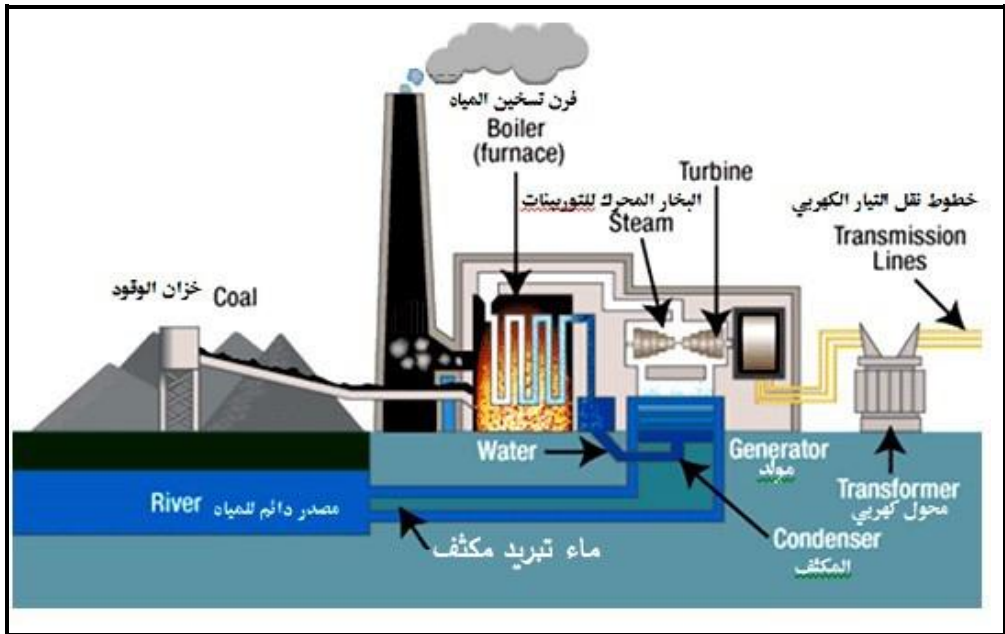
يتواجد الغاز الطبيعي لوحدة أو مع النفط الخام لكن معظمه يستخرج مع النفط، تتواجد احتياطات الغاز في مناطق مختلفة وخاصة حقول النفط. يعد الغاز هبة كريمة فهو يستخدم كمصدر للطاقة في محطات الكهرباء الحرارية وكذلك في مصانع البتروكيماوية، المعتمدة على الغاز تستغرق فترة زمنية اقل من نصيراتها من محطات الطاقة الكهربائية، اما في الزراعة فلها القدرة على زيادة انتاجها من خلال انشاء معامل الاسمدة التي يعتمد تشغيلها على الغاز ويزداد استخدام

الغاز بسبب سهولة نقله من مكان الى آخر بواسطة الانابيب لذلك تاخذ السلطات المسؤولية على عاتقها نقل ومعاملة وتسويق الغاز وخاصة أنشاء انابيب لنقله.

د- القدرة الحرارية (Thermal Power)

ان القدرة الحرارية المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية المولدة سواء مائية او حرارية او نووية تعد الاسهل بالاضافة الى استخداماتها المتعددة. تستهلك الصناعة منها ٥٠% من مجموع الاستهلاك والزراعة ٢٥% والبقية تستخدم للنقل والقطاعات المحلية الاخرى. ان انتاج الطاقة الكهربائية يتم بواسطة المحطات البخارية والغازية والكهرومائية والنووية. كما موضح في الشكل

(٢-٢)



شكل (٢-٢): يوضح مكونات احدى المحطات البخارية الشائعة لتوليد الطاقة الكهربائية.

هـ- الطاقة النووية (Nuclear Energy)

عبر العلامة اينشتاين عن العلاقة بين الكتلة والطاقة بمعادلته التالية :

$$E = MC^2 \quad \dots (1-2)$$

حيث ان E تمثل الطاقة و m تمثل الكتلة و c تمثل سرعة الضوء في الفراغ (3×10^5 كم/ثا).
توضح معادلة اينشتاين ان كتلة الجسم هي مقياس لطاقته الفعلية وكل جسم يملك طاقة هائلة حتى في حالة السكون وتزداد اثناء الحركة. تبين هذه المعادلة امكانية تحرير كميات هائلة من الطاقة عند التعامل مع المواد ففي التفاعلات النووية تتحرر طاقة اكثر من 10 مرة من تلك الطاقة المتولدة في التفاعلات الكيميائية. من هذا المبدء بنى مصمموا محطات توليد الطاقة الكهربائية باعتماد الوقود النووي مصدر لتشغيل محطات الكهرو نووية بدلا من الانواع الاخرى من الوقود المستخدم في بناء محطات توليد الطاقة الكهربائية:- تصنف المحطات النووية الى:-

١. مفاعلات ثابتة كمحطات توليد الطاقة الكهربائية ويبين الشكل (٢-٣) مخطط لهذا النوع من المفاعلات
٢. مفاعلات تسير وسائل النقل مثل القطارات والغواصات والبواخر وغيرها.
٣. المفاعلات المتنقلة والتي يمكن فك اجزاءها الى قطع صغيرة يمكن حملها بالطائرات واعادة نصبها في الاماكن كالقواعد الحربية.
٤. أن اولى مفاعلات توليد الطاقة تم انتاجها تجاريا في الولايات المتحدة الامريكية وهي المفاعلات الحرارية واستخدم فيها الماء الاعتيادي كمهدء للنيوترونات والتبريد ولعكس النيوترونات التي تحاول ترك قلب المفاعل ويستخدم في الوقت الحاضر نوعان من المفاعلات التي يستخدم فيها الماء الاعتيادي.
٥. مفاعلات الماء المضغوط.
٦. مفاعلات الماء المغلي.

تستخدم مفاعلات الطاقة في انتاج الكهرباء وانتاج الحرارة فالمفاعل النووي هو مصنع تتم فيه السيطرة على التفاعل النووي الانشطاري المتسلسل. عند انشطار نواة وقود نووي قابل للانشطار مثل (اليورانيوم والبلوتونيوم ... الخ) لتوليد نيوترونات جديدة حرة تسبب انشطارافي نويات جديدة وهكذا تستمر عملية التفاعل المتسلسل مولدة حرارة عالية مما يجعل المفاعل له

مجال اساسي في انتاج الطاقة. تستغل المفاعلات حاليا بصورة رئيسية لانتاج الكهرباء والمواد القابلة لانشطار ففي المفاعلات النووية تنشط نوى المواد النووية كنظير اليورانيوم (235) او نظير البلوتونيوم (239) او نظير اليورانيوم (233) بواسطة النيوترونات وتكرر هذه العملية بفعل انشطار نووي اخر من النظير المستخدم بواسطة النيوترونات المتولدة اثناء للانشطار مكونة التفاعلات المتسلسلة ونتيجة لذلك تنتج كمية كبيرة من الحرارة ثم تنتقل بواسطة مادة مبردة الى مبادلات حرارية يتم خلالها تبادل حرارة على جانبي المبادل بين الوسط البارد لاختذ الحرارة من الوقود وبين الماء تحت ظروف معينة من ضغط وحرارة وبهذا تتحول الطاقة الحرارية الى طاقة كامنة في الماء او البخار ومن ثم ينقل البخار الى توربينات تحرك مولدات كهربائية تحول الطاقة الحركية الى طاقة كهربائية. يتكون مفاعلات الطاقة من المكونات الاساسية الاتية:-

- قلب المفاعل المتكون من الوقود وقضبان السيطرة.
- الدورة الاولى وتحتوي على المادة المبردة والناقلة للحرارة المتولدة في الوقود.
- الدورة الثانية التي تكسب الحرارة من الدورة الاولى خلال المبادلات الحرارية.
- توربينات بخارية، مولدات كهربائية ومجموعة كبيرة ومتطورة من المضخات والانابيب ذات المواصفات العالية.
- منظومة سيطرة تتحكم بجميع فعاليات المحطة.

ان وقود المفاعلات النووية عبارة عن مواد نووية قابلة للانشطار لذا تعطى اهمية خاصة لكيفية ايقاف عمل الوقود او السيطرة عليه عند الحاجة بحيث يمنع في اي لحظة ارتفاع درجة حرارة الوقود اعلى من الحرارة التصميمية اعتمادا على متطلبات امان خاصة وعالية الدقة في هذا المجال. ان الاختلاف بين المحطات الحرارية والغازية والنووية هو فقط مصدر الحرارة المستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية كما موضح في الشكل (2-3). ان الجدول (2-3) يبين عدد المحطات لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة النووية .

الفصل الثاني : مصادر الطاقة

جدول رقم (٢-٣): يوضح عدد المفاعلات النووية وطاقاتها بلميكاوات لبعض دول العالم لعام ١٩٨٠.

الملاحظات	مجموع المفاعلات		الدولة	ت
	الطاقه بالميكوات	العدد		
	١٠١١٩٩	١١٦	امريكا	١
	٩٣٢٥	١٩	روسيا	٢
	١٤٦٢٥	٢١	اليابان	٣
	١٠٥٢٠	٢٧	المملكة المتحدة	٤
	١٠٧٢٢	٢١	المانيا	٥
	١٦٥٢٣	٢٥	فرنسا	٦
	٧٣٤٩	١٠	السويد	٧
	٦٦٩٦	١٢	كندا	٨
	٦٥١٣	٩	اسبانيا	٩
	١٩٦٢	٤	سويسرا	١٠
	١٧٦	٤	بلغاريا	١١
	٣٥٦٠	٥	بلجيكا	١٢
	١٦٨٤	٨	الهند	١٣
	١٣٨٧	٤	ايطاليا	١٤
	٥٠٣	٢	هولندا	١٥
	٩١٩	٢	الارجنتين	١٦
	١٤٣٠	٤	تشيك وسلوفاكيا	١٧
	١٥٠٠	٣	فنلندا	١٨
	١٧٩٨	٣	كوريا	١٩
	٤٩٢٤	٦	تايوان	٢٠
	١٢٥	١	باكستان	٢١
	٦٩٢	١	النمسا	٢٢
	١٨٧١	٢	البرازيل	٢٣
	١٧٦٠	٤	هنكارييا	٢٤
	٢٤٠٠	٢	ايران	٢٥

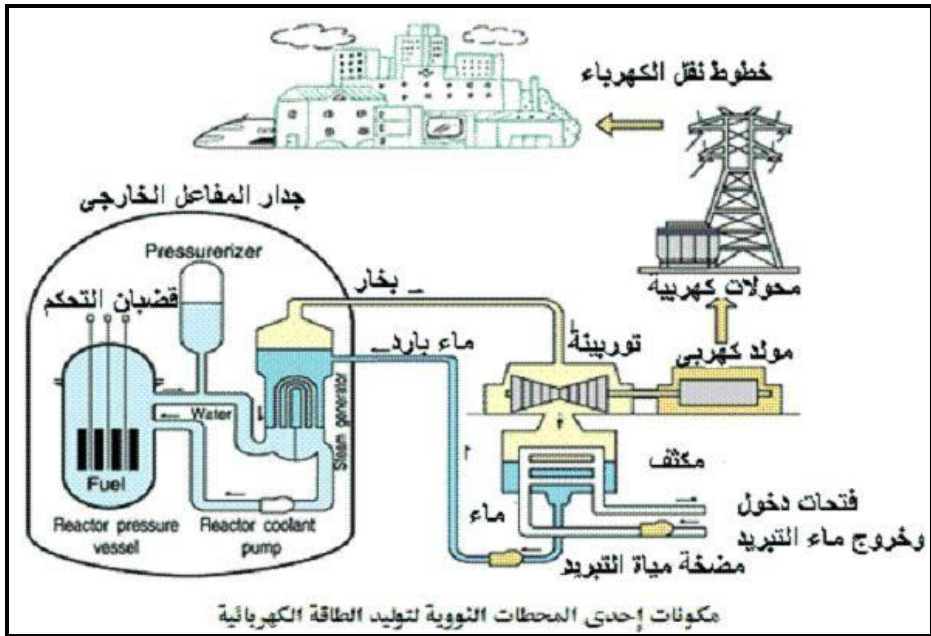
الفصل الثاني : مصادر الطاقة

كيف تعمل محطات توليد الكهرباء من الطاقة النووية تشبه المحطة النووية. في الكثير من مكوناتها، المحطات البخارية التقليدية، التي تنتج الطاقة من حرق أنواع الوقود الاحفوري، ولكن الاختلاف الأساسي في الآتي:-

١ . طريقة توليد الحرارة اللازمة لتكوين البخار.

٢ . التحكم في توليد الحرارة.

٣ . إجراءات الأمن ضد الإشعاعات.



شكل (٢-٣): مكونات إحدى المحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية.

و- الطاقة المائية (Hydro power)

تشغل المياه السطحية مساحات واسعة على شكل بخار وانهار ومسطحات مائية ويمكن استخدامها كمصدر للطاقة الرخيصة والنظيفة لانتاج الكهرباء كما في الشكل (٢-٤) أن مشاريع الطاقة المائية لا تتوفر فقط توليد طاقة رخيصة بل تعد طاقة متجددة وغير مستنفذة، ان مشاريع الطاقة المائية ذات تكاليف صيانة وتوليد منخفضة.



شكل رقم (٢-٤): يمثل سد لمحطة كهرومائية.

ثانياً: الوقود غير التجاري (Non-Commercial Fuel)

تستخدم مناطق كثيرة في العالم الاخشاب والفضلات الحيوانية لتوليد الطاقة من خلال حرقها واستخدامها للتدفئة والطبخ ولاغراض اخرى ولكنها قليلة التداول تجارياً.

٢-٣ : مصادر الطاقة المتجددة (Renewable Energy)

يقصد بها المصادر الطبيعية التي لا تستنفذ والتي يمكن ان تستخدم لانتاج الطاقة بشكل متكرر مثل الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، طاقة المد والجزر، طاقة المياه، الطاقة الحيوية وطاقة الحرارة الجوفية

٢-٣-١: الطاقة الحرارية للشمس (Solar Thermal Energy)

الاشعاعات التي تصل الارض من الشمس تتضمن طاقة حرارية. تعتبر الشمس هي مصدر للعديد من الطاقات ويعتقد ان ١,٥ ٪ من ٧٥٠٠٠ KWH من الطاقة الشمسية التي تصل الى الارض كافية لتلبية احتياجات كوكب الارض من الطاقة. تستخدم الطاقة الشمسية بثلاثة طرق:-

- تحويلها الى طاقة حرارية.

- تحويلها الى كهرباء.

- التركيب الضوئي Photosynthesis.

يمكن الحصول على الطاقة الحرارية من الشمس باستخدام المجمع الشمسي Solar collector والتطبيقات الأخرى التي تحتاج الى طاقة حرارية واطئة الدرجة، اصبحت

هذه التطبيقات في الوقت الحاضر تجارية وتشمل الطباخات الشمسية، التسخين الشمسي للمياه، التسخين الشمسي للهواء، تجفيف المحاصيل، التبريد بالثلجات، ضخ المياه تقطير المياه، ولايزال العمل بتطور لتطبيقات تستخدم فيها الحرارة العالية باستخدام مجمعات شمسية قابلة للاستخدام. تعد الانظمة الحرارية الشمسية اليوم مصدراً لتلبية احتياجات الطاقة حرارية مضافة عند درجات حرارية مختلفة تتراوح من ٦٠-٣٨٠ درجة مئوية لمختلف التطبيقات المحلية والصناعية ومن ضمنها توليد الطاقة الكهربائية.

٢-٣-٢: الخلايا الضوئية الشمسية ((Solar Photo Voltaic (SPV))

يتم توليد الكهرباء بواسطة الخلايا الضوئية الشمسية (SPV) مباشرة من الطاقة الشمسية وذلك عندما يسقط الضوء على معدن معين كالسليكون عندئذ تتهيج وتتأين الكترونات المعدن وتنتقل الى معدن اخر ويسري تيار الكتروني يحمل اقل كهربائية يمكن استخدامها تتهيج الألكترونات في المعدن وتحاول الهروب بعد ذلك تتجمع على معدن اخر ومن ثم تنتقل بواسطة اسلاك الى الاستعمال. الالكترونات الجارية في الاسلاك تمثل تيار كهربائي متولد من الخلية الشمسية (Solar cell).

هذه الانظمة التي تستخدم الطاقة الشمسية مرغوبة لوجود الاشعة الشمسية وتعتبر تطبيقات مهمة لتوليد الطاقة الكهربائية. ان سهولة التشيد والصيانة وعدم وجود الضوضاء والتلوث وطول فترة تشغيلها كلها تجعل ال SPV مفضلة باستخدامها في الاماكن البعيدة والمعزولة عن المدن كالغابات والمناطق الجبلية والصحراوية.

العائق الرئيسي في انتشار SPV هي الكلفة العالية وخاصة رقائق السليكون العالية الثمن لكن استطاعت الشركات العالمية من صناعتها كسليكون متبلور وغيرمتبلور. وهناك بحوث ودراسات مستمرة لتقليل الكلف.

٢-٣-٣: التركيب الضوئي (Photosynthesis)

ظاهرة التحويل الكيميائي لثاني اوكسيد الكربون والماء الى سكريات بوجود ضوء الشمس والكلورفيل في النباتات وهي من اكفا الطرق في الطبيعة في تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة مخزونة والتي تحصل في الاشنات والنباتات المتطورة وفي وقت قصير عند توفر الظروف المثلى وعند شدة ضوء قليلة اذ ان ٣٠% من الضوء الممتص من قبل النبات يتحول الى طاقة كيميائية.

٢-٣-٤ : طاقة الرياح (Wind Energy)

اظهرت الرياح بانها أكثر المصادر قدرّة على انتاج الطاقة البديلة وتساعد في ردم الفجوة بين الطلب والعرض، تعتبر الرياح طاقة متحركة بحركة كتل هوائية كبيرة متسببة عن التسخين المختلف للمحيط بواسطة الشمس، هذه الطاقة ممكن ان تستخدم لانجاز العمل الميكانيكي والكهربائي التي يستفاد منها لرفع المياه من الابار والضخ المباشر للمياه.

تطورت منظومات طاقة الرياح أما بنصب وحدات بشكل منفرد او بشكل مجموعة وحدات مرتبة من التوربينات في حقول الرياح وذلك لتوفير طاقة كبيرة لشبكة الكهرباء كما موضحة في الشكل (٢-٥) أول حقل رياح اسيوي تم أنشائه في منطقة كوجرات، واكبر حقل رياح في آسيا انشأ في منطقة Tamil Nadu لأنتاج 150 MW.

تكون الرياح في المناطق الساحلية قوية نسبياً مقارنة بالرياح على الارض وبالتالي ممكن تسخيرها كمصدر للطاقة. تنتج العديد من الدول الطاقة بهذه الطريقة ولكن من مشاكلها هو تعرضها للعواصف القوية.



شكل (٢-٥): يمثل مزرعة طاقة رياح.

٢-٣-٥ : طاقة موجات المد الجزر (Tidal and Wave Energy)

تتولد طاقة الموجات باستمرار من ارتفاع وانخفاض الموجة او من الجريان المنظم لمد وجزر المياه الناتج عن جاذبية الشمس والقمر وخاصة عندما يكون الفرق بين المد المنخفض والعالي كبير جدا والتي يمكن تسخيرها لتوليد الكهرباء بتشغيل التوربينات بالماء ويمكن ان، تمتد طاقة الموجات الى مسافة ٦٠٠٠ كم على السواحل الهندية والتي تقدر طاقتها ٤٠٠٠٠ MW وخاصة عند البحر العربي وخليج البنغال التي تعد مناطق جيدة للحصول على طاقة الموجات طاقة

الموجات طاقة متجددة وغير ملوثة ولكنها مكلفة وأول مصنع هندي لتوليد الطاقة يعتمد على اساس طاقة الموجات بسعة (150 MW) كما طورت احدى المنظمات السويدية تكنولوجيا طاقة البحار بتسخير طاقة الموجات التي اعتمدت من قبل الهند بإنشائها مصنع لطاقة الموجات سعة (1 MW) على شواطئ الجزر.

٢-٣-٦: طاقة حرارة الارض (Geothermal Energy)

طاقة حرارة الارض هي تلك الطاقة الناتجة من عمليات طبيعية تحصل في الارض، المصدر الرئيسي لهذه الطاقة (بشكل حرارة) هي الصخور المتوهجه أو المصهورة تحت الارض التي تسمى الـ Magma، ممكن الاستفادة منها للتسخين وتوليد الطاقة الكهربائية من البخار الطبيعي، تضخ المياه الحارة من خلال ضخه بالصخور الجافة الموجودة في قشرة الارض ومن خلال حقله يمر الماء بين مفاصل الصخور الحارة بعد ذلك يرتفع الماء الى السطح ومن خلال بئر أسترجاع، هذا الماء من الممكن تحويله الى بخار من خلال المبادل الحراري. يمر البخار الجاف على توربينات لانتاج الكهرباء. حوالي ١٠% من سطح الارض توفر هذه الحرارة الموجودة داخلها. المصادر الاكثر قدرة هي البراكين والينابيع الحارة ولكن هناك مناطق اخرى عندها الحرارة ممكن توليدها تحت ظروف مسيطر عليها.

في الهند يوجد ٣٤٠ ينبوع معدل درجة حرارتها بين ٨٠-١٠٠ درجة مئوية تم تشخيصها كمصدر قدرة كامنة لطاقة حرارة الارض، استخدام طاقة حرارة الارض في تسخين الفضائات وتسخين البيوت الزجاجية ومشاريع زراعة الفطر (المشروم) وحقول الدواجن.

٢-٣-٧: مولدات القدرة الهيدروليكية المغناطيسية

Magneto Hydrodynamic Power Generator (MHD)

تعتمد مولدات القدرة الهيدروليكية المغناطيسية (MHD) على مبدأ تحويل الطاقة الحرارية مباشرة الى كهرباء. في حين ان الطاقة الحرارية للمحطات الكهربائية التقليدية تحول اولاً الى طاقة ميكانيكية التي بدورها تحول الى طاقة كهربائية ان توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الحرارية بأستخدام تكنولوجيا الـ MHD تشمل التوسع في الغاز الموصل كهربائياً والاكثر حرارة عكس القوة التي تعقب حقل مغناطيسي قوي لانتاج القدرة الكهربائية مباشرة وهكذا في الـ MHD التوربينات والمولدات توجد سوية في وحدة واحدة بدون تحريك الاجزاء.

البحوث مستمرة لتصميم مصانع أكبر تنتج طاقة كهربائية رخيصة وغير ملوثة وتشتغل بكفاءة أكبر مقارنة بالفحم والمصانع النووية.

٢-٣-٨: تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات (Ocean Thermal Energy Conversion)

طاقة المحيطات والبحار ممكن الحصول عليها بعدة طرق مثل:-

تحويل الطاقة الحرارية للمحيط Ocean thermal Energy وذلك بالاستفادة من الاختلاف بدرجة حرارة سطح البحر مع تلك على عمق ١٠٠٠ م أو أكثر لاستخراج الطاقة وهذه ممكن الاستفادة منها لتشغيل التوربينات لتوليد الكهرباء، في المناطق الاستوائية كالهند التدرج في البحر تقدر بحوالي ٢٥ درجة مئوية ومن اهم المعوقات لهذه الطريقة هو الكلفة العالية وكذلك عقبات تشغيلية غير متوقعة بالاضافة الى كفاءة التشغيل.

٢-٤: الطاقة الحيوية الجديدة (Bio-energy)

وهي الطاقة الناتجة من الانظمة الحيوية فهي تنتج اما مباشرة من الكتلة الحيوية Biomass او تحويلها الى وقود سائل او غازي كالغاز الحيوي Biogas. وتحتل الكتلة الحيوية مكاناً سائداً كمصدر للطاقة في بعض دول العالم وخاصة في المناطق الريفية وتعرف الكتلة الحيوية على انها المادة او متبقيات المستخدمة لانتاج الطاقة المتجددة مثل الخشب، الحشائش، الحبوب، الاعشاب في المراعي، أنصال قصب السكر كما موضح في الشكل (٢-٦) هي مصادر رئيسية للكتلة الحيوية و تصنف الى ما يلي:-

١. مواد المخلفات الزراعية (الغابات والنفايات البلدية).

٢. تنمية محاصيل الطاقة والتي تشمل زراعة الغابات بالدورات القصيرة.

لانتاج الطاقه من الكتله الحيويه تم تطوير أنظمة لتحويل الغاز، وهذه الانظمة أو الاجهزة تحول النفايات الكتليه والبقايا الزراعيه الى طاقه من خلال التحول الى الغاز او الحرق، كما تستخدم الكتل الحيوية في إنتاج الوقود السائل (لأغراض النقل) مثل الايثانول (Ethanol) والميثانول (Methanol) أو إنتاج الوقود الصلب من خلال الفضلات الزراعية الى أقراص مكبوسة Pellets أو قوالب Briquettes. يتم تحويل الزيوت النباتيه الى زيت الديزل لذلك يمكن استخدامها كبدايل أو مضافات الى زيت الديزل، ولكن وجود اللزوجة العاليه والكاربون كبقايا قد تؤدي الى مشاكل في المكائن وخروج دخان ثقيل منها، وللتغلب على هذه

العقبات وضعت الدول بعض الحلول منها: جعل العلماء مكائن الديزل ثابتة الحرارة وأسترة الزيوت النباتية بالميثانول أو الايثانول فمثلا أتخذت الهدد عدد من الاجراءات لرفع الطاقة المتحولة من الكتلة الحيوية:-

والطاقة الحيوية هي الطاقة الناتجة من الانظمه الحيوية فهي تنتج أما مباشرة من الكتلة الحيوية **Biomass** أو تحويلها الى وقود سائل **Bio-fuel** أو غازي **Biogases** أو زيت الديزل الحيوي **Bio-diesel**.

٢-٤-١: طاقة الغاز الحيوي (Bio Energy)

الغاز الحيوي هو خليط من محتويات مختلفة فهو يتركب من ٦٠% غاز الميثان (وقود عالي القيمة) و ٤٠% اوكسيد الكربون (كغاز شامل) وبعض الغازات الاخرى القليلة من النايتروجين وسلفات الهيدروجين، ممكن ان ينتج الغاز من عملية التخمير اللاهوائية للفضلات العضوية الطبيعية والتي قد تكون:-

١. روث الابقار وبراز الحيوانات
٢. براز الانسان
٣. الفضلات الزراعية كالعش، النباتات، الاوراق، الاشنات والادغال المائية.
٤. الفضلات الصناعية التي تحتوي على السليلوز كالحل المقطر، فضلات المدايع ومصانع الاغذية ومطاحن الورق ... الخ كما موضح في الشكل (٢-٦).

عادة ينتج الغاز الحيوي من روث الابقار بواسطة مصانع تسمى مصانع غاز **Gobar** وذلك بعملية التخمير اللاهوائية وعند انتاج الغاز الحيوي من هذه المواد فالمتبقي منها لاتهمل وانما هو عبارة عن مخلفات طينية رقيقة القوام غنية بمحتواها بالاكسجين والفسفور والبوتاسيوم. الغاز الحيوي نظيف ورخيص وهو وقود مريح للطبخ ويمكن ان يستخدم لاغراض الاضاءة وتشغيل المحركات الصغيرة المستخدمة للرفع وكذلك تجهيز الطاقة في المصانع وله فوائد اخرى للعوائل الريفية فأن الغاز يُعني النساء والاطفال من محنة جمع وتحميل حزم ثقيلة من وقود الحطب على رؤوسهم كما يضع هذا الغاز نهاية للدخان المتصاعد من الحطب والذي يسبب مشاكل للعيون والرئة كما يوفر وقت للطبخ وغسل الاواني وادوات المطبخ وتقليل قطع الاشجار.

٢-٤-٢: الوقود الحيوي الصلب (Bio-solid fuel)

الوقود الحيوي الصلب، ينتج من بقايا الحيوانات والنباتات الميتة والمتوفرة من زمن بعيد، ويختلف عن الوقود الاحفوري (Fossil-fuel) المتولد من مخلفات المواد العضوية المتوفرة من مدة طويلة.

فالوقود الحيوي ينتج نظريا من الكائنات الحية Biological أو من مصادر المواد العضوية والكاربونية مثل معظم النباتات التي تقوم بعملية التركيب الضوئي أو النباتات المنتجة لمواد مثل رقائق الخشب والقمامة التي بصورة رئيسية تقوم بأعادة الكربون الى الجو أو أكثر من الوقود الاحفوري، لان النباتات التي تستعمل في انتاج الوقود نأخذ أكاسيد النتروجين من الجو.

٢-٤-٣: وقود الديزل الحيوي (السائل) (Biodiesel)

هناك محاولات لتطوير وقود بديل للديزل والمحركات لتقليل الاستهلاك لمحدودية المصادر ولتقليل التبادل التجاري ومن هذه البدائل هو الغاز الطبيعي المضغوط Compressed Natural Gas (CNG) ولاستخدام الغاز الطبيعي المضغوط كوقود للمركبات يضغط الغاز الطبيعي بـ أكثر من ١٦٠-٢٠٠ من الضغط الجوي ويخزن في اسطوانات تحمل بالمركبات لتحريك المحركات بشرارة القدح ويشيد عليها مجموعة معدات تحوير وتحويل لاستخدام الغاز بدل النفط. تقلل المحولات من الضغط المسلط على الغاز الى تحت الضغط الجوي ومن ثم تغذية المحرك من خلال صمام سيطرة ومبخره Carburettor وذلك بالضغط على دواصة الوقود في المحرك من مزيج الهواء والغاز يتم اشعالها بشمعات القدح، في محركات الديزل وعند بداية تشغيلها يستخدم الوقود بكميات قليلة لحين أستقرارها وعند حركة المركبة يستفاد من CNG أتوماتيكياً من فوائد الـCNG يتضمن تقليل الاشتعال الساطع (المتوهج) وكذلك عدم وجود انبعاثات مؤذية وادخار للطاقة، CNG كوقود محتمل يستخدم الان في إيطاليا والارجنتين ونيوزلندا والولايات المتحدة وكندا وفي الهند.



شكل(٢-٦): يمثل بعض مواد طاقة الكتلة الحيوية.

(Energy from Industrial and Urban Wastes)

تنتج كميات ضخمة من النفايات الصناعية والبلدية والريفية في العالم وترمى في البيئة مع معاملتها قليلا او بدون معاملة مما ينتج منها تلوث البيئة، تتحلل النفايات في الطبيعة وينتج عنها غاز الميثان في الجو. ممكن ان تستخدم هذه النفايات كمصدر كبير لتوليد الطاقة، تتبنى دول العالم برامج معاملة النفايات بشكل مناسب واستثمار طاقتها بواسطة معامل حرق فضلات الريف الصلبة وتحويل الحرارة الى كهرباء منها يوميا او استخلاص الوقود السائل منها.

٢-٦ : التطور المستقبلي للطاقة المتجددة (Future Energy Development)

ان تطور الطاقة المتجددة يعني العمل على اساس المشاريع التطبيقية الواسعه وليست مجرد البحوث الاكاديمية أو عملية ذات المجالات المتجددة والمبنية على اساس القدرات الحقيقية التقنية المتاحة في البلد وليست مجرد الامكانات العلمية المجردة ويمكن تقسيمها الى:-
١- القدرات النظرية: كل القدرات المتاحة التي يمكن تسخيرها واستثمارها في بحوث الطاقة المتجددة.

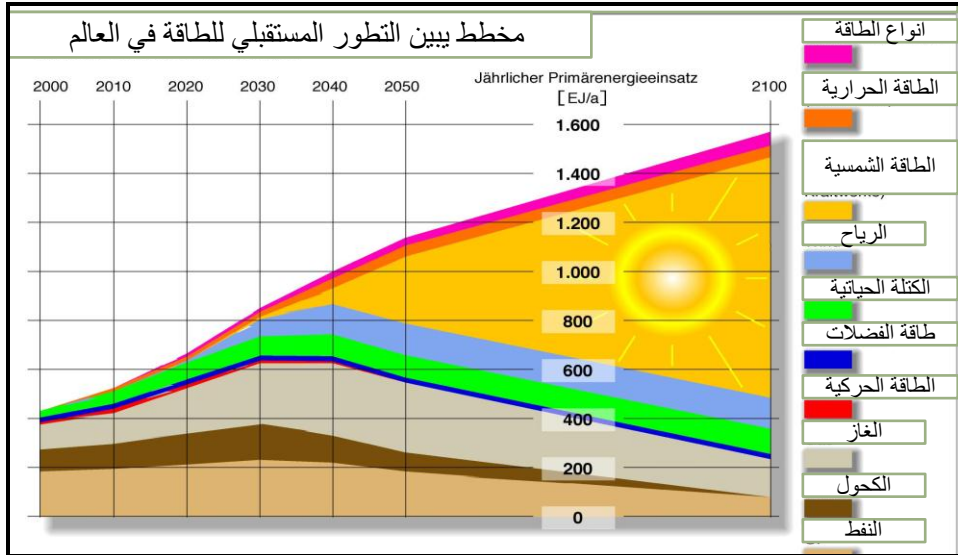
٢- القدرات التقنية: كل القدرات المتاحة التي يمكن توظيف التقنيات الممكنة لاستثمارها.

٣- القدرات الاقتصادية: كل القدرات المتاحة التي يمكن توظيف التقنيات الممكنة لاستثمارها وتوجد تخصيصات مالية تكفي بذلك.

من الشكل (٢-٧) يظهر ان الطاقة المتجددة ستفرض هيمنتها في الاسواق العالمية على الطاقة التقليدية حيث يبين المخطط اعلاه نمو الطاقة المتجددة المتزايد مع ضمور لمصادر الطاقة التقليدية للاسباب الآتية:-

- الطاقة المتجددة تحافظ على البيئة من التلوث.
- مصادرها متوفرة وغير مكلفة.
- يمكن ان تلبى حاجات المناطق البعيدة والنائية بالطاقة الكهربائية والتي يصعب تجهيزها من الشبكات الكهربائية.

الفصل الثاني : مصادر الطاقة



شكل (٢-٧): يبين التطور المستقبلي للطاقة في العالم لغاية عام ٢٠٣٠.

الفصل الثالث الخلايا الشمسية Solar Cells

٣-١ : المقدمة (Introduction)

بسبب المخزون المحدود من الوقود الاحفوري والنووي، يمكن لمصادر الطاقة المتجددة ان تلعب دوراً رئيسياً في تزويد العالم بالطاقة في المستقبل. ومن بين مصادر الطاقة المتجددة الكامنة هي التحويل المباشر لأشعة الشمس إلى كهرباء و ضمان سد الحاجة. يمكن للخلايا الشمسية ان تزود أنظمة الطاقة بمستويات طاقة مختلفة من الملي وات إلى الميغا وات. إن الخلايا الشمسية هي عبارة عن محولات فولت ضوئية تقوم بتحويل ضوء الشمس المباشر إلى كهرباء، وهي نباض شبه موصلة وحساسة ضوئياً ومحاطة بغلاف أمامي وخلفي موصل للكهرباء. تعتمد على التأثير الضوئي (Photovoltaic Effect) في تشغيلها، تعمل الخلايا الشمسية عن طريق تحويل شعاع الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام الخصائص الالكترونية لفئة من المواد تسمى بأشباه الموصلات. من بعض أسباب الاهتمام العالمي بالبحث في الخلايا الضوئية هو الآتي:

- أ. أنها طاقة طويلة الأمد ذات مخزون كامن كبير وموجودة في جميع أنحاء الأرض تقريباً.
- ب. بسبب سواد الطبيعة الريفية و الزراعية في البلدان النامية فان الطاقة الشمسية واعدة جداً لتوفير أنظمة لا تعتمد على الطاقة التقليدية. بالإضافة إلى كل ذلك إن معظم البلدان النامية تقع على خط شعاع الشمس للأرض. حوالي ٤٠% من سكان العالم يعيشون في قرى تلك البلدان حيث تعتبر الطاقة أمر مهم.
- ج. من المتوقع إن تتوسع في السنوات القادمة استهلاك الطاقة في كل من البلدان النامية و المتقدمة. ولكن سؤال واحد مهم يبقى وهو: هل من الممكن الزيادة في استهلاك الطاقة من دون التأثير على بنية الخلايا الضوئية (photovoltaic) والتي تحول طاقة الفوتونات بواسطة تكنولوجيا الحالة الصلبة و من ثم تتحول إلى كهرباء يمكن إن تسهم بشكل أساسي في تلبية الاحتياجات من الطاقة. ولكن من سلبيات الخلايا الضوئية هي أنها مكلفة وتعتمد

على تطور التكنولوجيا. هنالك في الواقع طريقتان لاستغلال الطاقة الشمسية بواسطة التقنيات المتاحة في وقتنا الحاضر.

الطريقة الأولى، وهي الطريقة المستخدمة بصورة واسعة في العالم، وتتم بتحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة تتراكم في الماء أو في أوساط أخرى ناقلة للحرارة لغرض تسخين الماء وتدفئة البيوت الزراعية والوحدات الصناعية. وتكون مجمعات الطاقة ذات درجات حرارة منخفضة وتحتوي على مستقبلات ذات أسطح زجاجية. إن الأشعة الشمسية تمر بسهولة من خلال سطح المستقبل الزجاجي إلى جسم المجمع، الذي يتم فيه امتصاص الحرارة لتسخين مادة موجودة في داخل أنابيب. ولذلك فإن درجة الحرارة تكون مرتفعة بشكل ملحوظ في داخله عما هي عليه في الهواء الخارجي. وتسمى تلك الظاهرة بظاهرة الاحتباس الحراري.

إن البيوت الزجاجية الزراعية تعد تطبيقاً بسيطاً لخلايا تجميع الأشعة الشمسية. وفي الخلايا المستوية لتجميع الطاقة، تتسخن المادة الفعالة لتصل إلى درجة حرارة ٢٠٠ درجة مئوية. وباستخدام مواد وطلاءات خاصة يمكن أن تصل درجة الحرارة لغاية (٥٤٠-٠) درجة مئوية. ولغرض توليد الطاقة الكهربائية بطريقة غير مباشرة يمكننا استخدام ما تسمى بخلايا الطاقة الشمسية عالية الحرارة تتألف من أسطح جمع أكبر حجماً في مكان عمل صغير. حيث يتكون داخلها في البداية بخار يقوم بتدوير توربين بخاري مرتبط بمولد لتوليد الطاقة الكهربائية.

أما الطريقة الثانية فهي تتم بتحويل طاقة أشعة الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية. وتستخدم لهذا الغرض بطاريات شمسية تعمل على أساس مبدأ الظاهرة الكهروحرارية أو الكهروضوئية. وقد تم لهذا الغرض تطوير العديد من الخلايا الشمسية للمستهلكات الصغيرة مثل الحاسبات وساعات التوقيت الكهربائية وبعض وحدات الإنارة. ومع هذا، يجري النظر في إنشاء محطات توليد كهربائية في المناطق التي تتركز فيها أشعة الشمس بشكل كبير على الأرض وفي الفضاء الخارجي.

أما الخلايا الكهروحرارية فتقوم على أساس الظاهرة التي اكتشفها ووثقها لأول مرة عالم الفيزياء الألماني سيبك (Seebeck) في العام ١٨٢١. وتتلخص تلك الظاهرة بتسخين معدنين مختلفين عند نقطة إتصالهما، يتولد فرق جهد كهروحراري ما بين النهايات الحرة. وبتوصيل تلك النهايات الحرة مع بعضها، يمر في الدائرة تيار كهروحراري. وقد تم مؤخراً تطبيق هذه النظرية في

تجهيز الأقمار الصناعية بالطاقة اللازمة لها. والشكل (٣-١) يوضح التصميم الأساسي للخلية الكهروحرارية. ويتم حساب قيمة الجهد الكهربائي لها باستخدام المعادلة التالية:

$$U_T = \alpha \Delta T \quad \dots (1-3)$$

حيث α يمثل معامل سببيك الذي يعتمد على نوع المعادن الموصولة مع بعضها، و ΔT يمثل الفرق في درجة الحرارة بين الطرفين الساخن والبارد للخلية الكهر وحرارية.

ومن المواد المناسبة لصناعة الخلايا الكهر وحرارية هي أنتيمونات الزنك، سبيكة التيلوريوم واليزموث، سبيكة الأنثيمون، الإنديوم والسيلكون، الكوبالت والمنغنيز. ويتم تسخين الخلايا الكهروحرارية بعدة طرق، بإشعال الوقود التقليدي، أو بالحرارة الناتجة عن تحليل بعض العناصر المشعة، وفي حالتنا هذه باستخدام الطاقة الشمسية المركزة.

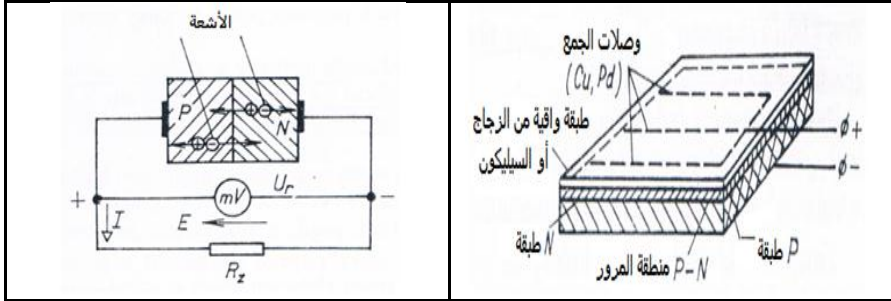
أما بالنسبة للخلايا الكهروضوئية، فتقوم على أساس الظاهرة الكهروضوئية الداخلية الموجودة في أشباه الموصلات. فمثلاً، لو كان لدينا دايود شبه موصل يعمل على أساس مبدأ الاشعاع بطول موجي معين، فعند توصيل المادتين شبه الموصلتين الموجبة P والسالبة N مع بعضها سيتولد على منطقة إتصال هاتين المادتين مانع جهدي مع فرق جهد بقيمة عدة أعشار من الفولت، وينشأ في منطقة المرور مجال كهروستاتيكي، يقوم بإعاقة حركة غالبية نواقل الشحنات من خلال تلك المنطقة. وعند التوصيل الخارجي لطرفي الدايدود (N و P) لا يمر تيار في الدائرة الكهربائية، لعدم وجود الطاقة التي تقوم بتحريكه. يمر التيار فقط عندما يسقط الضوء على منطقة المرور. وتكون طاقة الفوتون كافية لتولد أزواج من نواقل الشحنات، والتي هي عبارة عن إلكترون \ominus وفجوة \oplus .

وهذه النواقل القليلة الناتجة عبارة عن الكترونات \ominus في الجزء الموجب P وفجوات \oplus في القسم السالب N ، تمر من خلال منطقة المرور، التي ستكون مفتوحة بالنسبة لتلك النواقل. في هذه الحالة سيكتسب الجزء الموجب P شحنة موجبةً وذلك بفقدانه لإلكتروناته \ominus ، أما الجزء السالب N فسيفقد فجواته \oplus وبذلك سيكتسب جهداً سالباً.

إن الجهد الكهروضوئي U_r الناتج هنا سيقوم بتنحيز مرور التيار في الدائرة الكهربائية الخارجية. وإن مصدر الطاقة لهذه الدائرة إذن هو الأشعة الكهرومغناطيسية الملائمة الساقطة على

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

منطقة المرور. يوضح الشكل (٣-١). مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية المستخدمة في البطاريات الشمسية. والشكل (٣-١). تبين التركيب العملي للخلية السيليكونية الكهروضوئية.

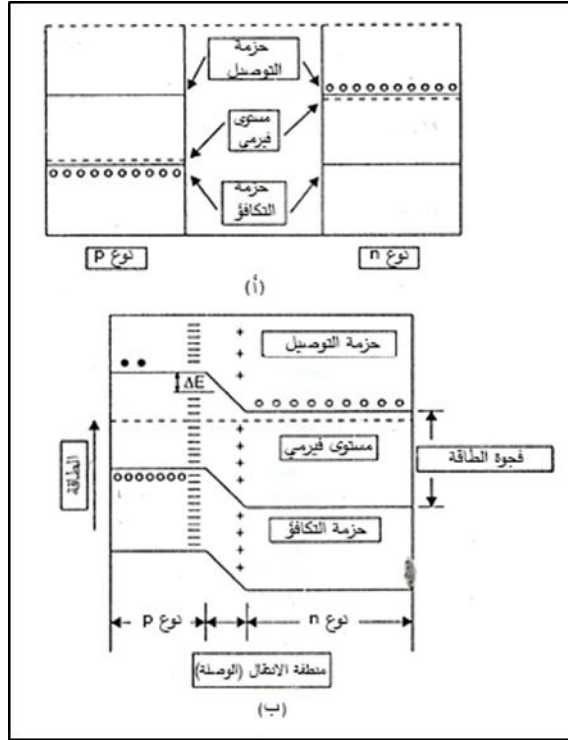


شكل (٣-١): مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية

شكل (٣-١): التركيب العملي للخلية السيليكونية الكهروضوئية

٢-٣: التأثير الكهروضوئي (Photovoltaic Effect)

ان الوصلة الثنائية (Junction) المتكونة من نوع P-Type ونوع N-Type لأشباه الموصلات المستعملة في تصنيع خلية ضوئية (Photovoltaic) يمكن ان تكون هذه الوصلة (P-n) من خلال نمو بلورة أحادية لشبه موصل، يكون جزء منه p-Type والجزء الأخر n-Type كما موضح في الشكل (٣-٢). يمثل مخطط حزمة طاقة لصمام ثنائي القطبية لنوع p-Type ونوع n-Type لبلورات قبل الاتصال مع مستوى طاقة الفجوة المحظورة (Fermi level). كما موضح في شكل (٣-٢). وعند ربط بلورتان سوية شكل (٣-٢). تنتشر الإلكترونات من الجانب (N-Side) إلى الجانب (P-Side) متحدة مع الفجوات الحرة (free Holes). وبنفس الوقت تنتشر الفجوات الموجبة من الجانب (P-Side) إلى الجانب (N-Side) متحدة مع الإلكترونات الحرة.



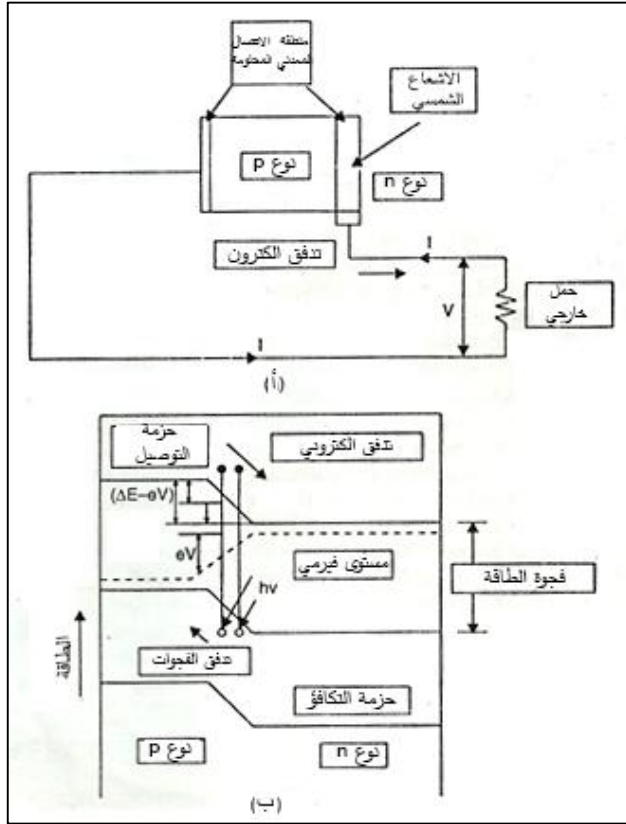
الشكل (٣-٢): مخطط يوضح حزمة طاقة لوصلة (p - n Junction)

(أ) نوع الوصلة p-n

(ب) مناطق الانتقال

إن انتشار الالكترونات الحرة يترك شحنات موجبة خالصة في الجانب (N - side) في حين إن انتشار الفجوات الحرة يترك شحنات سالبة في الجانب (p-side). إن توزيع الشحنة بهذا الشكل يولد زيادة في المجال الكهربائي وفرق جهد خلال الوصلة (Junction). أن فرق الجهد المتكون في منطقة الاتصال يساوي (ΔE) يزداد هذا المقدار مسببا إيقاف إي انتشار لحاملات الشحنة (Charge-Carriers). إن جهد الاتصال يسبب إزاحة مستوى الطاقة في الجانب (P-side) إلى الأعلى وإزاحة الجانب (N- side) إلى الأسفل وبهذا يكون مستوى طاقة الثغرة المحظورة (Fermi-level) لكلا جانبي الحاجز (الحاجز الجهدي) او جعلها تصل إلى حالة التوازن كما موضح في الشكل ٣-٣ مخطط لحزمة طاقة الصمام في حالة شرط التوازن النهائي وغياب مصدر الطاقة الخارجي.

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية



الشكل (3-3): يمثل تشغيل وصلة خلية ضوئية (أ) مخطط وصلة (P-n) (ب)-مخطط مستوى الطاقة.

عندما تكون طاقة الإشعاع الشمسي الكهرومغناطيسي ($h\nu$) أكبر من طاقة الفجوة المحظورة (E_g) تتولد وصلة (P-N). إن الإلكترونات التوصيل تحتاج إلى طاقة كافية للقفز إلى حزمة التوصيل مما يسبب في إنتاج زوج (الإلكترون - فجوة). إن عمل الوصلة يؤدي إلى فصل الأزواج فالإلكترونات تتراح من الفجوة المحظورة إلى الأعلى في الجانب (P-Side) والفجوات إلى الأسفل في الجانب (N-side) مما يسبب حدوث حالة توازن هو للفصل بين الأزواج: فالإلكترونات تمر عبر الحاجز الجهدي وإلى جانب (N) حيث يتم الوصول إلى حالة توازن نهائي عبر الوصلة خلال نقطة الاتصال مسببا ظهور فرق جهد. يدعى ذلك بفولتية الدائرة المفتوحة (V) والتي هي دالة شدة الإشعاع الساقط.

إذا تم إيصال الوصلة بواسطة سلك خارجي مع إهمال المقاومة الداخلية فإن أشعة الشمس الساقطة تولد زوج من إلكترون - فجوة وتجبرها على الانفصال والمرور عبر الجهد التام للحاجز. إن تيار الدائرة القصيرة الذي ينتشر في هذه الحالة هو أيضا دالة إلى شدة الإشعاع الساقط. في شكل (3-3) إن الوصلة (P-N) تكون تحت تأثير الإشعاع. إن أزواج الإلكترون- الفجوة المتولدة تؤخذ إلى دائرة خارجية للاستخدامات المفيدة. في الدائرة الخارجية يجب الحصول على فرق جهد، و مقاومة وطاقة تعادل إلى (V) لمرور التيار. ان فرق الجهد المطلوب مع طاقة تعادل (ev) الكترون فولت واحد يتم الحصول عليه بواسطة اختلاف في مستويات طاقة المنع (Fermi) من جانبي الحاجز ألجهدى للوصلة. إن هذا الحاجز ألجهدى على جانبي الوصلة يقل إلى (ΔE - eV) حيث إن ΔE هو الحاجز الأقصر الأقرب. بما إن الحاجز الجهدى قد تم تقليله فان الرابط غير فاعل ألان في فصل أزواج الكترون - فجوة المتولدة من الطاقة الشمسية نتيجة لذلك فان بعض حاملات الشحنة يمكن إن تعبر الحاجز بالاتجاه الخاطى مما يسبب تسرب في الوصلة (Junction)، وكذلك يقلل في تيار الحمل (I) المار خلال الحمل.

3-3: تيار الوصلة (Junction Current (I_j))

تيار الوصلة (I_j) هو تدفق التيار الخالص من الجانب (P-type) إلى الجانب (N-type) لناقلات الشحنة. إن الناقلات الثانوية -الأقلية- (الإلكترونات في الجانب p والفجوة في الجانب N) تتمكن من عبور الوصلة بسهولة لان الإلكترونات تميل الذهاب إلى الأسفل والفجوة تميل الذهاب إلى اعلى الحاجز. معظم الناقلات الأساسية لا يمكنها عبور الوصلة ما لم تمتلك الطاقة لعبور الحاجز (ΔE - eV). إن الناقلات تميل لامتلاك توزيع ماكسويل، إن الجزء من غالبية الناقلات تنجح في تكوين دالة $\exp \frac{-(\Delta E - eV)}{KT}$ حيث إن K هي ثابت بولتزمان و T هو درجة الحرارة المطلقة. لاشتقاق معادلة كثافة التيار (J) نقوم بالافتراضات التالية:-

$$I_1 = K_1 n_1$$

حيث ان:-

$$I_2 = k_2 n_2 \exp \frac{-(\Delta E - eV)}{KT}$$

$$I_3 = \exp \frac{-(\Delta E - eV)}{KT}$$

$$I_4 = k_4 n_4$$

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

حيث أن k_1, k_2, k_3, k_4 ثوابت. سريان التيار الخالص من جانب (p) الى الجانب-(N) يمكن ان يحسب كالتالي:

$$I_J = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$= (k_3 n_3 + k_2 n_2) + (k_4 n_4 + k_1 n_1) \exp - (\Delta E - eV) / kT \quad \dots (1-3)$$

معادلة رقم ١ صحيحة عندما تكون الوصلة في توازن ولا يوجد إضاءة ($0 = V$ و $0 = I_J$) ألآن لدينا:

$$-(k_1 n_1 + k_4 n_4) + (k_2 n_2 + k_3 n_3) \exp - (\Delta E / kT) \quad \dots (2-3)$$

المعادلة رقم (١-٣) تكون صحيحة عندما تكون قيمة (V) سالبة. وعندما تكون قيمة

(V) سالبة وبمقدار كبير فان الجزء الثاني من المعادلة رقم (١-٣) يهمل ويصبح لدينا

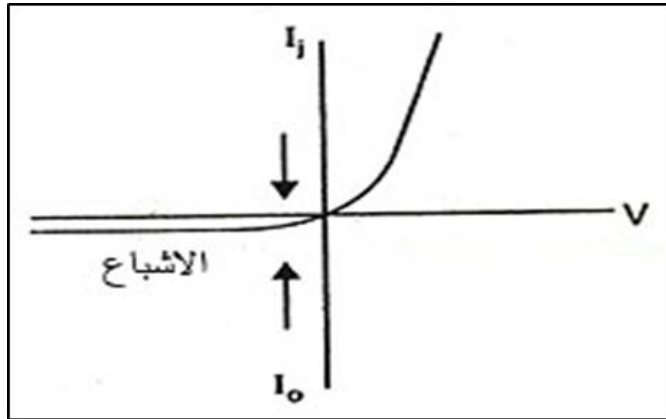
$$I_J = -(k_1 n_1 + k_4 n_4) = I_0 \quad \dots (3-3)$$

عندما تكون القيمة السالبة لفرق الجهد عالية (V) فان الوصلة (P-N) تمنع اكثرية الحاملات وتسمح اقلية الحاملات بالمرور من خلال الوصلة ناتجة تيار معكوس (I_0) والذي يسمى تيار الاشباع السالب او التيار الاسود. ومن المعادلة (١-٣)، (٢-٣)، (٣-٣) يصبح لدينا

$$I_J = I_0 [\exp (eV / kT) - 1] \quad \dots (4-3)$$

ان معادلة رقم (٤-٣) تمثل العلاقة بين الفولتية والتيار الى صمام ثنائي الوصلة

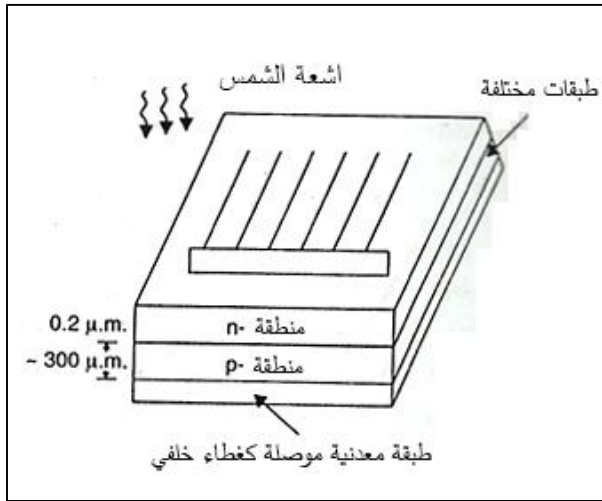
(Junction P-N) ان الشكل (٤-٣) يمثل العلاقة بين الجهد والتيار.



الشكل (٤-٣): يمثل العلاقة بين الجهد- التيار لوصلة صمام ثنائي.

٣-٤ : اداء الخلايا الشمسية (Performance of Solar Cell)

الشكل (٣-٥) يظهر الخواص الأساسية للخلية الشمسية. المصنوعة من بلورة أحادية رقيقة من السيلكون وهي أفضل شبه موصل يستخدم لهذا الغرض حاليا. والمشوب بالبورون كشائبة قابضة. و سُمك الخلية الاعتيادي ٣/١ ملم، وهي على شكل مربع محاط بنصف دائرة مساحة المقطع العرضي ١٠٠ ملم مربع. الفسفور يضاف الى الخلية ويعتبر شائبة واهبة تنتشر في الرقيقة في درجة (٨٥٠) درجة مئوية وتشكل وصلة داخل السطح الامامي وبسمك جزء من المايكرومتر. الاتصال الامامي يكون بشكل شبكة ضيقة اما الاتصال الخلفي فيغطي السطح الخلفي. في الوصلة (**Junction**) الالكترونات تتصلب من المنطقة (**N**) الى المنطقة (**P**) بواسطة الانتشار وتتحد مع الفجوات وتلغي شحنتها وكذلك تنتقل الفجوات من المنطقة (**P**) الى المنطقة (**N**).



الشكل (٣-٥): مخطط الترتيب الفيزيائي لخلية شمسية نمطية.

ينتج عن هذا اختفاء الالكترونات والفجوات من الوصلة مما تسمى مساحة الاستنزاف من سمك (٤-٦ سم) وتترك خلف طبقات الشحنتات ذرات شائبة موجبة في الجانب n وسالبة في الجانب p. ويتولد فرق جهد ذات طاقة كامنة ΔE تتطور خلال الوصلة (**Junction**) ذات مقدار يمنع انتشار الالكترونات والفجوات خلال تدرج التركيز. ان هذه الطاقة تسبب ازاحة طاقة (**N-type**) الى الاسفل ومنطقة (**p-type**) تنحرف الى الاعلى ولهذا يبقى

مستوى فيرمي (المنع) (Fermi levels) للمنطقتين افقي ومستمر في الوصلة. وعندما يسقط الضوء على السطح الفعال فان الفوتونات تتخطى طاقة المنع (Energy gap E_g) لشبه الموصل والتي تعادل (1، 1 إلكترون فولت (eV) في حالة السليكون. مما يسبب انتقال الالكترونات التكافؤ الى حزمة الاتصال تاركا خلفه فجوات. في حالة بلورة السليكون تتولد الحاملات خلال سمك الخلية بتركيز يعتمد على شدة وطيف مركبات الضوء. ولغرض ان تولد هذه الأزواج طاقة في الدائرة الخارجية فان الالكترونات السالبة والفجوات الموجبة يجب ان تنفصل يمكن الوصول إلى هذا الانفصال بواسطة الجهد الداخلي للوصلة داخل طبقات الاستنزاف. الالكترونات المتولدة في الجانب (P) والفجوات المتولدة في الجانب (N) تنجذب بواسطة المجال وتجري نحو الجانب (N-P) مما تسبب انخفاض الحاجز. ويكون هنالك جهد موجود للاتصال الخارجي للصلام الثنائي وقدرة تتولد في الحمل.

أ- المتطلبات الأساسية للحصول على خلية شمسية كفؤة يمكن تلخيصها كالآتي:

1. يجب ان يكون الاشعاع الشمسي الممتص كافي لتوليد زوج من الالكترون والفجوة.
2. سهولة انفصال ازواج - الالكترون الفجوة المتولدة.
3. ان تكون الفولتية المتكونة بمقدار كافي لتحديد اقصى فولتية منتجة من الخلية.
4. ان الفولتية الاومية، الناتجة من المقاومات الداخلية يجب ان تكون صغيرة.
5. الشبكة المعدنية يجب ان تكون صغيرة عندما تكون طبقات المعدن غير شفافة.

ب- التداخل بين الشعاع الشمسي والخلية الشمسية ينتج من العمليات الآتية:-

1. انعكاس بعض الطاقة عن سطح الخلية.
2. ينتج الامتصاص توليد زوج إلكترون - فجوة امتصاص طفيلي ناتج عن توليد حرارة. وان الجزء من أشعة الشمس الغير ممتص يمر خلال الخلية
3. فصل و تجميع الحاملات المتولدة.
4. تدفق الناقلات نحو الاتصالات الخارجية.
5. تشتيت الفوتونات المولد للطاقة في الحمل الخارجي.

بتحليل اداء الخلية والعمليات الداخلية يتم نمذجتها بدائرة عينية مكافئة كما في الشكل (3-6). تتكون الدائرة من مصدر ضوئي لتجهيز تيار I_s ، الى شبكة مقاومة تشمل مقاومة الوصلة

R_j ومقاومة التحولات الداخلية المتوازية R_{shunt} ، والمقاومة الداخلية المتواليّة R_{series} ومقاومة الحمل الخارجي (R). أن المقاومة الداخلية للتحويل ($Shunt$) تكون عادة أكبر من مقاومة الحمل الخارجي لذا معظم التيارات المتوفرة يمكن ان تمر للحمل. المقاومة الداخلية المتواليّة اقل من مقاومة الحمل الخارجي ولهذا عندما تكون القدرة قليلة فانها تنشتت داخل الخلية. ان افضل دائرة موضحة في الشكل (٣-٦ أ). يمكن تبسيطها الى الشكل (٣-٦ ب). لغرض التحليل دون اخطاء. بناء على الدائرة المبسطة، يمكن الحصول على تيار الحمل كما يلي:

$$I = I_s - I_j$$

$$I = I_s - I_0 \{ \exp(eV_{\alpha} / KT) - 1 \} \quad \dots (5-3)$$

تحت ظروف الدائرة القصير الاعتيادية $V=0$ ، ولدينا نحن $I = I_s$ والذي هو تيار الدائرة القصيرة المتولد من مصدر تيار ضوئي. تحت ظروف الدائرة المفتوحة $I=0$ و المعادلة (١) تعطي اقصى فولتية لدائرة مفتوحة $V=\infty$:

$$\left. \begin{aligned} \exp(eV_{\alpha}/KT) - 1 &= I_s/I_0 \\ V_{\alpha} &= KT/e \ln(I_s/I_0 + I) \end{aligned} \right\} \quad \dots (6-3)$$

القدرة الناتجة (P) من الخلية الضوئية IV ولشدة ضوء معينة تعتمد القدرة الناتجة على قيمة مقاومة الحمل R

$$P = \{ I_s - I_0 \{ \exp(eV/kT) - 1 \} \} V \quad \dots (7-3)$$

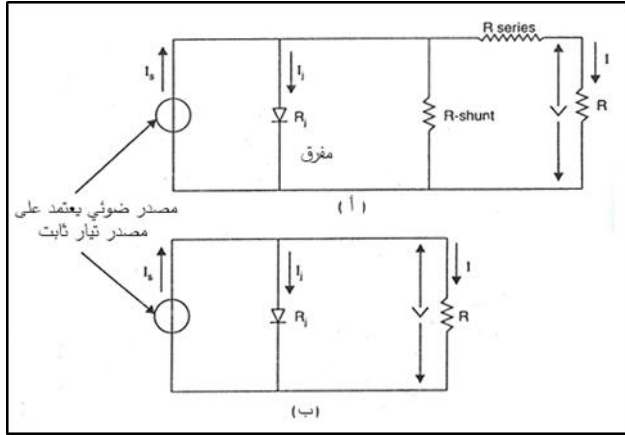
اشتقاق المعادلة ٢ بالنسبة الى V ومساويتها الى صفر يعطينا فولتية الحمل الخارجي (V_{MP}) وهذا يعطي اعظم قوة ناتجة من الخلية

$$[I_s - I_0(\exp(ev_{mp}/kT) - 1)] + v_{mp}(-I_0(\frac{e}{kT} \exp(\frac{ev_{mp}}{kT})) = 0$$

or

$$\exp(eV_{mp}/KT) (1 + V_{mp}/Kt) = \left(1 + \frac{I_s}{I_0} \right) \quad \dots (8-3)$$

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية



شكل (٦-٣): يمثل دائرة مكافئة (أ) دائرة الخلية الضوئية (ب) الدائرة المكافئة لها.

إذا كان I_s ، I_0 ، T ذات قيم معلومة فإن قيمة V_{MP} يمكن تقديرها بواسطة الخطأ والصواب فإن تيار الحمل I_{mb} أقصى ما يمكن فإن القدرة الناتجة يمكن إيجادها من خلال تعويض معادلة (٣-٣) بمعادلة (٢-٣).

$$\left. \begin{aligned} I_{mp} &= I_s - I_0 [\exp(eV_{mp}/kT) - 1] \\ &= I_s - I_0 [(I + I_s / I_0) / (I + eV_{mp}/KT) - 1] \\ &= (eV_{mp}/KT) / [I + (eV_{mp}/KT)] (I_s + I_0) \end{aligned} \right\} \dots (7-3)$$

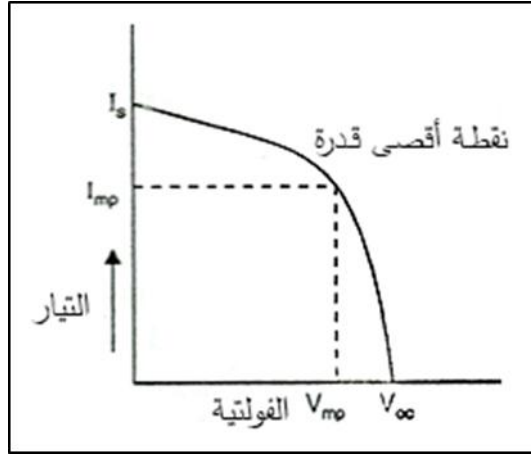
ان أقصى قدرة ناتجة من الخلية $P_{max} = I_{mp} V_{mp}$

$$P_{Max} = eV_{mp} / KT / [I + (eV_{mp}/KT)] V_{MP} (I_s + I_0)$$

ان الخصائص النموذجية للفولتية والتيار خلال حمل الخلية الشمسية تحت مستويات معينة من الاضاءة موضح في الشكل (٧-٣) أعظم قدرة تحدث عندما يكون (VI) أقصى قيمة عند تقاطع الخط البياني، ويملك أكبر مساحة مع القدرة الداخلة P_{IN} الى الخلية الشمسية إذن تكون كفاءة التحويل لأعظم قدرة ناتجة تحسب بالمعادلة الآتية :-

$$\mu_{max} \text{ power} = p_{max} / P_{in} = \mu_{max} \dots (8-3)$$

هنالك عدة عوامل أخرى لها علاقة بعمل الخلية الشمسية تحدد كفاءة تحويل الخلية الى مدى ٢٠% الى ٣٠% هذه الحدود تأتي نتيجة استجابة الخلية الى جزء من طول الموجة المتوفر في الطيف الشمسي.



شكل (٣-٧): يمثل خصائص الفولت - أمبير خلال حمل الخلية.

ان الفوتونات ذات الاطوال الموجية اكثر من (١,١) (μm) لاتملك طاقة كافية لتوليد زوج من الالكترن - فجوة للخلية الشمسية في خلية السلكون الشمسية. ان الطاقة غير المستعملة في توليد زوج من الالكترن - فجوة تؤدي الى زيادة درجة حرارة الخلية الشمسية. ان تأثير الحرارة على الشبكة يسبب تذبذب حاملات الشحنة مما يسبب عبورها الى نقطة الاتصال مما تعاكس كفاءة التحويل وعليه فان الجزء غير المرغوب به من الاشعاع الساقط على الخلية يجب ان ينعكس لبقاء درجة حرارة الخلية واطنة.

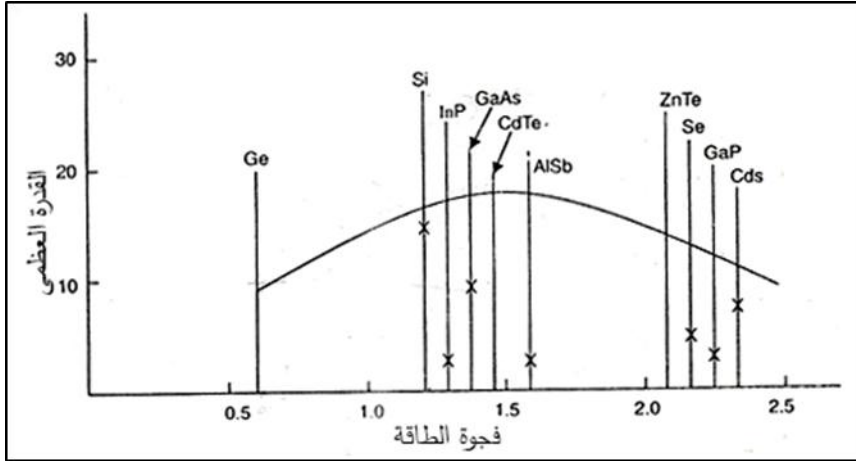
٣-٥: اختيار المواد (Choice of Materials)

تتحكم في اختيار المواد المستخدمة في المحولات الشمسية (Solar converters) المؤثرات الآتية:-

أ- عدد الفوتونات الممتصة ذات طاقة اكبر من طاقة حزمة الفجوة المانعة ($\text{Band-gab } n_p h$) حيث ان عدد الفوتونات تقل بزيادة حزمة الفجوة المانعة وتقل كثافة تيار الاشعاع (I_0) بزيادة الحزمة المانعة مما تسبب زيادة في الجهد الناتج (Out put voltage).

ب- المشاهدات النوعية التي تسبب تقليل في قيمة (I_0) نتيجة لزيادة في طاقة حزمة الثغرة المانعة (Energy gap) وتكون زيادة فولتية الدائرة المفتوحة مساوية الى $\text{Log } I_s/I_0$.

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية



شكل (٣-٨): يمثل العلاقة بين القدرة العظمى وحزمة الثغرة المحظورة.

ان تأثير هذين العاملين في الكفاءة التحويلة القصوى للمحولات الفولتية موضحة في الشكل (٣-٨) يبين هذا المخطط الذي تم الحصول عليه بواسطة العالم (Loferski) الملاحظات الآتية:-

١. اعظم كفاءة نظرية يمكن الحصول عليها.
٢. القيمة المتوقعة μ_{max} للقدرة العظمى.
٣. اعلى قيمة لطاقة الفجوة المحظورة في اشباه الموصلات السلكونية محصورة بين (1.1- 2.3) eV كما موضحة في الجدول (٣-١).
٤. المواد التي تملك طاقة الفجوة المحظورة في هذا المدى كما موضحة في الجدول (٣-١).

جدول (٣-١): يبين انواع العناصر والثغرة المانعة لكل منهم.

Element	Groping in periodic table	Width of Energy gap ev
Boron (B)	III	I.I
Carbon ©	IV	5.3
Silicon (si)	IV	1.12
Germanium (Ge)	IV	0.72
Phosphorous (p)	V	1.5
Arsenic (As)	V	2,1

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

Antimony (Sb)	V	0.12
Sulphur (S)	VI	2.5
Selenium (Se)	VI	1.7
Tellurium (Te)	VI	0.36

أ- اشباه الموصلات للسليكون (Si) والجرمانيون (Ge) تشوب الى نوع (N-type) بواسطة عناصر مجموعة (V) كشوائب مثل البورون (B) والالمنيوم (Al) والكالسيوم (Ca) والاندسيوم (In).

ب- الكالسيوم اوستانايد (Ga As) يشوب الى نوع (N-type) بواسطة عناصر المجموعة (VI) مثل الكبريت (S) والسيلينيوم (Se) والتلنيوم (Te) وتشوب الى نوع P-type بواسطة عناصر المجموعة (ii) مثل القصدير (Zn) والكاديوم (Cd).

جدول (٣-٢): يبين بعض المركبات وطاقة الفجوة المانعة لها.

ت	المادة	طاقة المنع
1	Indium phosphide (inp)	1.27 ev
2	Gallium arsenide (GaAS)	1.35 ev
3	Aluminium antimonide (ALSb)	1.49 ev
4	Cadmium Tellurid (CdTte)	1.5 ev
5	Zinc Telluride (ZnTe)	2.1 ev
6	Aluminium Arsenide (AlAs)	2.16 ev
7	Gallium phosphide (Gap)	2.24 ev

ج- ان هذه القيم لطاقة الفجوة المانعة لاشباه الموصلات المتكونة من خلط اشباه موصلات بواسطة اتحاد المواد مجموعة III-V و II-VI ذات مواصفات مختلفة لهذه المواد مثل :-

$GaAs_x P_{1-x}$ والتي تملك طاقة منع $(GaAs)$ 1.35 eV و 2.24 eV (Gab). المواد الأخرى تملك طاقة الفجوة المانعة تجعلها مهمة في وصلة المحولات المستخدمة لهذه اشباه الموصلات وتجعل هذه الوصلات متناسقة فيما بينها (**Hetero Junctions**) السليسيوم (**se**) والكاديوم سولينايت (**Cdse**) والكاديوم سلبايت (**Cds**) وكبريتات النحاس (**Cus**).

٣-٦: حدود الاداء (**Performance Limitations**)

المعايير الآتية تحدد اداء الخلية الشمسية: - (**Solar Cells**)

أ- ضياعات الانعكاس (**Reflektion Losses**)

بعض الاشعة الساقطة تفقد جزء منها خلال الانعكاس من سطح الخلية والمعدن المستعمل لحمايتها من الطقس. هذا الفقدان نتيجة الانعكاس من غطاء الخلية والمعدن المانع للانعكاس يقدر بـ (٥-١٠%).

ب- الامتصاص غير الكامل (**Absorption Incomplete**)

الفوتونات ذات الطاقة الأقل من طاقة الفجوة المحظورة (**Energy gap (Eg)**) تولد ببساطة حرارة في الخلية وبهذا يكون زيادة الضياعات عند ما تكون طاقة المنع عالية.

ج- الاستخدامات الجزئية من طاقة الفوتون

(**Partial Utilization of Photon Energy**)

معظم الفوتونات التي تولد ازواج من الالكترونات - الفجوة تمتلك طاقة أكبر من الحاجة الى تشغيل الخلية. ان الزيادة في الطاقة تتحول الى حرارة (**dissipated**). زيادة طاقة المنع تسبب اقل ضياع مع الاخذ بنظر الاعتبار عوامل الفقدان الواردة في الثاني والثالث اعلاه. ان شبه الموصل ذو طاقة منع مقدارها (0.9 eV) افضل كاسب الى الطيف (**AMO**) ان المعادن ذات معامل امتصاص عالي مثل **Ga, Si, As** يكون سمك الخلية المطلوب اقل من (**C-Si**) وفي حالة المعدن الاخير. ان سمك الخلية المطلوب لامتنصاص ٩٠% من الاشعاع الساقط مساويا $300\text{ }\mu\text{m}$.

د- ضياعات التجميع (Collection Losses)

ان الحاملات التي تصل منطقة الاتصال (**Junction**) قبل اتحادهما تجتمع وتساهم في تيار خارج اما الاخرى فانها تولد في بساطة معامل حرارة وهو يعادل نسبة كثافة تيار الدائرة القصيرة الحقيقي وكثافة تيار الدائرة القصيرة الذي يحصل عندما لا يكون هنالك اتحاد. ان العوامل التي تؤثر على كثافة الجامع:-

١. خواص الامتصاص لشبه الموصل الذي يحدد التوزيع الهندسي (**Geometric distribution**) لزوج من الكترون - فجوة في البلورة.
٢. عمق الوصلة (منطقة الاتصال).
٣. عرض طبقة الاستنزاف (**Depletion**).
٤. معدل اتحاد الالكترتون - الفجوة على السطح (سرعة الاتحاد السطحية).
٥. معدل المسافة التي يقطعها الالكترتون في منطقة (**P- Region**) والثقوب في منطقة (**n- region**) قبل الاتحاد (طول انتشار الحاملات القليلة).
٦. وجود شدة المجال الكهربائي المتكون نتيجة تدرج تركيز الشوائب على منطقة السطح ومنطقة القاعدة التي تساعد على تعجيل الحاملات باتجاه منطقة الاتصال. ان كفاءة الجامع يمكن ان تتغير من ٩٥% في اعلى كفاءة لخلية شمسية احادية نوع (**C-si**) الى قيمة اقل من ٥٠% من اقل كفاءة لخلية ذات سمك قليل.

ه- معامل الفولتية (**Voltage Factor**)

ان فولتية الدائرة المفتوحة تكون دائما اقل من طاقة المنع (**Energy-Gap**) للأسباب الاتية:-

١. ان فولتية الدائرة المفتوحة تساوي جهد المجال الكهربائي في الملتقى والذي يمكن الحصول عليه من اعلى مدخل خارجي والذي يمكن الوصول اليه بواسطة تركيز اشعة الشمس.

٢. نتيجة التشويب ان اعلى حاجز يكون اقل من نطاق طاقة المنع (Energy band gap)
(Ag)

٣. عند زيادة (Eg) يؤدي الى زيادة فولتية الدائرة المفتوحة. اذا كانت الزيادة اقل من اعظم مستوى للازواج المتولدة من الالكترن - فجوة ما يسبب قلة التيار المتولد. هنالك توجد قيمة افضلية الى (Eg) لاي توزيع طيفي عند انتاج تيار للدائرة القصيرة وفولتية للدائرة المفتوحة لاقصى قيمة وتكون لاشعة الشمس المنعكسة من الارض تساوي 1.4eV الكترن فولت.

ز- المعامل البياني (Curve Factor)

ان شكل خصائص التيار والفولتية يعتمد على خصائص ملتقى الترانسسستر ويكون اقصى قدرة دائما اقل من حاصل ضرب تيار الدائرة القصيرة وفولتية الدائرة المفتوحة حتى بدون توالي المقاومات. ان نوعية الملتقى وطبيعة خواص التيار والفولتية يحسن زيادة (Eg).

ح- ضياعات لمقاومات المتوالية (Series Resistance Losses)

ان فقدان الفولتية في الخلية نتيجة الى المقاومات المتتالية يسبب تسطح (Flattening) خواص الفولتية والتيار ويمكن تقليلها من خلال تلامس جيد للشبكة.

تلامس اومي جيد وصفائح رقيقة مقاومة في طبقات السطح. قياس تأثير نوعية الملتقى والمقاومات المتتالية على اداء الخلية يعطى في المعادلة الاتية:-

$$\text{Fill factor} = (\text{Maximum power}) / (\text{short circuit current} \times \text{open circuit voltage}) \quad \dots(9-3)$$

ك- الضياعات بسبب تغطية المعدن (A_F/A_L) (Loss by Metal Coverage)

حيث ان :-

(A_F) هي المساحة الامامية للسطح غير المغطى بالمعدن.

(A_L) هي المساحة الكلية للخلية.

هذه الحدود التقنية تعرض بواسطة معامل التغطية والذي $1 - A_F/A_L$ ان اعلى معامل تغطية، هو اوطأ مقاومات على التوالي. ان الضياعات نتيجة معامل التغطية في الخلايا الشمسية يعادل (٥ - ١٠) %.

ل- العوامل البيئية :-

للعوامل البيئية تأثير كبير مثل الاثرية وحرارة الشمس مما يؤدي الى انخفاض كفاءة الخلية.

٣-٧ الخواص المطلوبة في اشباه الموصلات المستعملة في تصنيع الخلايا

(Properties Desired in Semiconductors for Cell Use)

يجب الاخذ بنظر الاعتبار عملية تحويل الاشعاع الشمسي الى طاقة كهربائية في منطقة اتصال (P-N) واشتقاق معادلة كفاءة الخلية الضوئية بموجب العوامل غير المرئية مثل كثافة التيار الاسود (Dark-current density) وكثافة تيار الدائرة القصيرة والفولتية في اقصى نقطة ذات اقصى قدرة لهذه العلاقات حيث لا توجد اية معلومات حول الخواص المرئية المرغوب فيها في شبه الموصل الذي صنعت منه الخلية.

اولاً- امتصاص الضوء (Light - Absorption)

بعض اشباه الموصلات ذات كفاءة عالية لامتناس الضوء بنسبة ٩٠% من ضوء الشمس وبسمك حوالي ١ مايكرون وبعضها تكون مقيدة واكل قابلية لامتناس الاشعة بنسبة ٩٠% من اشعة الشمس تمتص خلال سمك ١٠٠ مايكرون.

ان الاختلاف بين تصاميم المعدات والمواد المطلوبة لهذين النوعين من اشباه الموصلات مهم فمثلا اقصى امتصاص لخلية ضوئية مصنوعة من اشباه الموصلات (Cadmium telluride)، (copper indium). ان اشباه الموصلات قوية الامتناس تسمى اشباه الموصلات ذات الفجوة المحظورة المباشرة واشباه الموصلات ضعيفة الامتناس تسمى الموصلات ذات الحزمة المحظورة غير المباشرة. ففي اشباه الموصلات المباشرة تكون طاقة الفوتون مساوية الى طاقة الفجوة المحظورة شبه الموصل وتكون قادرة من تحرير الكترون خارجي وتوليد زوج من الكترون - فجوة وفي حالة اشباه الموصلات غير المباشرة تكون الفوتونات ذات طاقة قوية وتمتص بواسطة حزمة الالكترن وتولد نتيجة ذلك زوج من الالكترن - فجوة.

ثانياً- طول الامتناس (Absorption length)

ان معدل المسافة التي يقطعها الضوء خلال المعدن قبل الامتناس وتعادل ٦٣% من الشعاع الساقط. وهذا يسمى طول الامتناس للمعدن. ان قوة خواص

طول امتصاص المعدن للضوء يعتبر من المعايير الحرجة في تصميم الخلايا وتحديد سمك طبقات الامتصاص فمثلا طول الامتصاص لخلية السلكون حوالي ٣٠ مايكرون ولاشبهه الموصلات المباشرة مثل (Copper indium diseland) هو ٣،٠ مايكرون.

ثالثاً- طاقة الفوتون المعتمدة (Depndence on Photon Energy)

الفوتونات مختلفة الطاقات تختلف اطوال امتصاصها باختلاف المواد. ان احتمالية امتصاص الفوتونات ذات الطاقة العالية اكثر من الفوتونات ذات الطاقة القليلة حتى ولو كانت طاقتها اكبر من طاقة الفجوة المحصورة (Energy Band Gap) فمثلا:-

- (Copper-indium) له طاقة منع eV وطاقة امتصاص للفوتونات اكثر من $2.5eV$ ويكون سمك الامتصاص اقل من 0.1 مايكرون ولكن حزمة الفوتون ذات الطاقة الواطئة (1.1) eV ويحتاج الى سمك 1 مايكرون.
- بلورة السلكون لها حزمة محظورة مقدارها $1 eV$ الفوتونات ذات طاقة $2.5 eV$ تمتص في سمك (0.5) مايكرون وفي طاقة $1.2eV$ يمتص خلال سمك 100 مايكرون علما ان اختلاف الامتصاص بين الفوتونات ذات الطاقة العالية والطاقة الواطئة لها اهمية في تصميم واداء الخلية.

رابعاً- مكان المجال الكهربائي (Placing the Electric Field)

ان طول امتصاص شبه الموصل معيار حرج للسيطرة على تصميم الخلية الضوئية (PV). ان مفتاح العمل (Key action) في الخلية الضوئية هو فصل الكترونات والفجوات المثبتة في المجال الناشئ (0.5) مايكرون. في الحقيقة ان العلاقة بين الازاحة المناسبة للمجال الكهربائي وامتصاص الضوء هو المجال الحاكم في فعالية الخلية الضوئية. ولهذا الغرض فان المجال الكهربائي يجب ان يكون وسط المساحة حيث ان معظم اشعة الشمس تمتص في هذا المكان. تحت هذا الشرط معظم اشعة الشمس تمتص وتولد ازواج حرة في الجانب الايمن من المجال. لذا من الضروري تواجد حاملات الشحنة الحرة مع تأثير المجال الكهربائي .

خامساً- الانجراف (Drift)

الانجراف هو عبارة عن حركة الحاملات الحرة بواسطة المجال المحرك في المجال الناشئ (**built-in- field**) يكون المجال الناشئ قوة فاصلة كبيرة مضاد لشحنات الحملات الحرة؟ ففي المواد ذات النطاق المانع المباشر (**Direct Band Gap**) فان معظم الفوتونات لاشعة الشمس تمتص قرب المجال الكهربائي كون طول هذه المواد الامثل ١ مايكرون اي لها نفس عرض المجال الناشئ مع المكان المناسب للمجال. ان جميع اشعة الشمس المولدة للحوامل تنفصل ذاتيا وتساهم في توليد التيار الكهربائي. اما في اشباه الموصلات ذات طاقة النطاق غير المباشر فانها تمتص من خلال طول ١٠ مايكرون.

سادساً- الانتشار (**Diffusion**)

ان معدل المسافة للضوء المولد للحوامل الاقلية (الالكترونات في **P-Side**) وفجوات في (**N- side**) تتمكن من الحركة باتجاه المجال الناشئ (**Builtin - field**) قبل ان تهبط في حالة تسمى طول الانتشار. ان اكبر طول لانتشار المعدن هو اكبر تغير يملكها على تيار. ان طول الانتشار لخلية معدنية حقيقية (**PV**) يتغير بين اقل من مايكرون في معظم الاغشية الرقيقة الى اكثر من ١٠٠ مايكرون في مواد بلورية احادية. ان افضل طول انتشار ضروري لاداء ناجح لمعدن غير مباشر لفجوة طاقة محضورة مثل بلورة السليكون. ان المعيار الاساسي للسيطرة على انتشار تيار مجتمع هو طول الانتشار كجزء من طول الامتصاص عندما تكون نسبة طول الانتشار الى طول الامتصاص اكثر من ١ وبهذا يمكن ان تنفصل معظم الحاملات. يحدد الانتشار بواسطة ميل الحوامل الحرة الى الاتحاد. ان ابسط اتحاد عندما تكون النواقل الراسية والتي هي الالكترونات نوع (**P-Type**) للمعدن عندما تلاقي حوادث وسقوط في الفجوات.

سابعاً- التحولات (**Shunts**)

ان عدد الالكترونات والفجوات التي يولدها الضوء وتساهم في توليد تيار يجري باندفاع او انتشار (**flow via drifor diffusion**) ولكن مفهوم مركز الاتحاد(مراكز الاتحاد في مناطق المجالات يسمى التحول (**Shunt**) يقودنا الى مختلف الاتجاهات.

- ضياعات الجهد تكون اكثر اهمية من ضياعات التيار نتيجة الاتحاد.
- جهد الخلية الضوئية (**PV**) يعتمد بصورة اساسية على اعلى واوسع المجال الناشئ (**Built-in field**).

- مراكز الاتحاد تتكون في المجال ويمكنها ان تساهم عدت مرات في تقليل شدة المجالات والجهد بصورة ملحوظة.

٣-٧-١: المقاومات على التوالي (Series Resistance)

وهناك الية اخرى لتدني خسائر عملية الجهد للمقاومات المتوالية. هذه الخسائر تحدث بسبب نفس خسائر المقاومة المشتركة مع أي حركة للشحنات الحرة من خلال الاسلاك. ان الضياع الناتج من احتكاك جريان التيار (الالكترونات) يسبب خسائر تدعى المقاومة. ان انسياب التيار الجاري في المقاومة يسبب ضياع في الجهد خلال المقاومة. عندما يكونان التيار والمقاومة عاليان يسببان خسائر كبيرة في الجهد. ان الخسائر في المقاومة مهمة يمكن ان تحدث في داخل الخلية المتكونة من اشباه الموصلات (PV). ان اشباه الموصلات تكون اكثر مقاومة بملايين المرات من المعادن.

ان الخسائر تحدث بسبب الحوامل الحرة المفصولة في المجال الداخلي ويجب ان تظل تجري الى مسافة قصيرة لتصل الى المعدن المتصل. في الجانب الخلفي للخلية (حيث تغطي طبقات المعدن كل الجزء المعرض للسطح) ان هذه المسافة يمكن ان تكون قليلة بصورة عمودية ويمكن ان تكون اقل من (١ مايكرون) ولكن الاتصال الامامي هو دائما شبكي للتفادي من الظلال الامامي للوصول الى اصابع الشبكة. ان الحوامل يجب ان تتحرك جانبيا لمسافة طويلة عدة مليمترات ويمكن ان تخسر طاقة كبيرة بين المقاومة في العملية. يمكن تقليل المقاومة من جعل الطبقة العليا شبه موصلة مع زيادة كثافة الحوامل الحرة.

٣-٧-٢: كفاءة الكم (Quantum Efficiency)

كفاءة الكم هي واحدة من القياسات المهمة لاداء الخلية الشمسية. وهي قياس فعال لتحويل الخلية للضوء بطاقات مختلفة الى كهرباء. ان الضوء ذو الطاقات المختلفة يمتص على اعماق متباينة للخلية الضوئية (PV). ان الحاملات التي يولدها الضوء بصورة طبيعية تملك احتمالات مختلفة للانفصال بواسطة المجال الكهربائي. ان تقنية كفاءة الكم تقيس جزء من الحوامل التي تشارك لتوليد تيار كهربائي.

٣-٧-٣: تأثير درجة الحرارة (Effect of Temperature)

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

يصاحب فولتية الدائرة المفتوحة (V_{∞}) انخفاض درجة حرارة الخلية ويقدر نقصان جهد الدائرة المفتوحة لخلية السليكون بمقدار (٢,٣) ملي فولت لكل درجة. حيث ان ΔT تساوي الفرق بين درجة حرارة تشغيل الخلية ودرجة الحرارة المرجعية. ان جهد الدائرة المفتوحة وفضل جهد قدرة (V_m) للوحدة القياسية يمكن ان يكتب بالشكل الاتي:-

$$V_{\infty}(T)(mV) = V_{\infty}(28^{\circ}C)(mV) - \Delta T \times 82(mV) \dots (10-3)$$

$$V_m(T)(mV) = V_m(28^{\circ}C)(mV) - \Delta T \times 8(mV) \dots (11-3)$$

تحدد درجة حرارة الخلية بالتجربة اعتمادا على:-

- أ- عزل الشمس ب- حرارة جو المحيط ج- سرعة الرياح د- نوع التغليف
وكما يلي:-

$$T_{Cell} = T_{ambient} + K P_{in} (w m^{-2})$$

$$K = (0.02) \text{ to } (0.03) (\text{deg. } m^2 w^{-1})$$

حيث ان P_{in} تمثل الشعاع الشمسي الساقط.

٣-٧-٤: خواص الجهد- التيار (Current – Voltage Characteristics)

ان القدرة التي تولدها الخلية تساوي التيار (I) مضروبة الجهد (V) تحت شروط تيار الدائرة القصيرة حيث ان اقصى قيمة للتيار عندما يكون الجهد قريب من الصفر تقريبا. يكون الجهد للدائرة المفتوحة عالي جدا ولا يوجد تيار فتكون القدرة صفر. في مكان ما بين هذه الشروط الشديدة تسمى اقصى قدرة لكل من التيار والجهد بما يعادل ٧٠-٩٠% من القدرة القصوى. الخلايا والصفوف مصممة لانتاج كهربائية قريبة من اقصى قدرة.

القدرات العظمى لا يمكن ان تساوي المنتج لدائرة الجهد المفتوحة وتيار الدائرة القصيرة. ولكن القرب من الطاقة القصوى يدعى عامل الملىء. وعامل الملىء هو قياس لمدى قرب الخلية من التكامل. بعض الخلايا يمكن ان تملك جهد جيد للدائرة المفتوحة ودائرة تيار قصير جيد ولكن عامل املاء ضعيف والنتيجة لا قدرة كبيرة وكفاءة قليلة. ان عامل الملىء يمكن ان يعرف كنسبة بين

القدرة للطاقة العظمى الى حاصل ضرب تيار الدائرة المفتوحة وجهد الدائرة المفتوحة. الخلايا الجيدة يكون عامل الاملاء أكثر من (٧٠%).

٣-٧-٥: الوحدة القياسية (المركبة) الخلية الضوئية (Photovoltaic Modules)

ان معيار الوحدة القياسية للخلية الضوئية تتكون من سلسلة مترابطة من خلايا بلورية من السليكون. ذات احجام دائرية نموذجية قطر البلورة الاحادية الدائرية (١٠٠ ملم) وابعادها (١٠سم×١٠سم) مربع وكل خلية تنتج حوالي (1W) من القدرة الكهربائية تحت عوامل شمسية اعتيادية. تتكون الوحدة القياسية من (٣٤ و ٣٦) خلية متوالية الربط. تكون القدرة القصوى لها بين (٣٠-٤٠ W). الشكل (٣-٩) يوضح:-

١. خواص الجهد والتيار لخلية ضوئية نموذجية لثلاث مستويات اضاءة عند درجة حرارة الغرفة.

٢. ان امثل خط قدرة للوحدة القياسية للخلية الضوئية يمثل افضل قدرة لكل مستوى اضاءة.

٣. لدائرة فولتية مفتوحة لخلية سليكونية منفردة تكون خواصها بين 0.55-0.6V.

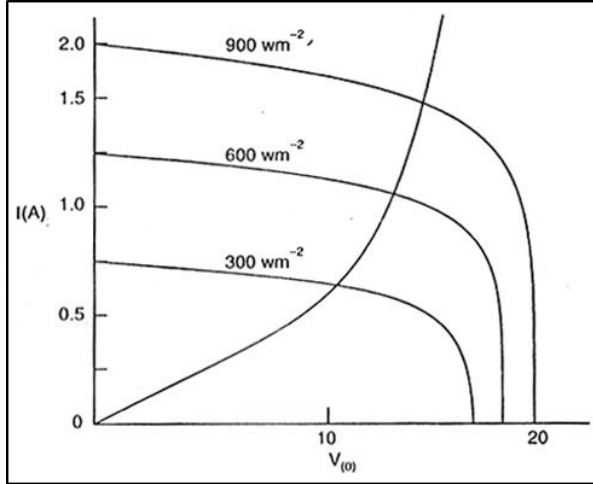
٤. لخلايا مربوطة على التوالي متكونة من ٣٤-٣٦ خلية في دائرة فولتية مفتوحة تكون خواصها من ٢٠-٢١ فولت.

٥. في مستوى اضاءة عالي وكفوء افضل قدرة فولتية تعادل ٨٠% من فولتية الدائرة المفتوحة.

٦. سلسلة من الخلايا متكونة ٣٦ خلية متوالية تكون افضل قدرة فولتية تساوي بين ١٦-١٧ فولت في درجة حرارة ٦٠ درجة مئوية.

٧. المجال التشغيلي النموذجي لافضل قدرة فولتية تقل ما بين ١٤-١٧ فولت. هذه القيمة الافضلية تكون كافية لشحن بطارية رصاص حامض بفولتية مقدارها ١٢ فولت والتي تختار لعدد من ٣٤-٣٦ وحدة خلية مربوطة على التوالي لخلية قياسية علما ان بطارية الرصاص هو النوع الشائع الاستعمال في الخلايا الضوئية. الشكل ٣-٩ يوضح ان جهد الدائرة المفتوحة يزداد زيادة لوغارتمية مع الفيض الاشعاعي ومعظم تيار الدائرة القصيرة

للخلايا يكون دالة خطية للعزل حيث ان كفاءة نقطة تزداد زيادة لوغارتمية مع الاضاءة لكل نقطة عندما يكون ضياع المقاومات المتواليه مهم ويؤدي الى تقليل الكفاءة.



شكل (٣-٩): يمثل خواص التيار والجهد للمركبة النموذجية عند درجة حرارة k (T= 300).

٣-٨: تصنيع ألواح الخلية الشمسية (Solar Cell Fabrication)

٣-٨-١: المقدمة (Introduction)

تكمن اهمية توليد الكهرباء بواسطة الواح الطاقة الشمسية في كونها:

طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة، طاقة لا تنضب، لا تحتاج الى صيانة، يبلغ عمر الخلية الشمسية اكثر من ٢٠ سنة، وتستخدم الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء، الحماية الكاثودية لانايب النفط، تنقية وتعقيم المياه، الري بالرش والتنقيط. اناة الشوارع والمنتزهات، توليد الكهرباء للاستخدامات العامة في المناطق النائية. ان الدول المتقدمة وانطلاقا من نظرتها المستقبلية لمصادر توليد الطاقة الكهربائية قامت بادخال الطاقة الشمسية ضمن شبكة الكهرباء الوطنية بنسب متفاوتة تصل الى ٢٠%، وبلغت طاقة هذه المحطات 7.3 GW في نهاية عام ٢٠٠٩ وهذا يمثل زيادة ٢٠% عن السنة السابقة، اما من حيث الاستثمارات فقد بلغت ٣٨,٥ بليون دولار في عام ٢٠٠٩ او بزيادة قدرها ٨% عن السنة السابقة لها، وتقوم بتشجيع الافراد

على انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية ورفدها الى الشبكة الوطنية بسعر شراء اعلى من سعر البيع.

٣-٨-٢: مراحل تصنيع الواح الطاقة الشمسية

(Solar Energy Complex Fabrication Stages)

أ- تصنيع الشرائح:

وتشمل العمليات التالية

١- الانماء البلوري: تبدأ هذه المرحلة بأنماء بلورة السليكون وتوجد طريقتان شائعتان لانماء السليكون الاحادي البلورة وهما: -

1. Czochralski: (CZ)

2. Floating Zone: (FZ)

وفي شركة المنصور العراقية نستخدم الطريقة الاولى (CZ) حيث يعاد الى صهر السليكون مع كمية صغيرة جدا من شوائب البورون في بودقة تقع اسفل جهاز الأنماء (Puller) شكل (٣-١٠) وعند ثبوت درجة حرارة المنصهر على الدرجة الملائمة للأنماء نقوم بأنزال بلورة سليكون (مربوطة بسلك مثبت اعلى جهاز الأنماء) في المنصهر. ثم نقوم بسحب البذرة نحو الاعلى فتنمو ذرات السليكون من المنصهر على البلورة وتأخذ نفس التركيب البلوري لها.



شكل (٣-١٠): جهاز الانماء البلوري (Puller)

ان سرعة السحب ودرجة الحرارة يسيطران على قطر البلورة المنماة فكلما زادت سرعة السحب ودرجة الحرارة قل قطر البلورة والعكس بالعكس. بعد اكتمال إنماء بلورة السليكون التي يتراوح وزنها ما بين (٣٠ - ١٢٠) غم كما في الشكل (٣-١١) تبدأ العمليات الميكانيكية المتمثلة في تكوين الشرائح.



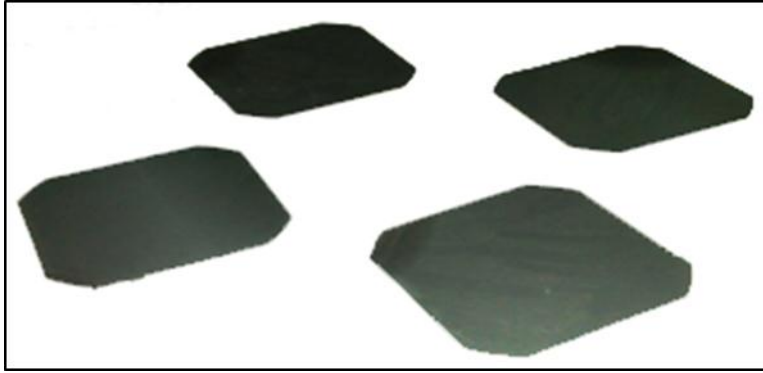
شكل (٣-١١): بلورة السليكون الاسطوانية.

٢- تشكيل البلورة: يتم تحويل البلورة الاسطوانية الى شكل متوازي المستطيلات بواسطة منشار قرصي خاص (مطعم بالدائيموند) كما في الشكل(٣-١٢).



شكل (٣-١٢): بلورة السيليكون بعد تحويلها الى متوازي مستطيلات.

٣ - تشريح البلورة: هنا نقوم بتشريح البلورة الى شرائح مربعة الشكل وبسمك ٢٠٠ مايكرون كما في الشكل(٣-١٣) ونستخدم لذلك منشار سلكي مطعم بالدايموند (Wire saw).



شكل (٣-١٣): شرائح السيليكون المربعة.

٤- تنظيف الشرائح: للتخلص من برادة السيليكون الملتصقة بالشريحة والمتكونة نتيجة التشريح تغسل الشرائح في أحواض عديدة وباستخدام الامواج الفوق سمعية ثم تجفف الشرائح.

٥ - القياسات: وهي نوعان:

- قياس كهربائي: حيث تقاس المقاومة النوعية للسيليكون (نوع P لوجود البورون)

- قياس ميكانيكي: وهنا تقاس أبعاد الشريحة والعيوب البصرية

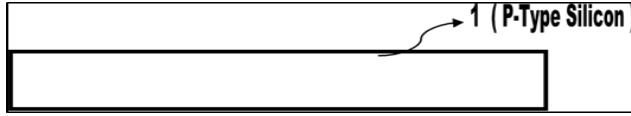
٣-٨-٣: تصنيع الخلية الشمسية (Solar Energy Fabrication)

وتشمل العمليات التصنيفية الخطوات التالية:-

١. ازالة اثار المنشار (Damage etch): وذلك للتخلص من طبقة السيليكون السطحية

التالفة نتيجة القطع.

٢. الحفر الأنتقائي (Texture etch): وذلك لزيادة المساحة السطحية للخلية وتقليل انعكاس اشعة الشمس الساقطة على الخلية كما في شكل (٣-١٤ أ)



شكل (٣-١٤ أ)

٣. تكوين الوصلة الثنائية (P-N Junction): بما ان الشرائح مشوبة بالبورون (نوع P) وللحصول على الوصلة الثنائية نقوم بترسيب ودفن شوائب الفوسفور داخل بلورة السليكون بواسطة افران خاصة تصل درجة حرارتها الى 1000°C كما في الشكل (٣-١٤ ب).



شكل (٣-١٤ ب)

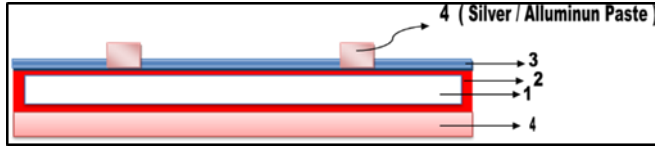
٤. ازالة طبقة الاوكسيد المشوب (Phosphor - silicate glass (PGS) ويتم عادة باستخدام حامض الهيدروفلوريك المخفف للتخلص من هذه الطبقة العازلة والنااتجة من ترسيب الفسفور.

٥. ترسيب الطبقة المضادة للانعكاس (Anti Reflection coating): ويتم ذلك بطريقة (PECVD) حيث يتم ترسيب مادة SiN التي تعطي اللون الازرق للخلية كما في الشكل (٣-١٤ ج).



شكل (٣-١٤ ج)

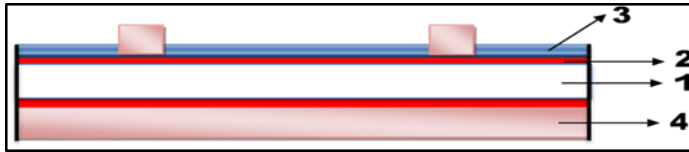
٦. الطبع بالسكربن (Screen Printing): ونستخدم في ذلك عجينة الالمنيوم والفضة لترسيب اقطاب الخلية الشمسية على وجهي الشريحة من خلال قناع يعطي الشكل الخاص بالخلية الشمسية كما في الشكل (٣-١٤ د).



شكل (٣-١٤ د)

٧. المعاملة الحرارية لتحسين التوصيل الكهربائي (**Contact Firing**): ويتم ذلك في افران خاصة وبدرجة 600°C .

٨. عزل نهايات الشريحة (**Edge Isolation**): ويتم ذلك بالليزر الذي يقوم بإزالة طبقة من السليكون في حافة الشريحة فيتم عزل وجهي (قطبي) الشريحة عن بعضهما كما في الشكل (٣-١٤ هـ).



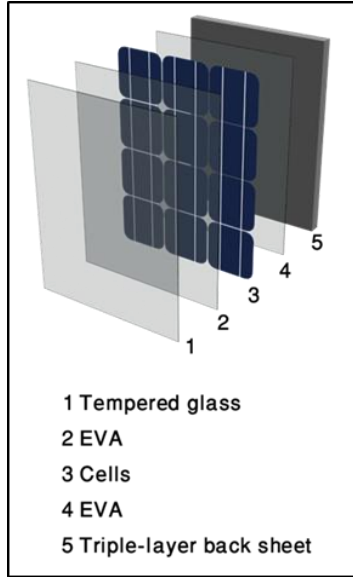
شكل (٣-١٤ هـ)

٩. الفحص والفرز (**Testing and Sorting**): وهنا يتم فحص وتصنيف الخلايا الشمسية من حيث التيار والفولتية إلى أصناف مختلفة.

٣-٨-٤ : تجميع الواح الطاقة الشمسية (**Solar Energy Complex Assembly**)

وتشمل العمليات التالية :

١. لحام الخلايا (**Cell Stringing**): هنا يتم لحام اسلاك بقطبي الخلية وبين خلية واخرى لتكوين شريط الخلايا.
٢. تهيئة اللوح (**Module Preparing**): وتشمل ترتيب اشربة الخلايا فوق الزجاج وطبقة من ال (**EVA**) والقيام بتوصيل ولحام نهايات اللوح، ثم وضع طبقة ثانية من ال (**EVA**) ومن ثم وضع طبقة من (**Tedlar**) للحماية من الظروف الخارجية.



شكل (٣-١٥): تميل الى درجة الحرارة.

٣. الكبس الحراري (**Lamination**): وهنا يتم تفريغ الهواء من بين طبقات اللوح وتسخينه ثم تسليط الضغط عليه للصق وتثبيت طبقات اللوح الشمسي بعضها ببعض وهذا يتم في جهاز واحد يسمى (**Laminator**).
٤. قطع الزوائد (**Trimming**): وهنا يتم قطع زوائد ال (**EVA**) وال (**Tedlar**) الزائدة والخارجة عن حافة الزجاج.
٥. تثبيت الإطار (**Framing**): ويتم بتثبيت شريط لاصق ذو وجهين على حافة اللوح ثم يوضع الإطار ويكبس بجهاز الكبس كما في الشكل (٣-١٥).
٦. تثبيت صندوق التوصيل (**Junction Box Fixing**): ويتم ذلك بتثبيت صندوق التوصيل بواسطة (السليكون المطاطي) ثم ربط أقطاب اللوح بالصندوق كما في الشكل (٣-١٦).



شكل (٣-١٦): يمثل ربط صندوق التوصيل مع الاقطاب.

٣-٨-٥: فحص اللوح (Module Testing)

هنا يتم فحص اللوح وذلك بتسليط شعاع ضوئي مشابه لشعاع الشمس وقياس القدرة المتولدة والفولتية والتيار... الخ. كذلك تجري فحصة الفولتية العالية (High voltage test) للتأكد من جودة العزل الكهربائي للوح كما في الشكل (٣-١٧).



شكل (٣-١٧): يمثل مراحل فحص اللوح الشمسي.

٣-٩: مواد الخلية الضوئية المتقدمة (المواد الضوئية)

(Advances in – Photovoltaic Materials)

للاختيار بين الكفاءة العالية والكلف التصنيعية الواطئة يعتمد على المفاضلة بين استعمال المواد البلورية (**Crystalline**) والاعشبية الرقيقة (**Thin Film**). ان المعدات البلورية هي اكثر فعالية ولكن الاعشبية الرقيقة ذات تكلفة قليلة. عدد من المواد يتم التحقق منها من خلال التركيز على بلورة السليكون والسليكون الغير المتبلور، ان افضل الاعشبية الرقيقة ذات البلورات المتعددة والمواد احادية البلورة توجد في الجدول الدوري (**III-V**) ان بلورات السيلكون هي الاقدم تاريخيا وذات قاعدة تكنولوجية كبيرة ومسيطر على الاسواق وخاصة للوحدات القياسية للخلايا الضوئية.

لفهم (**PV**) وتقنيات التصنيع المتطورة. يعتمد على تقنية صناعة سليكون مبلور يعطي جودة عالية. ان نتيجة دراسات عديدة للبلورات السيلكونية اظهرت ان خلايا السليكون المبلور تتطلب عادة سمك من (٣٠٠-٤٠٠) مايكرو متر من المواد الماصة. حيث ان كفاءة الخلايا تكون تحت سمك (١٠٠-١٥٠) مايكرو متر. ان تحسين وتطوير الكفاءة يتم من خلال البحث لأيجاد مواد جديدة حيث يتم الوصول الى كفاءة ل(٢,٨%) تحت الضوء الشمسي العادي و(٣٦%) تحت تركيز الضوء. ولكن هذه الدراسات تستند على محددات مثالية ولا تأخذ بالحسبان الخسائر الاكيدة التي تظهر ولا يمكن تفاديها في تصنيع الخلايا من حزمة الى حزمة والتداخل الكبير وبعض التداخلات المنبعثة، حتى مع كل هذه الخسائر ان خلايا السليكون ذات الوصلة المفردة يمكن ان تصل بالنهاية الى كفاءة عالية مثل(٣١%) تحت التركيز. الكفاءة العالية ليست الطريق الوحيد التي تاخذها بلورة السليكون المبلور ولكن هناك مجال اخر يمكن سلوكه للحصول على اعلى كفاءة وتكاليف انتاجية واطئة. ان الطريقتان الاساسيتان هما تقنيات الشريط (**Ribbon Technology**)، والتي ينمو بين صفائح من السليكون والسليكون (**Silicon Cast**) والتي تستعمل عمليات صب قوالب مربعة (**Ingots**) تنشر في رقائق صغيرة. ومن ثم كلا الطريقتان تنتج بلورات متعددة قليلة الفعالية واكل تكلفة في الانتاج ويمكن استخدام نقاوة اقل بسبب الخلية متعددة البلورات يمكن ضغطها بكثافة اكثر في نموذج اكثر من الخلية الاحادية الدائرية للخلايا المضلعة المتعددة البلورات والتي يمكن ان تحقق كثافة اكثر في الاضاءة من الخلايا ذات البلورات المفردة. اذ ان النماذج المتعددة يمكن ان تكون ذات فعالية قريبة من الخلية السيلكونية المفردة المستوي.

في عملية تصنيع الاجهزة السيليكونية المتعدد البلورات يستخدم المصممون بعض العوامل التصميمية المتقدمة المشتركة مع خلايا بلورات السليكونية الاحادية مثل الانعكاس الداخلي وانعكاس السطوح الخلفي المعكوس والاعطية المضادة للانعكاس. ان ادوات البلورات المتعددة تملك الفوائد من التعاون بين الهيدروجين الذري لتقليل اتحاد الحوامل بسبب بعض العيوب ومحيط الحبيبات وكتيجة لهذه التحسينات ان الكفاءة لهذه الخلايا التجريبية تملك حوالي (١٧%) من كفاءة السليكون الهيدروجيني الغير متبلور (a-si:H) والذي يقود البدائل للسليكون المتبلور المتعدد. ان الخلية ذات الرابط المفرد وصلت الى الكفاءة (١٢%) والادوات ذات الرابط وصلت الى كفاءة (٣, ١٣) وهناك نماذج فرعية تملك كفاءات (٥٩%).

السليكون غير المتبلور هو ذو قدرة امتصاص عالية تقدر من (١-٢) مايكرو متر وله القدرة على امتصاص (٩٩%) من الضوء الساقط اعلى من (1.7eV) من حزمة طاقة المواد. الطبقات غير المتبلورة الرقيقة يمكن ان تقدم عدة انواع غير مكلفة مثل الفولاذ والزجاج والبلاستيك وهناك نوعان اساسيان من العوائق لاستخدام السليكون الغير متبلور الاول هو ان (q-si: H) تكون المعدات اقل كفاءة بعد التعرض الأولي لاشعة الشمس. والادوات الاولى تفقد (٥٠%) من الكفاءة. ان البحوث في هذه المجالات بينت ان احد هذه الاسباب المؤثرة هي عيوب الضوء. والمعروف بالفرق المتدلية (Dangling bonds) في الطبقات الاساسية لذلك قام بعض المصنعون بصنع بعض النماذج من طبقات اساسية رقيقة جداً. واستخدم اخرون اثنان من الخلايا (a+si:H) ببساطة لتكون طبقات داخلية رقيقة جداً. ان الاخرى هي الكفاءة القليلة ولكن بتحسين عمليات التشكيل والتصميم بتقليل عمليات التركيب في الطبقات الاساسية وتأثير المقاومة في اشباه الموصلات على التيار. ان كفاءة الخلايا وفي المساحات الصغيرة يجب ان تصل الى (١٥%) والتي تكون في نماذج اخرى فرعية تصل الى ما بين (١٠-١٢%) والكفاءات الاعلى يمكن الحصول عليها من سبائك السليكون الغير مبلور في الخلايا المتعددة الرابط. في هذه الادوات للخلايا ومواد مختلفة وبمساعادات مختلفة للوصول الى قمة الصنع لفجوات اخرى منحدره منها والمطلوبة مع كل خلية معدلة لكل موقع خاص بها بالنسبة للطيف الشمسي. ان هذا التعريف يفصل ضوء الشمس بصورة فعالة اكثر لذلك ان الكفاءة للخلايا ذات رابطان اثنان يجب ان تصل الى (١٧%) والتي تملك ثلاث روابط يجب ان تصل تقريبا الى

(٢٤%) ان البلورات الرقيقة مثل ثنائي سيلينيوم انديوم النحاس (Cu InSe) وتولورايد الكادميوم (CdTe) يعرض كل فوائد السليكون الغير مبلور وهي ذات امتصاصية عالية من مواد قليلة جدا وهي تصنع بطريقة اوتوماتيكية كاملة وهي تعاني من التاكل بسبب ضوء الشمس ويمكن ان تصنع عن طريق تقنية واعدة وكفاءة عالية لـ (CdTe) والنماذج الفرعية تزداد الى اكثر من (٧%) وبينما في المساحات الصغيرة تزيد عن (١١%) ونماذج الـ (CuInSe₂) تملك كفاءة اكثر من (١١%) للخلايا الجديدة.

ان الكفاءات العالية يمكن الحصول عليها مع المواد (III-V) وابرزها زرنخييد الجاليوم وسبائكها مثل زرنخييد الالمنيوم كادميوم و (GaAs) وهي المواد (PV) المثالية لانها تملك القيمة العظمى من الفجوات لخلية ذات رابط واحد وذات امتصاصية عالية (GaAs)، يمكن ان تكون سبيكة لعدة مواد مختلفة لتعديل الفجوات المرغوبة للحصول على كفاءة عالية في الخلايا متعددة الروابط. ان (٢٢,٤%) كفاءة تم الحصول عليها من استخدام (GaAs) في صنع ادوات من في البلورات المنفردة الاحادية مما زاد في احتمالية ان الادوات المصنوعة من (GaAs) يمكن ان تكون فعالة وغير مكلفة ان (GaAs) قد سجلت ايضا كفاءة لخلايا متعددة البلورات تحت اضاءة الشمس (٢٤,٣%) وخلايا ذات بلورات احادية تحت تركيز اشعة الشمس قد وصل الى (٢٩,٣%) وكل الوقت المسجل لكل الخلايا (GaAs) لخلايا ذات رابطان يملك كفاءة (٣١%) تحت تركيز ضوء الشمس.

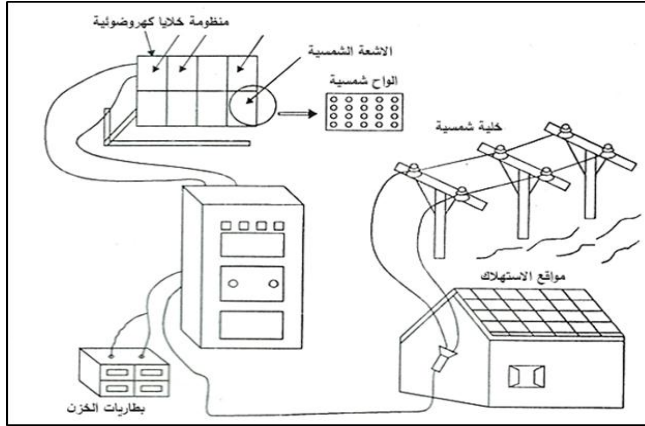
ان زرنخييد الكاليوم (gallium arsenide) وسبائكها الثلاثية (ternary) التي اساسها مواد (III-V) يمكن ان تستخدم في عدة تصاميم واعدة للخلايا متعددة الروابط. ان الفجوة (GaAs) هي مثالية للخلايا المتوسطة للادوات ثلاثية الربط ان الشريك الافضل لـ (GaAs) يجب ان يكون مثل (AlGaAs) لـ (فجوات عالية) و (In)(GaAs) لفجوات قليلة مثل اعادة التركيب يجب ان يطابق المشبك الثابت بصورة جيدة ويجب ان يسمح لتناغم التصنيع مما يعزز الحصول على كفاءة من (٣٥-٤٠%).

الطاقة الضوئية الشمسية (SPV) يمكن ان تكون اما شبكية تبادلية بوضع مستقل ومعتمدة على نفسها. ان مساهمة اضافة الشبكة المستقلة والشبكة التبادلية عزز موقف محطات الطاقة (SPV) فوق سطح المنازل والذي يلبي الحاجة اثناء فترة اضاءة الشمس كما موضح في شكل رقم (٣-١٨).

ان هذه المنظومات تم تصميمها لانتاج طاقة كهربائية تليبي احتياجات المطاعم والبيوت السكنية القدرة المتوسطة (100kw-1Mw) ومحطات القدرة المركزية الاكبر (قدرتها اكبر من 1MW) قد صممت بصورة طبيعية بطريقة مشابهة لمحطات الطاقة التقليدية (التيار الكهربائي المباشر DC) الكهرباء المتولد من محطات (SPV) هو اول تيار تم تحويله الى تيار متناوب من خلال المحولات المتزامنة مع تردد الشبكة قبل توزيعها على الشبكة المستخدمة ولا يوجد هناك ادوات تخزين مفصولة تستخدم مع مثل هكذا انظمة شبكية.

ومن جهة اخرى ان منظومة (SPV) المستقلة قد تزود بأحمال محددة كما في التصميم وهذه يمكن ان تكون (DC) او (AC) بالاعتماد على المتطلبات من المنظومات اذا كانت هذه الاحمال محددة اثناء الساعات الغير مشمسة في هذه الحالة يجب ان تضاف ادوات خزن طاقة الى المنظومة.

ان صفوف منظومة (SPV) التي تولد الكهرباء اثناء الساعات المشمسة والتي تخزن وتجهز الى الاحمال المطلوبة اثناء الفترات الغير شمسية. في العادة معظم ادوات خزن الطاقة تحتوي بطاريات كهروكيميائية. ان الاحمال اثناء فترات الضوء الشمسي تأخذ مباشرة من صفوف منظومة (SPV) وازافتها الى الاحمال المطلوبة بدون الحاجة الى الطاقة المخزونة في الكهروكيميائية.



شكل (٣-١٨): يمثل محطة طاقة شمسية.

٣-١١: توليد الطاقة بواسطة الخلايا الضوئية الشمسية (SPV) القيود والمسائل

(PV power Generation: Issues and Constraints)

ان الكلف المتوقعة لمنظومات (PV) ستكون منافسة لأختيار طاقات اخرى عند تطبيق القدرة القصوى. ان الوجود الكامن لقدرة الخلايا الضوئية (PV) يعتبر من المصادر الأساسية في العالم لتوليد الطاقة الكهربائية. ان المصادر الشمسية يمكن بسهولة ان تخرق هذا المستوى من الطاقة وان تكون مصدر مساند لمصادر الطاقات الاخرى. وعلى كل حال هنالك عوامل مهمة تتضمنها تخمينات الكلفة مثل متطلبات المسوحات الارضية المطابقة لشبكة توزيع القدرة الكهربائية مع شبكة المصادر الشمسية المشاركة لها والذان سوف يؤثران على معدل ودرجة منافسة الخلايا الضوئية (PV) في الاسواق. هذه المسائل تساعد قدرات للمحطات الكهروضوئية لانتاج طاقة متوسطة وعلى اساس الاحمال للشبكات الرئيسية. هناك مساحات في العالم تغطيها شبكات الخلايا الضوئية (PV) مربوطة معها تحتوي على صفوف صغيرة وتعمل على توزيع الطاقة وجعلها اقتصادية أكثر لهذه الكلف ومنافسة لمصادر توليد الطاقة من المصادر الاخرى.

٣-١٢: الكلفة (Cost)

ان البحوث وتطور التكنولوجيا أدى الى تقليل كلف توليد الطاقة بواسطة المولدات الضوئية (PV) حوالي (0.03\$/kwh) بدون كلفة الخزن التي يمكن ان يمكن تقليلها في المستقبل

بواسطة فعاليات البحوث والتطوير. ان هذه الكلفة ضمن مدى الاسعار المدفوعة حالياً ضمن ساعات الذروة في ايام الصيف الاكثر حرأً.

بالاضافة الى ذلك ان القدرة المتولدة بهذه الطريقة (PV) ملائمة للبيئية والمجتمع والمحلات التجارية والاقتصادية والمستقبلية. في التحليل لمثل هذه الحقائق البيئية تحسب لاسعار السوق الحالي لتكون اقتصادية مع الكهرباء المولدة تقليدياً.

٣-١٣ : مصادر التداخل الشبكي (Grid Interface Issues)

توجد مراكز كثيرة لتوليد وتوزيع الخلايا الضوئية (PV) ومنظومات قدرة للشبكات المتفرقة و المتصلة تشترك في مشكلتين ذات مجالات ترتبط داخليا وتتفاعل مع الشبكة العامة لتوزيع القدرة الكهربائية فالمشكلة الاولى هي جوهرية ترتبط بالتكنولوجيا والثانية مرتبطة بتقاطع في الموارد الشمسية.

٣-١٤ : التخزين (Storage)

اضافة الى كلفة تصنيع الوحدة القياسية للخلية الضوئية (PV)، ان الحدود الرئيسية على نطاق واسع للاحمال الاساسية في استخدام القدرة (PV) هو عدم وجود انظمة قليلة الكلفة لخزن القدرة الكهربائية المولدة اثناء فترات الضوء الشمسي. هناك شروط بيئية مهمة وفوائد امنية للطاقة المشتركة مع استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الطاقة الاساسية للاحمال. ان تطور الابحاث وتطورات التقنية وتخفيض الكلف المالية (PC) الملائمة. مع تقنيات الخزن القصيرة وطويلة الامد هي المعيار الاساسي لتنافس الطاقة المتجددة لتكون منافسة في الاسواق المحلية. ان بطاريات الخزن الحامضية والمضخات الهيدروليكية وضغطات خزن الهواء المضغوط ستكون في المستقبل خلايا الوقود، انتاج الكهرباء الهيدروجينية وانتاج الطاقة.

٣-١٥ : الطاقة الشمسية الفضائية (Space Solar Energy)

الطاقة الشمسية الفضائية هي تحويل الطاقة الشمسية المكتسبة في الفضاء الى اي نوع اخر من الطاقة وبالأخص الى طاقة كهربائية من خلال وضع اقمار صناعية كبيرة في مدارات في الفضاء تكون عبارة عن اجسام عملاقة قابلة للتمدد.

تتكون من الواح وهوائيات قادرة على تجميع اشعة الشمس بحزم ضوئية وارسالها الى محطات استقبال موجودة على سطح الارض وتحويلها الى طاقة كهربائية تنقل خلال شبكات

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

خطوط الكهرباء بغض النظر عن الفصل او الطقس او المكان على النقيض من الطاقة الكهربائية المتولدة في المحطات الارضية الشمسية.

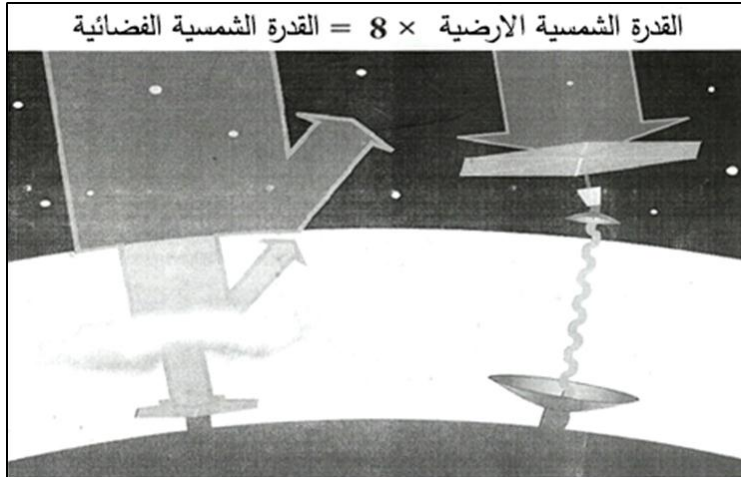
تم العملية بتثبيت اقمار صناعية على مدارات تبعد (٢٢) الف ميل في الفضاء وتبعث تلك الاقمار الصناعية الاف ميكواط من الطاقة الشمسية بترددات كهرومغناطيسية الى اجهزة استقبال على الارض حيث يتم تحويلها الى كهرباء. تتمركز هذه الاقمار الصناعية في تلك المدارات البعيدة ونظرا لعدم انعكاس ظل الارض عليها يعني فيضا لاينضب ومتوصلا على مدار الساعة من الطاقة الكهربائية المتجددة.

تمت عدة دراسات وبحوث في هذا المجال في دائرة الطاقة بوكالة الفضاء والطيران الامريكية (ناسا) واظهرت تلك البحوث امكانية تطبيق تلك التقنية باستثناء كلفها الباهضة ومتطلبات الامان البيئية.

٣-١٥-١: نقل الطاقة الفضائية (Space Energy Transmission)

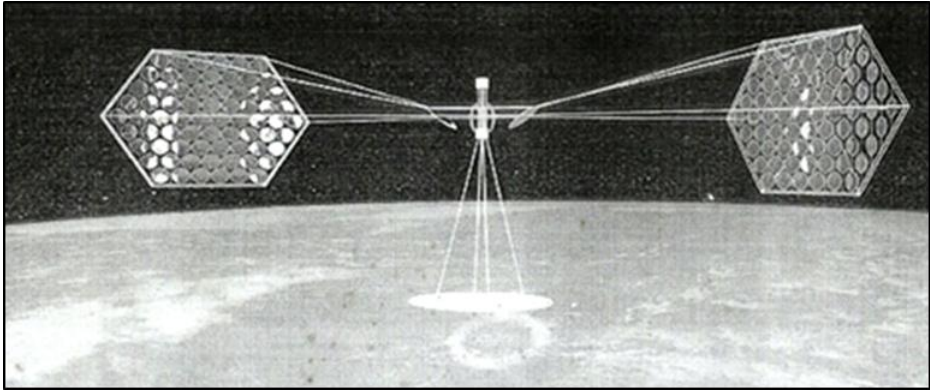
يتم نقل الطاقة الشمسية الفضائية بواسطة:-

أ. المرايا الفضائية العاكسة ومحطات استلام الخلايا الضوئية كما موضح في شكل (٣-١٩). ان طاقة الشمس في الفضاء تعادل ثمانية مرات الطاقة الشمسية في الارض.

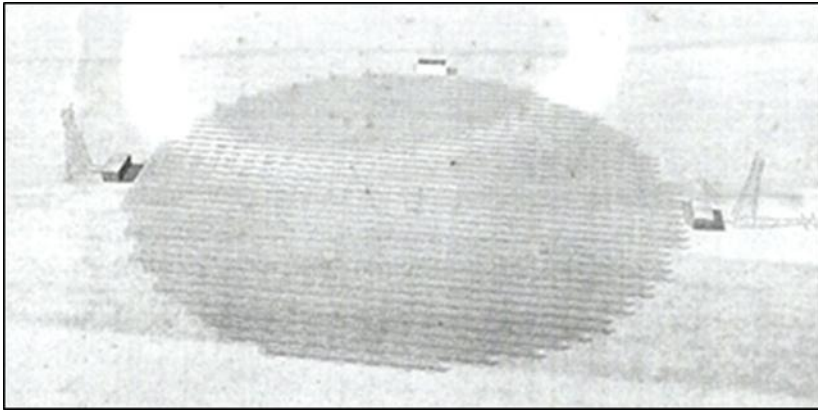


شكل (٣-١٩ أ): يمثل نقل الاشعاع الشمسي من الفضاء الى الارض بواسطة المرايا العاكسة.

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

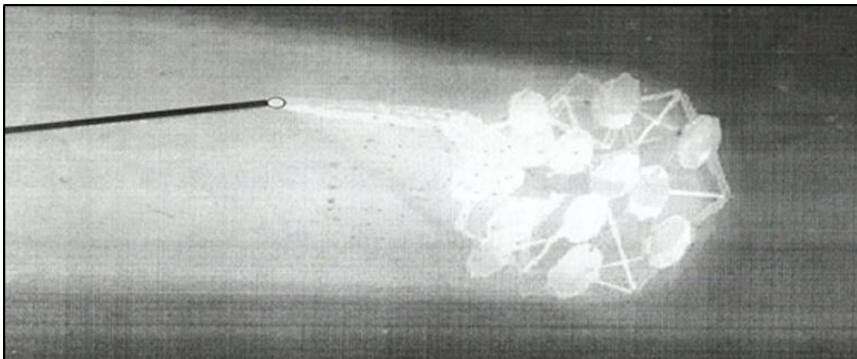


شكل (٣- ١٩ ب): نوع اخر يمثل نقل الاشعاع الشمسي من الفضاء الى الارض بواسطة المرايا العاكسة.



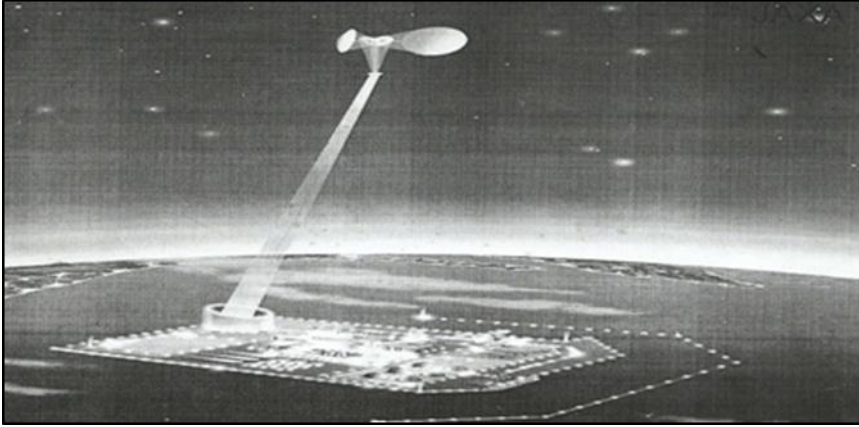
شكل (٣- ١٩ ج): يمثل نقل الشعاع الشمسي من الفضاء الى الارض بواسطة المرايا العاكسة.

ب- بواسطة الليزر كما موضح في الشكل (٣- ٢١)



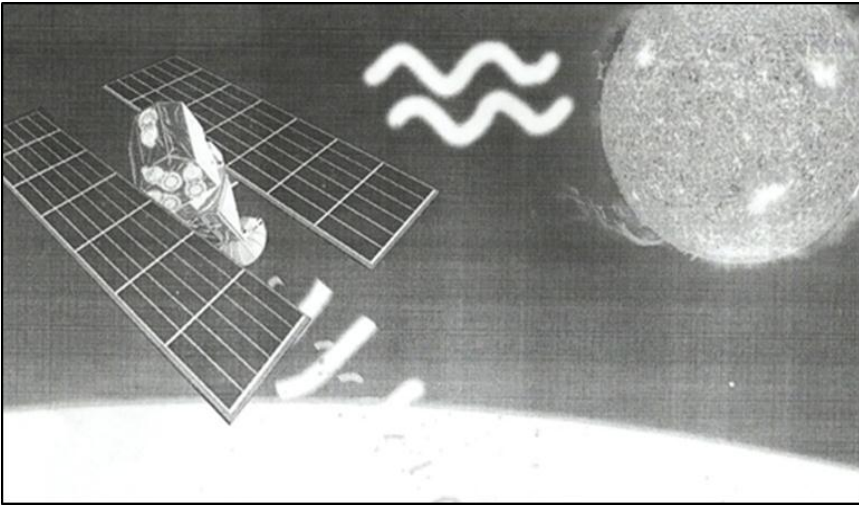
شكل (٣- ٢٠ أ): يمثل توليد حزمة الليزر في الفضاء.

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية



شكل (٣- ٢٠ب): يمثل نقل اشعة الشمس من الفضاء الى الارض بواسطة حزمة الليزر.

ج- النقل بواسطة موجات المايكرووف كما موضح في الشكل (٣- ٢٣).

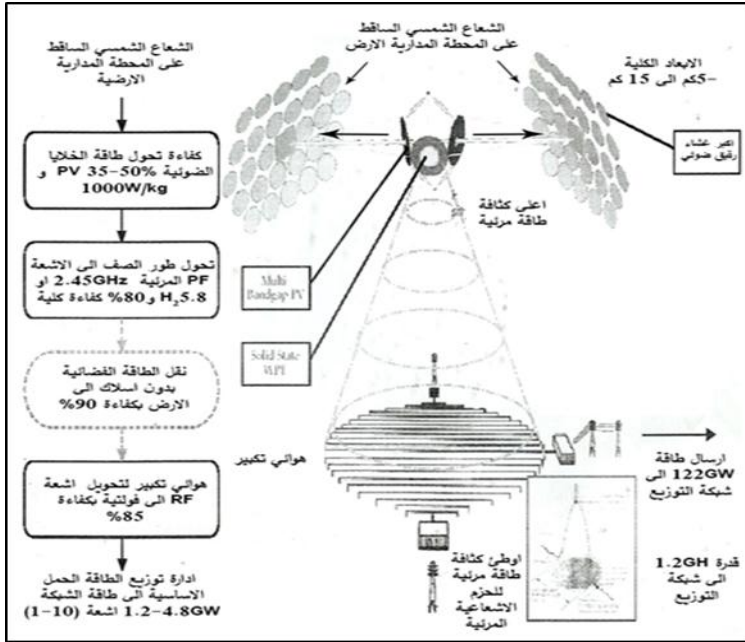


شكل (٣- ٢١): يمثل نقل الاشعاع الشمسي من الفضاء الى الارض بواسطة الموجات القصيرة.

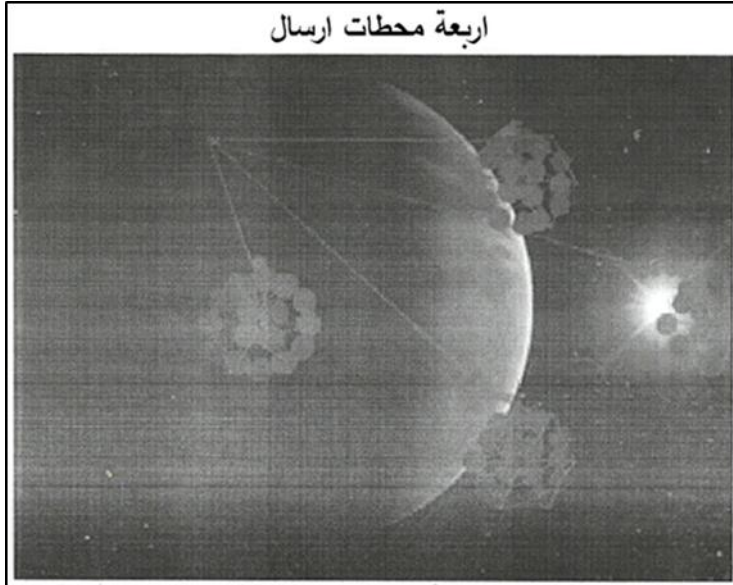
الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

٣-١٥-٢: خطوات نقل الطاقة الفضائية (Space Energy Transmission Steps): بين

المخطط (٣-٢٣) اسلوب وخطوات نقل الطاقة الفضائية



شكل (٣-٢٢): يمثل سيناريو نقل الشعاع الشمسي من الفضاء الى الارض.



شكل (٣-٢٣): يمثل اربعة محطات نقل فضائية لمستلم ارضي واحد.

٣-١٥-٣: ايجابيات الطاقة الفضائية (Advantage of Space Energy)

تتميز الطاقة الفضائية بما يلي:-

- أ. شدة الاضاءة الشمسية تكون أكثر.
- ب. مدار المنطقة الفضائية يعادل ٣٦٠٠٠ كيلومتر وفترة الاضاءة تعادل ٩٩% من الوقت.
- ج. لا حاجة لأجهزة التخزين كون اشعة الشمس موجودة بصورة دائمية.
- د. الحرارة الفائضة تعاد الى الفضاء.
- هـ. يمكن ارسال القدرة الى الموقع بشكل حزمة عندها الحاجة ولا تحتاج الى شبكة واسعة.
- و. عدم تلوث الماء والهواء خلال توليد الطاقة الكهربائية.

٣-١٥-٤: مساوئ الطاقة الفضائية (Disadvantage of Space Energy)

هنالك عدة مساوئ نتيجة استخدام الطاقة الفضائية والمدرجة ادناه:-

- أ. تتداخل موجات المايكرويف مع موجات الاجهزة الالكترونية الاخرى عند ارسالها.
- ب. تؤثر نوعا ما على صحة الإنسان وبيئته.
- ج. النقل بواسطة البزر يؤثر على العين والجلد والاجسام الطائرة.
- د. الموقع وحجم التشييد لشبكات الاستلام كبير ومعقد.
- هـ. كلف النصب والادامة لشبكات الاستلام كبير.
- و. التداخل مع الأشعة الكونية.

٣-١٦: استخدام الخلايا الضوئية (Photovoltaic Utilization)

إن مقدار كفاءة استخدام الخلايا الكهروضوئية يصل الى ٢٠%. ولتحسينها سيتم وضع مولدات الكهرباء الكهروضوئية في الفضاء على شكل محطات فضائية مدارية على إرتفاع ٣٥ ألف كيلومتر فوق سطح الأرض. وستكون طاقتها التوليدية ٥٠٠٠ ميكاواط من التيار المستمر. وسيتم نقل تلك الطاقة إلى الأرض عبر الأثير على شكل موجات مايكروية بتردد ٢٤٥٠ ميكاهيرتز أو باستخدام أشعة الليزر.

يتم التركيز على ادخال الخلايا الضوئية كمصدر للطاقة المتجددة في التطبيقات الارضية والاستخدام في قطاع السكن والصحة والتعليم والصناعة والزراعة والنفط وغيرها من الاستخدامات.

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

ان الخلايا الضوئية جذابة اقتصاديا في المناطق المعزولة والنائية حيث تقلل كلف شبكات الكهرباء العامة وتساعد في الأبناء الاقتصادي والتطوير الاجتماعي المحلي ويعول عليها كمصدر للطاقة الكهربائية كون ليس لها اجزاء متحركة او ذات عمر طويل يتراوح (١٥-٣٥ سنة) وكونها طاقة نظيفة غير مضررة بالبيئة ومصادر للطاقة التي لاتنفذ وقلة تكاليف انتاجها. ولكن هنالك مشاكل تواجه استخدامها هي وجود الغبار وضرورة تنظيف اجهزة الطاقة الشمسية على فترات لاتتجاوز ثلاثة ايام لكل فترة وتختلف هذه الطرق من بلد الى اخر معتمدة على طبيعة الغبار وطبيعة الطقس في ذلك البلد. او يمكن استخدام المنظف الضوئي الذي يعتمد ويتحسس شدة الضوء الواصل الى الخلية نتيجة اضعافه عن طريق الغبار. والمشكلة الثانية هي خزن الطاقة الشمسية والاستفادة منها اثناء الليل او الايام المعتمة والمغبرة ويعتمد خزن الطاقة الشمسية على طبيعة وكمية الطاقة الشمسية ونوع وفترة الاستخدام والتكلفة الاجمالية ومن استخداماتها:-

أ. تأمين الطاقة لقوارب ويخوت الملاحية البحرية.

ب. اضاءة الشوارع والارصفة على سواحل الموانئ والمنشآت البحرية على الشواطئ والبحر

كما موضحة في الشكل (٣-٢٥)



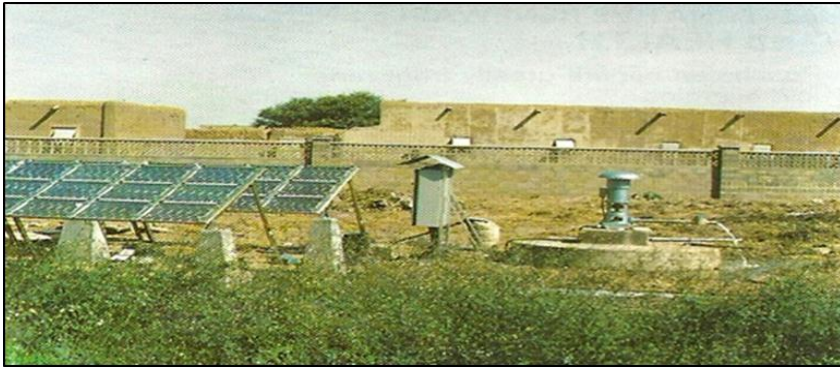
شكل (٣-٢٤): يمثل منظومة اضاءة شوارع الموانئ بالخلايا الشمسية.

ج. في مجال الاتصالات كما موضح في الشكل (٢٦-٣)

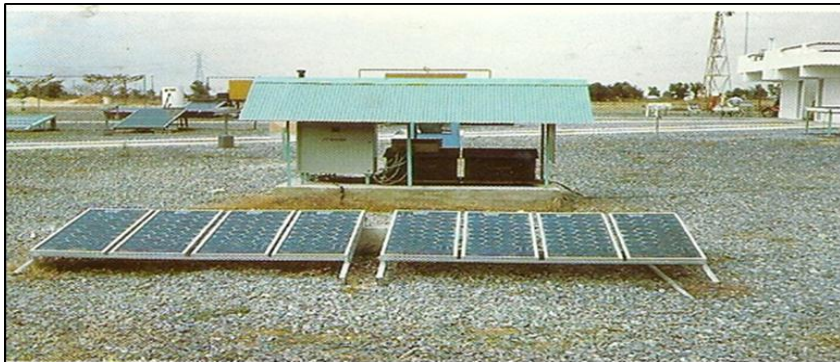


شكل (٢٥-٣): يمثل تلفون طوارئ في طرق النقل الخارجية يعمل بالخلايا الشمسية.

د. تشغيل مضخات الري ومياه الشرب كما موضحة في الشكل (٢٧-٣)



شكل (٢٦-٣): يمثل منظومة ري لسقي الحدائق بالخلايا الشمسية.



شكل (٢٧-٣): يمثل منظومة ري لسقي المزارع بالتنقيط بالخلايا الشمسية.

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

هـ. علامات الطرق السريعة وخطوط السكك الحديدية في الصحراء كما موضح في الشكل (٣-٢٨).
(٢٨).



شكل (٣-٢٨): يمثل محطة مراقبة سير القطارات تعمل بالخلايا الشمسية.

و. تزويد المركبات الصناعية الفضائية بالطاقة الكهربائية:-

فعند اطلاق الاقمار الصناعية والمراكب الفضائية فقد تم تثبيت الخلايا الضوئية على الاسطح وقد اثبتت فعاليتها في هذ المجال ولا تزال تعمل على ارسال الاشارات دون توقف في حين ان البطارية قد توقفت عن العمل بعد وقت قصير لتبدأ رحلة السفينة كما موضح في الشكل (٣-٢٩).



شكل (٣-٢٩): يمثل طائرة تعمل بالخلايا الشمسية.

ز. طائرات تعمل بالطاقة الشمسية:-

قامت طائرة هليوس غير مزودة بطاقم عمل بشري وتعمل بالطاقة الشمسية برحلة طيران. في عام ١٩٧٤، تعتبر " صن رايز ٢"، وهي طائرة غير مزودة بطاقم عمل بشري، أول طائرة بالطاقة الشمسية تقوم برحلة طيران. وفي التاسع والعشرين من أبريل عام ١٩٧٩، تعتبر "سولار رايزر" أول طائرة تقوم بأول رحلة باستخدام الطاقة الشمسية، مع التحكم فيها بشكل كامل ووجود طاقم عمل كامل ووصلت إلى ارتفاع ٤٠ قدم.

وفي عام ١٩٨٠، كانت "ذي جوسمار بنجوين" أول طائرة تقوم برحلات سابقة من نوعها بواسطة طيار باستخدام الطاقة الفولتوضوئية فقط. تبع ذلك سريعاً قيام طائرة "سولار تشالنجر" بعبور القناة الإنجليزية في شهر يوليو عام ١٩٨١. وفي عام ١٩٩٠، قام "إيريك رايموند" بـ٢١ رحلة من كاليفورنيا إلى كارولينا الشمالية باستخدام طائرة تعمل بالطاقة الشمسية. بعد ذلك، من التطورات مما أدى إلى ظهور مرة أخرى طائرات غير مزودة بطاقم عمل بشري وتعمل بالطاقة الشمسية؛ حيث تتمثل أول عودة لهذه الطائرات في "بانفايندر" عام ١٩٩٧، ثم توالى بعد ذلك العديد من التصميمات الأخرى، وأهمها طائرة "هليوس" التي سجلت رقماً قياسياً في الارتفاع في الجو بالنسبة لطائرة لا تدفعها الصواريخ، حيث وصل ارتفاعها إلى 29.524 متر والى ارتفاع ٥٢٤ متر عام ٢٠٠١. وتُعد الطائرة " زيفاير آخر الطائرات التي تعمل بالطاقة الشمسية والتي سجلت أرقامًا قياسية، ولقد قامت بتطويرها شركة " بي إيه إي"؛ حيث طارت لمدة ٥٤ ساعة في الجو في عام ٢٠٠٧. ومن المتوقع أن تكون هناك رحلات تستمر لمدة شهر في الجو.

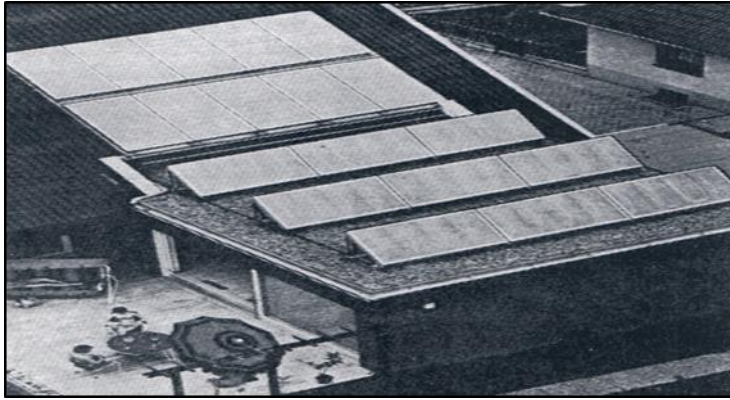
ح- المنطاد الشمسي:-

في عام ٢٠١٠ تم تسخين الهواء في المنطاد بالطاقة الشمسية. المنطاد الشمسي، فهو عبارة عن منطاد أسود مملوء بهواء عادي وعندما تشرق أشعة الشمس على المنطاد، يسخن الهواء الموجود داخله ويتمدد مما يؤدي إلى وجود قوة دافعة لأعلى، مثل المنطاد المملوء بالهواء الذي يتم تسخينه صناعياً. وبعض المناطيد الشمسية تكون كبيرة بدرجة كافية تسمح بحمل الإنسان، ولكن يقتصر استخدامها على محلات الأدوات الترفيهيه لأن نسبة مساحة سطحها إلى وزن الحمل الصافي تكون عالية نسبياً.

ط- سفن تعمل بالطاقة الشمسية:-

أما السفن التي تعمل بالطاقة الشمسية، فإنها شكل من أشكال سفن الفضاء التي يتم دفعها باستخدام مرايا رقيقة للاستفادة من ضغط الطاقة المشعة الناتجة عن الشمس. وعلى العكس من الصواريخ، فإن السفن التي تعمل بالطاقة الشمسية لا تحتاج إمدادها بالوقود. وعلى الرغم من أن قوة الدفع للأعلى ضعيفة بالمقارنة بتلك التي تخص الصواريخ، فإن السفينة تستمر في الصعود طوال فترة إشراق الشمس عليها ويمكن أن تحقق سرعات عالية في الفضاء. تجدر الإشارة إلى أن المناطيد المزودة بمحرك والتي تصل لارتفاعات عالية عبارة عن طائرة غير مزودة بطاقم عمل بشري وتستمر في الطيران لمدة طويلة كما أن وزنها أخف من وزن الهواء وتستخدم غاز الهليوم لرفعها وخلايا شمسية ذات طبقة رقيقة لإمدادها بالطاقة.

ي- التدفئة والتبريد بواسطة الخلايا الشمسية:-



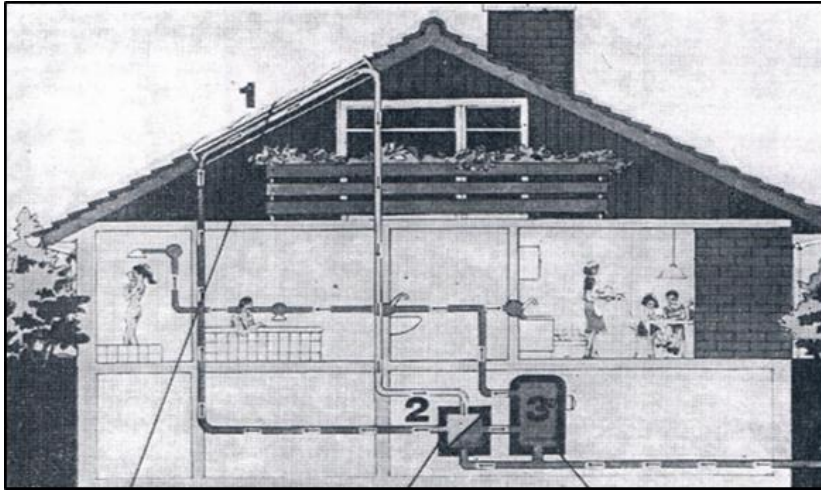
شكل رقم (٣-٣٠): خلايا شمسية مساحتها ٣٨ m2 تقوم بتدفئة وحدة سكنية مع تسخين مسيح

خارجي (ستيل الكترول) المانيا الاتحادية.

الجزء الأساسي لهذه الخلية الشمسية هي لوح من الزجاج البلاستيكي موزعة عليه بالتساوي جزئيات من أصباغ عضوية. عند مرور أشعة الشمس من خلالها، تتحفز تلك الجزئيات مطلقةً أشعة فلورية (فلورسينت) تنتشر في داخل اللوح وتنعكس في جميع الاتجاهات. ويبقى حوالي 75% من تلك الطاقة في داخل اللوحة بحيث تتركز على المقاطع الجانبية لها، حيث تسقط هناك على الخلايا الشمسية. وبإمكان هذا النوع من الخلايا الشمسية العمل حتى في حالات الضوء المتشتت والضباب والجو الغائم. وحاليا يتم تصميم خلايا مثلثة الشكل يكون طول

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

أذرعها لغاية 2m. والجانب القصير منها سيتألف من مرآة تسمح بمرور الضوء الى داخل الخلية باتجاه واحد فقط. وبهذه الطريقة سيتم الحصول على كفاءة أكثر مئة مرة من كفاءة الخلايا الاعتيادية. تقوم شركة سيبيال الترون بانتاج معدات طاقة شمسية مستقلة لمختلف انواع الدور السكنية. والشكل رقم (٣-٣٠) توضح خلية شمسية مساحتها $38m^2$ تقوم بتسخين مساح خارجي بالاضافة الى تدفئة المنزل بأكمله. وفي الشكل رقم (٣-٣١) مثال على تسخين الماء لوحدة سكنية باستخدام خلية شمسية مثبتة أيضاً على سطح الوحدة السكنية. الدورة الرئيسية للخلية الشمسية تؤدي الى مبادل حراري يكون موصول بدوره الى الدورة الثانوية التي تقوم بتجهيز الماء الساخن الى مختلف المستهلكات في الوحدة السكنية. ويمكن للخلية الواحدة التي مساحتها $2 m^2$ أن تقوم بتجهيز $1500 kWh$ من الحرارة. والجهاز بأكمله يتم التحكم به إلكترونياً وتتكون الخلية من الاجزاء الاتية:-



شكل (٣-٣١): خلية شمسية لتسخين الماء في دار سكنية (سيبيال الترون، المانيا الاتحادية).

١. الخلية الشمسية طراز SOL 20 ($2M^2$) تقوم بتجهيز $1500kWh$ من الحرارة.
 ٢. الدورة الأساسية والتي يتم تسخينها مباشرة بواسطة الخلية الشمسية.
 ٣. سخان الماء الحار بأحجام ٤٠٠، ٦٠٠ أو ١٠٠٠ لتر.
- وجميع هذه الاجراء يتم التحكم بها إلكترونياً.

وقد قامت شركة (MBB ميزرشميدت - بولكو- بلوم) ببناء محطة كهرباء شمسية على شكل "حقل للخلايا الشمسية" بقدرة 10 kW والتي كانت قد تم ارسالها في عام ١٩٧٧ الى المعهد التقني في مادراس بالهند. ويمكن ملاحظة مخطط تلك المحطة الكهربائية في الصورة رقم ٥٤. فقد تم في بنائها باستخدام عناصر تقنية مصنعة بطريقة تسلسلية. حيث يتم الحصول على الحرارة بواسطة الخلية

الشمسية المسطحة (١) بمساحة 32 m^2 والموصولة بخزان للماء الساخن بدون ضغط (٢). أما بالنسبة للمولد الدوار (G) فيتم تدويره بواسطة الضاغط الحلزوني (٥) ذو قابلية الدوران العكسي والذي يعمل كصمام تمدد كما موضح في الشكل (٣-٣١)

٣-١٧: اقتصاديات الخلايا الضوئية الشمسية

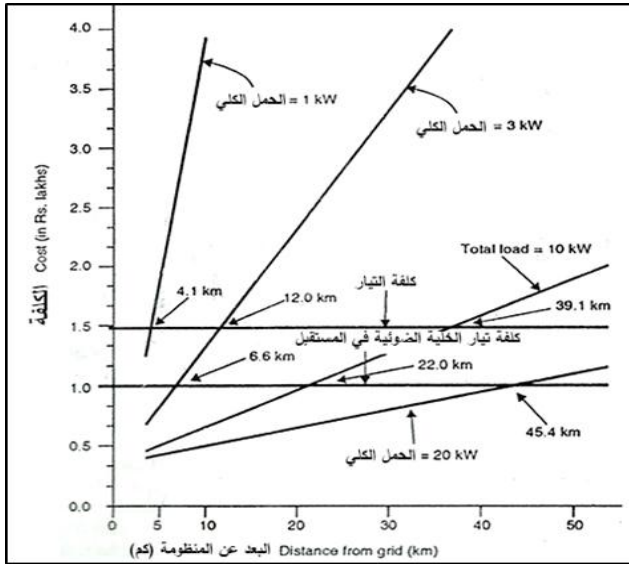
(Economics of Solar Photovoltaic's)

هناك عدة دراسات اجريت لتقييم اقتصاديات انظمة الخلايا الضوئية في العالم، على الرغم من اعتماد اقتصادية الخلايا الضوئية على نوع التطبيقات، والمواقع، من حيث مكان تنصيب المنظومة، وتوفر القدرة الكهربائية التقليدية. انظمة (PV) الشمسية يمكن ان تتنافس في الكلفة للمسافات حوالي (٤-١٢ كم) اذا كانت متطلبات الحمل هي (١-٣) كيلو واط. (شكل ٣-٣٢) يمثل تكاليف اللواح الكهروضوئية للقرى التي تبعد ١٠ كيلو متر مع حمل (١٠ kw) (المتضمنة مصابيح الشوارع والاستخدام الزراعي والصناعي). ان الخلايا الكهروضوئية الشمسية هي اكثر تكلفة من شبكة النقل لهذه الحمولة. عندما تبعد القرية (٤٠ كيلو متر) عن الشبكة او اكثر. تكون النظم الكهربائية الضوئية هي اكثر اقتصادا. ان المنظومات الشمسية تقدم طاقة كهربائية للاماكن البعيدة مثل القرى التي تعاني من نقص الطاقة والتي لا يمكن ان تحصل عليها والخدمات الاجتماعية الاخرى مثل الصحة ومحو الامية في فترة زمنية قصيرة، ان الاستثمارات في تنمية الانظمة (PV) في الاماكن الجبلية والمناطق الصحراوية والمناطق الاخرى الغير موصولة مثل القرى التي فيها الكهرباء في الخطة والتي تبعد اكثر من (٨ كيلو متر) من الشبكة يمكن ان تكون مبررة اقتصاديا حتى اليوم. هناك مساحات كبيرة جدا تنطبق عليها هذه الشروط، لذلك هي مبررة اقتصاديا للاستثمار الجماهيري لتصنع الطاقة الكهروضوئية في المقاييس الاقتصادية لهذه المساحات بدلا من استثمار الطاقة التقليدية.

الفصل الثالث : الخلايا الشمسية

من اهم فوائد انظمة الطاقة (الشمسية) الضوئية:-

- تجهز المناطق البعيدة جدا في فترة قصيرة جدا بالطاقة الكهربائية وكمثال هناك أكثر من (٤٣٠٠) قرية في الهند لا توجد فيها كهرباء والتي تستضيء عن طريق انظمة الطاقة الكهروضوئية، والتي لا تستطيع الحصول على بالكهرباء من المصادر التقليدية من (١٥-٢٠ سنة) بسبب صعوبة وبعد مواقعهم.
- تجهز طاقة نظيفة ومصادرها لا تنضب ولا تملك اجزاء غير متحركة يمكن صيانتها موقعيا. ان احتوائها على عدد من نماذج الخلايا الشمسية و لها مدى واسع من التطبيقات واحجام وانواع مختلفة وبنفس الكفاءة والتقنية. يمكن تصنيع الخلايا الشمسية بسهولة وقد تكون على شكل ترانزوسترات واشابه الموصلات ودوائر متكاملة. وفي الاسواق المحلية. هذا التوزيع متوقع ليأتي بتقليل الكلفة الناتج عن المقياس الاقتصادي والتقدم في التكنولوجيا في صناعة الخلية وتطوير خلايا رقيقة جديدة والذي سوف يقلل من التكلفة في تقنيات الخلية الضوئية الشمسية.



شكل (٣-٣٢): مقارنة بين القيم الحالية لتكاليف منظومة الشبكة الضوئية مع امتداد الشبكة لانهارة الشوارع باحمال مختلفة ومسافات متباينة.

طاقة الشمس الحرارية Solar-Thermal Energy

٤-١ : المقدمة (Introduction)

تعتبر الطاقة الشمسية عاملاً أساسياً، لا يمكن الاستغناء عنه، لتكيف الوجود البشري على الأرض. يصل إلى الأرض ما يعادل جزء من ٢ مليار جزء من الأشعة الكلية المنبعثة من الشمس، وهذه الكمية في الدقيقة الواحدة تساوي الطاقة التي تنتج من مكائن التوليد الكهربائي خلال سنة. إن قدرة إشعاع الشمس تساوي ما يقارب $3,87 \cdot 10^{23}$ كيلو واط أي ٣٨٧ ألف تريليون كيلو واط، يسقط منها على الأرض ما مقداره $173 \cdot 10^{12}$ أي ١٧٣ بليون كيلو واط. وبما أن ٤٣% من تلك القدرة يتم إمتصاصها بفعل الغلاف الجوي للأرض، فإن معدل ما يسقط من قدرة أشعة الشمس على سطح الأرض هو $0,2 \text{ kW.m}^{-2}$.

إن معدل إستهلاك الطاقة العالمي خلال العام الواحد هو في الواقع ليس أكثر من الطاقة الشمسية التي تسقط على مساحة مقدارها $22,000 \text{ km}^2$ من سطح الأرض، أي ما يعادل 0,005% من إجمالي مساحة الكرة الأرضية. فإذا كان بالإمكان إستغلال ١٠% منها بصورة فعالة، فستكون أقل من مساحة العراق كافية لتغطية إستهلاك الطاقة في العالم بأكمله.

ولكن، من أين تأتي الشمس بهذه الكمية الهائلة من الطاقة، التي تجهز بها ليس الأرض فحسب، بل وحتى الكواكب الأخرى التي نسعى لإكتشافها؟

إنها تأتي من التفاعل النووي الحراري. وخلال التفاعل النووي الحراري تتحرر كمية كبيرة من الطاقة الحرارية التي من الممكن استخدامها في إنتاج الطاقة الكهربائية (والتفاعل النووي الحراري هو عكس تفاعل إنشطار ذرات بعض العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم والبلوتونيوم والتي تستخدم في محطات الكهرباء النووية لغرض إنتاج الطاقة الحرارية).

إن الإندماجات النووية تحدث على الشمس منذ خمسة مليارات سنة ومن المتوقع أن تستمر في الحدوث لخمس إلى عشرة مليارات سنة على أقل تقدير. لذلك فإن الشمس وبحسب وجهة نظر علماء الفلك، قد أستنفذت ما يعادل ثلث إلى نصف عمرها، وعليه فإن الشمس ستبقى تمد الأرض بطاقتها لمدة طويلة.

ما هو حجم المفاعل النووي الحراري الشمسي؟ إن قطر الشمس يبلغ ١,٣٩٢,٧٠٠ كيلومتر تقريباً وتتكون تقريباً من ٧٥% هيدروجين و ٢٣% هيليوم و ٢% عناصر أخرى. وقد قيست درجة الحرارة على سطح الشمس فبلغت بحدود ٦٠٠٠ ك درجة مطلقة وتقدر درجة الحرارة في نواتها بحدود ٢,٠٠٠,٠٠٠ درجة مئوية. وفي مثل هذه الظروف، تكون نواة ذرة الهيدروجين في الواقع أكثر وزناً ولذلك فإنها ستخسر الألكترونات السالبة التي تدور في الأغلفة الخارجية والتي تكون سرعتها بحدود 1000 km.s^{-1} لترتبط مع ذرات الهيدروجين الأخرى مكونة بذلك غاز الهيليوم. وهذه العملية هي في الحقيقة إندماج نووي مستمر في نواة الشمس، تجري هذه العملية بحساب فلكي. فخلال ثانية واحدة تتحول ٦٥٧ مليون طن من الهيدروجين الى ٦٥٢,٥ مليون طن من الهيليوم. والفرق بين الكميتين ٤,٥ مليون طن من غاز الهيدروجين أي ما يعادل ٣٣ بليون كيلو واط من الطاقة الحرارية، التي تشع كل ثانية في الفضاء. إن الطاقة المتحررة من هذا الاندماج النووي تتكون في البداية فقط من أشعة كاما، ولذلك فإن نواة الشمس تكون معتمة تماماً. وفي لحظة إنطلاق الفوتونات المتحررة باتجاه سطح الشمس، فإنها تتبدل وتتحوّل تدريجياً الى أشعة الضوء المرئية. وتحتاج الفوتونات لقطع المسافة ما بين مركز الشمس و سطحها والتي تبلغ بحدود ٧٠٠ ألف كيلومتر، ما يقارب ٢٠ الف سنة. وهذا يعني أن الشعاع الشمسي الذي يصلنا الآن، في الحقيقة قد نشأ في زمن ما بحدود نهاية العصر الحجري. وأما المسافة الأبعد بكثير وهي المسافة التي يقطعها للوصول الى الأرض والتي تبلغ ما يقارب ١٥٠ مليون كيلومتر، فيقطعها الضوء خلال ٨ دقائق تقريباً. إن الطاقة التي تصل الى الأرض هي فقط جزء من ٢ مليار من الطاقة الكلية التي تشعها الشمس الى الفضاء، ولكنها تكفي تماماً لتأمين وجود الحياة البشرية بالإضافة الى إحتياجات هائلة من تلك الطاقة. إن الأشعة الشمسية التي تسقط على الأرض تمتلك طاقة أكبر بألف مرة من الطاقة التي تنتجها كافة محطات التوليد الكهربائية الموجودة على الأرض خلال سنة كاملة. إن معدل إستهلاك الطاقة للأرض يقارب ٤٠٠ غرام من الهيدروجين المستهلك في التفاعل النووي الحراري الشمسي في الثانية الواحدة، أي ما يعادل ٣٥ طن من الهيدروجين في اليوم. وللتوضيح - فإن تلك الكمية من الهيدروجين تكفي لصنع ٣٠٠ مليون قنبلة هيدروجينية كل منها تعادل ٢٠ قنبلة من مادة TNT. وإذا ما تحررت طاقتها في ثانية واحدة، فإنها ستكون مساوية لقدرة المفاعل الشمسي في ثانية واحدة. وإن كل مخزون الأرض من الفحم والنفط والغاز الطبيعي لديه طاقة مساوية لما تنتجه

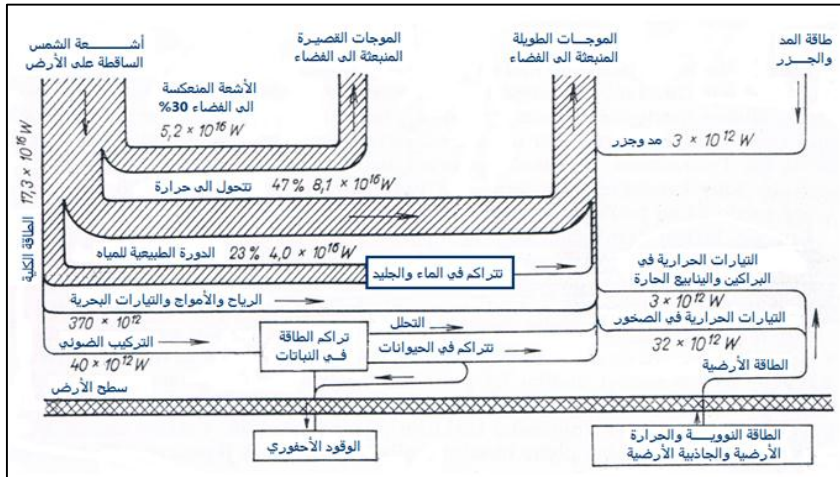
الشمس من الطاقة في ٣ - ٤ أسابيع. ومع ذلك، فإن الكتلة الشمسية لن تستمر بالإشتعال الى ما لا نهاية وانها ستنتطفئ يوماً ما. وإن ذلك سيحدث ربما بعد ٥ الى ١٠ مليارات سنة، وسيكون من واجب البشرية ربما في حينها التعامل مع تلك الإحتمالات. وبما أننا نفكر في المستقبل، فإنه من المهم أن نبذل قصارى جهدنا في سبيل استمرارية قيام الشمس المليئة بالطاقة بالمحافظة على الحياة على الأرض عندما نقوم بتحقيق هدفنا من ذلك.

٤-٢: توزيعات الطاقة على كوكبنا (Energy Distribution on Earth)

إن أصل كافة مصادر الطاقة في مجموعتنا الشمسية هو في الحقيقة نابع من أشعة الشمس. حيث يصل إلى الأرض من الأشعة الشمسية ما تساوي $١٠^{٢٦} \times ٣,٨٧$ واط كما موضحة في الشكل (٤-١). ويتشتت أكثر من ثلاثة أرباع تلك الكمية من الطاقة من خلال الإنعكاس الى الفضاء بنسبة ٣٠% ومن خلال إشعاع الموجات الطويلة بنسبة ٤٧%، وبذلك تكون نسبة الخسارة الكلية تصل الى ٧٧%، ما يعادل $١٣,٣ \times ١٠^{١٦}$ واط. ويسقط على الأرض ما يعادل ٢٣% فقط من طاقة الأشعة الشمسية، أي ما يساوي ٤×١٠^{١٦} واط.

ويبدو أن كل هذه الطاقة تقوم بدوران المياه (دورة المياه الطبيعية) وما يتبقى منها يقوم بتحريك الهواء (الرياح) والأمواج والتيارات البحرية والتركيب الضوئي والتي أصبحت مصدراً لكافة مصادر الطاقة التقليدية (الفحم والنفط والغاز الطبيعي). ومن المصادر الكبيرة أيضاً هي المد والجزر والطاقة النووية والحرارة الأرضية وجاذبية الأرض مع أن استغلالها قليل في الوقت الحاضر طاقة دوران الأرض هي (٥٦٥،٢ × ١٠^{٢٦} EJ).

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



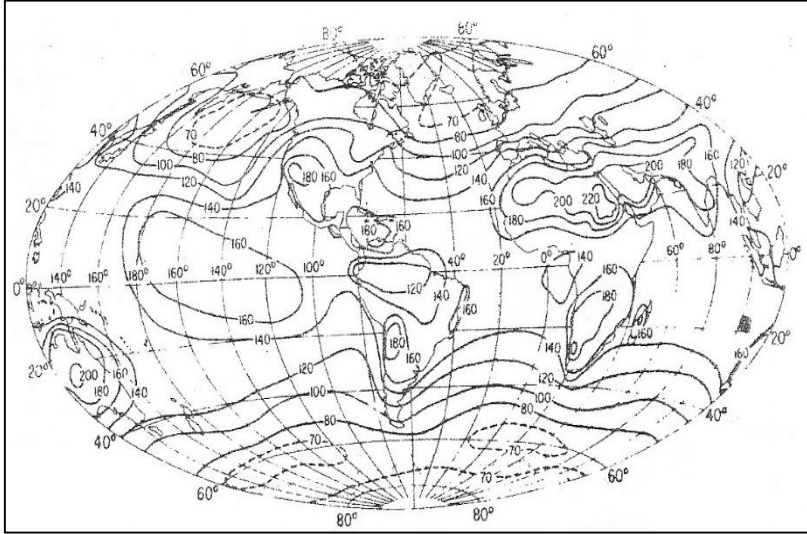
الشكل (٤-١): يوضح توزيع الطاقة على الارض.

٤-٣: مناطق الإضاءة الشمسية في الدول العربية

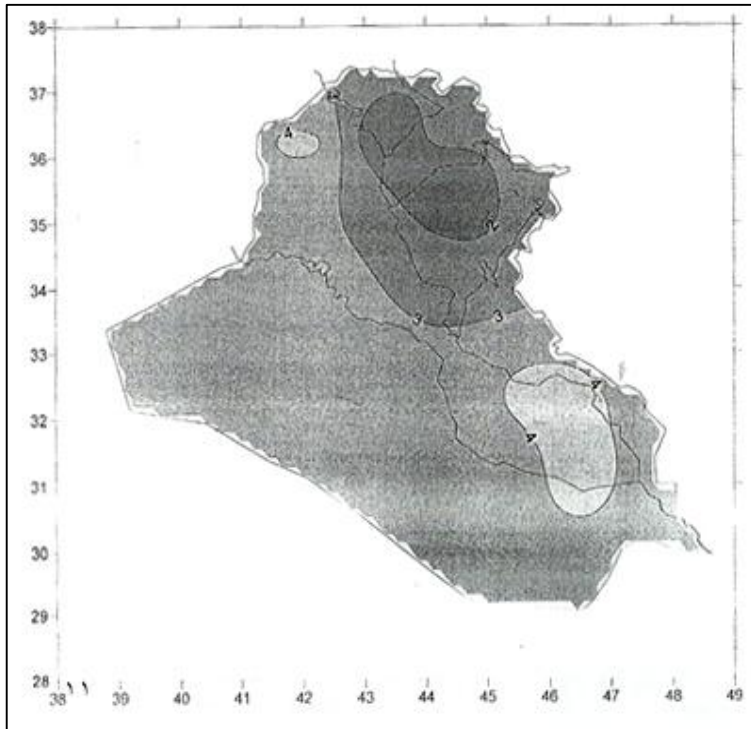
(Solar Luminesces Regions in Arabic Nations)

يشغل الوطن العربي منطقة تمتد من خط طول 16° غرب الى خط طول 60 درجة شرق و دائرة عرض 2° درجة جنوب و 38° درجة شمالا وخط عرض 35, 7° جنوب و يبلغ المتوسط السنوي للاشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح الارض بمقدار 5 كيلو وات. ساعة في اليوم اي بمقدار 685×10^{11} كيلو وات ساعة وهذا يعادل 34×10^6 ميكاوات ساعة من الطاقة الكهربائية عند استخدام خلايا شمسية كفاءتها 5% وهذا يكافئ 383.5 مليون برميل بترول اي بمقدار عشرين ضعف انتاج البترول لدول الاوبك و لغرض الإستغلال الأمثل للطاقة الشمسية، فقد تم تقسيم الأرض بوضع خرائط حسب طاقة الأشعاع الشمسي. ويتم نشر بعض من تلك الخرائط من وقت لآخر. الشكل (٤-٢)، خارطة توضح توزيع الأشعاع الشمسي على سطح العالم ومن ضمنها الدول العربية والشكل (٤-٣ أ) يمثل خارطة العراق وتوزيع الطاقة الشمسية في العراق والمخطط ٤-٣ (ب) يمثل العلاقة بين الاشعاع الشمسي واشهر السنة في مدينة بغداد.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية

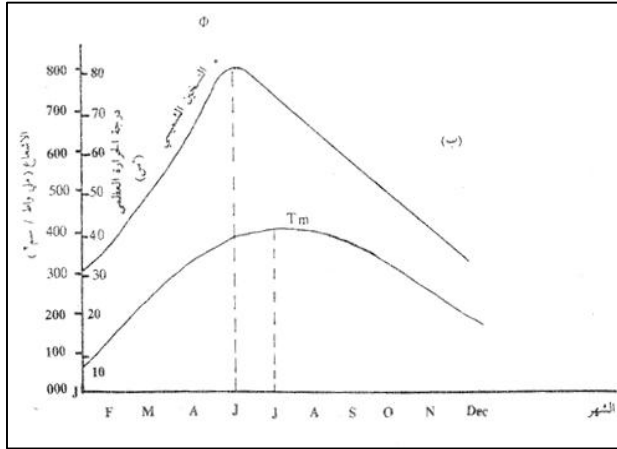


الشكل (٤-٢): يبين توزيع الاشعاع المستلم على سطح الارض (كيلو سعرة/سم^٢ سنة).



شكل (٤-٣ أ): يبين القدرات الشمسية المتاحة في العراق.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



الشكل (٤-٣): الاشعاع الشهري فوق بغداد لاحظ تخلف درجة الحرارة العظمى عن الاشعاع الأعظم.

ان الدرجة التي تقل فيها الطاقة الشمسية عندما تصل الى سطح الارض تحدّد بالحالة البصرية للجوّ. ويُؤثّر نوع الجوّ على إشعاع الشمس بعمليتين-الإمتصاص والتشتت. وان كمية الإمتصاص والتشتت والتي تحدث للمكوّن المعطى للظيف الشمسي يعتمد على تركيب المناخ وكذلك على الطول الموجي للمكون نحن مهتمون بالاشعاع في طول الامواج من مدى (١،٠-١٠٠) ملي مايكرون.

٤-٤: قوانين الاشعاع (Radiation Laws)

المنطقة العربية غنية بالطاقة الإشعاعية التي تمتصها الأرض فالقدم المربع الواحد من هذه المناطق يستلم حوالي ٧٥٠ الف وحدة حرارية بريطانية (B.T.U) سنويا من الاشعاعات الشمسية المكافئة حراريا الى ٥,٥ كالون من زيت الوقود مما يجعلها مناسبة للاستثمار كما موضحة في الشكل (٤-٢).

وتتناقص الطاقة الإشعاعية بنسبة عكسية مع مربع المسافة بين الشمس والأرض وتدور الأرض حولها بمدار بيضوي لذلك فان كمية الطاقة الساقطة على الجو الخارجي للأرض تتغير على مدار السنة. ان طاقة الاشعاعات الكهرو مغناطيسية تصلنا بصورة رئيسية بواسطة:

١. الإشعاع الشمسي (Solar Radiation):- بأمواج مداها من (٢,٠-٤) مايكرون متر

وبدرجة حرارة سطحية تقارب ٦٠٠٠ كلفن.

٢. الإشعاع الارضي (Terrestrial Radiation):- مداها (٨-١٢) مايكرون وتسمى الإشعاعات الطويلة.

٣. التدفق الإشعاعي (Radiation Flux):- هو الطاقة الإشعاعية التي تمر خلال وحدة السطوح في الثانية.

٤. شدة الإشعاع:- (I) هو المركبة العمودية للتدفق أو تسمى الشدة النوعية (E_{λ}) وتساوي

$\frac{dI}{d\lambda}$. هناك علاقة بين الامتصاص والانبعاث (Emissivity) للجسام المتزنة حرارياً حيث

يمتص الجسم الاسود (Black Body) جميع الاشعاعات التي تصله منظورة او غير

منظورة. وان شدة الانبعاث (E_{λ}) لهذا الجسم تعتمد على درجة الحرارة وطول الموجة

شكل(٤-٤) يمثل تلك العلاقة. تناول العلماء هذه العلاقة كل من وجهة نظره وكما يلي:-

أ. قانون كيرشوف:- وينص على ان النسبة بين الانبعاث من وسط مادي ماص للاشعاعات الى

شدة اشعاعات الجسم الاسود في نفس الموجة ودرجة الحرارة تساوي معامل امتصاص الجسم

$$A_{\lambda} = E_{\lambda} / e_{\lambda} \text{ حيث ان:-}$$

E_{λ} شدة انبعاث الوسط.

e_{λ} شدة اشعاعات الجسم الاسود.

A_{λ} معامل امتصاص الجسم.

ب. قانون بلانك للاشعاع:- برهن بلانك بالصيغة الرياضية على ان شدة الانبعاث الاشعاعي من

جسم اسود يعتمد على طول الموجة ودرجة الحرارة بالمعادلة الاتية:-

$$E_{\lambda} = 2\pi h_c^2 \lambda^{-5} e^{-hc/\lambda kT} \dots(4-1)$$

حيث أن:-

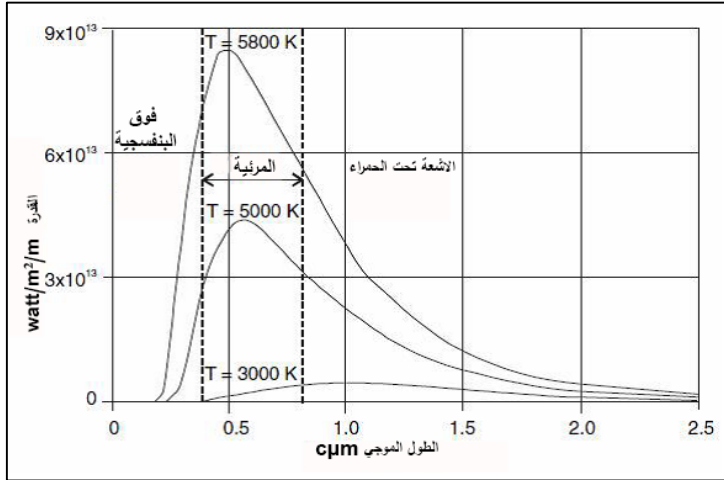
$(h) = ٦,٣٤ \times ١٠^{-٢٧}$ ارغ ثانية (ثابت بلانك).

(c) سرعة الضوء.

$(k) = R / N_o = ١,٣٧ \times ١٠^{-١٦}$ ارك/ك.

T درجة الحرارة المطلقة للجسم (ك).

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



شكل(٤-٤): يبين توزيع الاشعاع لدرجات حرارة مختلفة للجسم الاسود.

ج. قانون فين:- وهو قانون تجريبي يربط العلاقة بين درجة حرارة الجسم المشع (T) وطول

موجة λm ذروة الاشعاع ويعبر عنها بالمعادلة التالية :- $\lambda T = 0.288 \text{ Cm.K.}$

د. قانون ستيفان/ بولتز مان:- ان القدرة الانبعاثية الكلية لجسم اسود لجميع الامواج تساوي

المساحة المحصورة بين طول الموجة وشدة الاشعاع وتساوي:- $E = E_\lambda d\lambda = \sigma T^4$ لذلك

فان الطاقة الاشعاعية الكلية من جسم اسود ولوحدة المساحات من سطحه في وحدة الزمن

تناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة ويسمى (σ) ثابت استيفان وقيمته 5.67×10^{-8}

ارك/سم^٢. ثا. ك^٤

ه. قانون بير:- اذا سقطت حزمة من الاشعاعات الاحادية الموجة شدتها (E_λ) على وسط ماص

له سمك (di) فان شدتها تضعف بمقدار (dE_λ) ولقد وجد (بير) بان:-

$$dE_\lambda \setminus E_\lambda = - K_\lambda dm \quad \dots(4-2)$$

حيث $dm = \sigma di$ وتمثل كتلة المادة الماصة لوحدة المساحات من مقطعها، (σ) كثافتها

(k) معامل الامتصاص في تلك الموجة اخذين بنظر الاعتبار الامتصاص والاستطارة. وباشتقاق

المعادلة اعلاه توصل بير الى العلاقة التالية:-

$$E = E_0 \lambda P^{m(e)} \quad \dots(4-3)$$

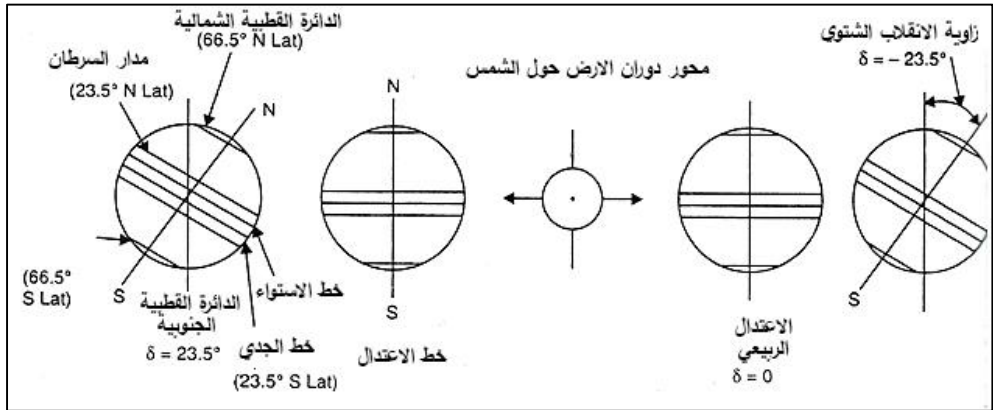
٤-٥ : مواقع الشمس وعلاقتها بالارض (Solar positions in Relation to Earth)

إنَّ محورَ دوران الأرض (المحور القطبي) يُميل دائماً بزاوية مقدارها ٢٣,٥° درجة مما يجعل القطب الشمالي يقترب من الشمس صيفا ويبتعد شتاء على الرغم من ان الارض تكون اقرب للشمس شتاء منها صيفا من المحور الكسوفي والذي هو عمودي على سطح الكسوف. ان سطح الكسوف هو عبارة عن سطح مدار الارض حول الشمس. ان ميل الارض من الموقع المباشر تشير الى سطح المدار والذي يصنع مدار نصف بيضوي باتجاه الشمس صيفا ويبتعد عن الشمس شتاء ولهذا تنتج الفصول المختلفة على الارض. ان الدائرة القطبية الجنوبية والدائرة القطبية الشمالية والمنطقة المدارية ومدار السرطان والجدي وما يتعلق بالشمس في الفصول الاربعة موضحة في الشكل (٤-٥) ان اشعاع الشمس على الارض هو دالة للابعاد الهندسية المستلم نسبة الى الشمس. ومن الضروري ملاحظة بعض الزوايا الهندسية التي تبين علاقات سطح الشمس بالارض الشكل (٤-٦) يصف نقطة (p) على سطح الارض المواجهة للاشعاعات الشمسية. إنَّ خطَّ عرض θ للنقطة (p) هو مسافة الزاوية للنقطة شمالا (او جنوبا) لخط الاستواء، وخط العرض شمالا يكون موجب. ان الزاوية بين الخط الذي يصل مركز الأرض (o) والنقطة (p) ومسقط الخط (op) على سطح الاستواء. ان الميل الشمسي δ هو مسافة الزاوية لاشعة الشمس شمالا (او جنوبا) لخط الاستواء، و الميل الشمالي يكون موجب. الزاوية بين خط مركز الارض الى مركز الشمس ومسقط هذا الخط على سطح الاستواء. وتقدر قيمة لهذا الميل من الصفر في الاعتدال الربيعي. الى + ٢٣.٥ في الانقلاب الصيفي > الى صفر في الاعتدال التام الى ٢٣,٥- في الانقلاب الشتوي. ويمكن حساب الميل (δ) في درجات اي يوم بالمعادلة الآتية:-

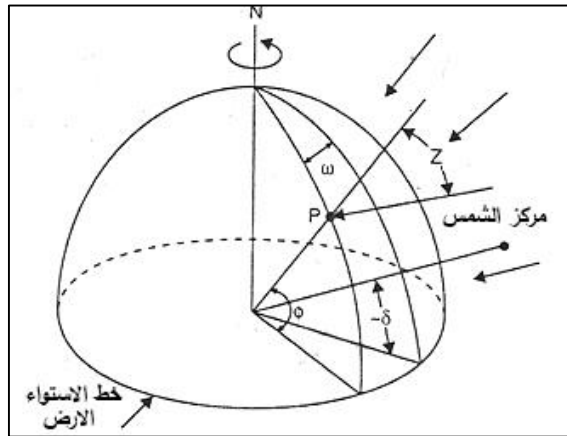
$$\delta = 23.45 \sin \left\{ \frac{360 [284+n]}{365} \right\} \dots (4-4)$$

حيث ان (n) يرمز الى يوم من ايام السنة، الميل الشمسي في اي يوم معطى يمكن اعتباره ثابت في الحسابات الهندسية وزاوية الساعة لنقطة على سطح الارض تعرف بانها الزاوية التي خلالها الارض تستدير لجعل خط الطول مباشرة تحت الشمس.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



الشكل (٤-٥): يبين العلاقة الهندسية بين الشمس والأرض.

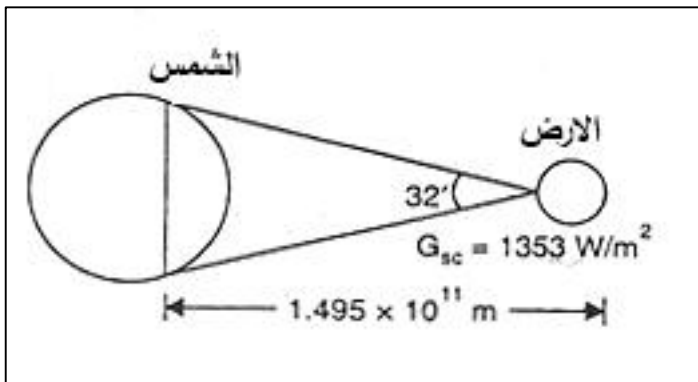


شكل (٤-٦): يمثل زوايا الشمس بالنسبة إلى الأرض.

تنقل مباشرة تحت الشمس. في الشكل (٤-٦) يبين ٢ من زوايا التوقيت للنقطة (أ) تظهر كقياس لزوايا على السطح الاستوائي بين مسقط (op) ومسقط الخط الواصل بين مركز الشمس ومركز الأرض. ان زاوية التوقيت في وقت الظهيرة الشمسي المحلي هي صفر مع كل من ٣٦٠/٢٤ او ١٥ درجة من خط الطول والمساوي لساعة واحدة، وساعات الظهيرة كونها تحسب ايجابية. فمثلا (٣) = ٣٠ ل ١٠ صباحا و (٣) = ٣٠ ل ٢ مساء. زاوية الساعة في الدرجات (٣) = ١١٤ + (عدد الدقائق من الظهيرة الشمسية المحلية) وعندما تكون موجبة (+) نستخدم للظهيرة وسالبة (-) للضحى.

٤-٦: الثابت الشمسي (The Solar Constant)

الثابت الشمسي هو عبارة عن كمية الطاقة الشمسية المستلمة من قبل وحدة مساحة الجامع في الوحدة الزمنية على السطح العمودي على معدل المسافة بين الارض والشمس. هذه الكمية يصعب قياسها من سطح الارض بسبب الاختلافات في الفيض الشمسي نتيجة تأثير الجو. الشكل (٤-٧) يظهر العلاقات بين الإبعاد الهندسية للشمس - الأرض. ان اللامركزية لمدار الأرض عبارة عن المسافة بين الشمس والأرض والتي تتغير بمقدار ١,٧%. في مسافة الوحدة الفلكية $1,495 \times 10^{11}$ م وهو معدل المسافة بين الأرض-الشمس. الشمس تقابل زاوية ٣٢. والإشعاع المنبعث من الشمس وعلاقته المكانية بالأرض ينتج عنها شدة الإشعاع الشمسي ثابتة خارج جو الأرض. والثابت الشمسي G_{sc} هو مقياس لحساب الطاقة المنتقلة الى سطح الارض من الشمس وعلى مختلف خطوط العرض ويعرف بانه الطاقة الاشعاعية الشمسية في وحدة الزمن الساقطة عموديا خارج الغلاف الجوي على وحدة المساحة عندما تكون الارض عند متوسط بعدها عن الشمس ($1,4968 \times 10^{11}$ م) وتقدر قيمته 1,94 سعرة/سم². دقيقة او ١٣٥٣ واط/م² وهناك تغير بسيط في قيمته تتراوح بين (1-5%) وفقا لدورة الكلف الشمسية البالغة ١١ سنة علما لم يرافق ذلك تغير محسوس في الطقس وقد تكون اخطاء تجريبية ويتغير ما وراء الاشعة البنفسجية (اقصر من ٣,٠ مايكرون او عند منطقة الاشعة دون الحمراء (٦ ملم) او عند الاشعة السينية بمقدار ٢٠% من قيمته.



الشكل (٤-٧): يبين العلاقة بين الشمس والارض.

٤-٧: التوقيت الشمسي (Solar Time)

الوقت المستخدم في حسابات الطاقة الشمسية يقدر بالتوقيت الشمسي الظاهري (الحقيقي)، اي استبدال توقيت الساعة الى التوقيت الشمسي المحلي مع الاخذ في هذه الحسابات المفاهيم الآتية:-

- أ. توقيت كرنج المدني (خط طول صفر): هو التوقيت المحسوب بخط طول كرنج المعتمد كدليل للوقت المحسوب من منتصف الليل ويقدر بمقياس الساعة من ٠-٢٤ ساعة.
- ب. التوقيت المحلي المدني (Local civil Time) ويرمز له (LCT):- هو الوقت المحسوب من خط طول المكان المراد احتساب الوقت فيه (اليوم المدني ٢٤ ساعة) ويتقدم في اي نقطة تقع في الغرب بـ(٤) دقيقة من الوقت لكل فرق درجة في خط الطول.
- ج. التوقيت الشمسي:- يقاس بواسطة الحركة النهارية للشمس ويوصف في كل علاقة بزاوية السميت (Sundial) والذي لا يتطابق مع توقيت الساعة المحلي لان اليوم الشمسي يختلف قليلا بسبب عدم انتظام دوران الارض لان محورها ييضوي وزيادة سرعتها عند الراس النقطة الاقرب الى الشمس (Perihelicon). اي ان طول اليوم الشمسي الظاهري هو الفترة بين مرورين متتاليين للشمس خلال دائرة خط طول الزوال (Meridian) ليست ثابتة، لذا يختلف التوقيت المدني من التوقيت الشمسي الحقيقي بما يعادل (٤٥ درجة) ويمكن حساب الفرق بين التوقيت المحلي الشمسي (LST) والتوقيت المدني المحلي (LCT) بالمعادلة الآتية:-

$$LST = LCT + \text{equation of time} \quad \dots(5-4)$$

- د. التوقيت القياسي (Standard Time):- هو التوقيت المحلي المدني لدائرة خط الزوال (Meridian) قريب من مركز المحلة. وفي اي مكان يختلف توقيت الساعة عن التوقيت المدني. وتضبط الساعات لنفس القراءة خلال المنطقة الكلية التي تعطي طول ١٥ درجة من خط الطول. هنالك طريقتان معتمدتان لتحويل التوقيت القياسي الى التوقيت الشمسي هما:-

- ١- توحيد تصميم قياس لاي اختلاف بين المكان ودائرة خط الزوال المبني عليه التوقيت المحلي القياسي.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية

٢- معادلة التوقيت التي تأخذ بنظر الاعتبار مختلف الاضطرابات في مدار الارض ومعدل الدورات التي تؤثر على الوقت، وتعتمد المعادلة الاتية لحساب التوقيت المدني المحلي.

التوقيت المدني المحلي (LCT) = التوقيت القياسي (Standard Time) +
 التوقيت القياسي الشمسي (LST) - ٤ التوقيت المحلي (LCT)
 وهو الوقت المقاس وفقا لحركة الزاوية الظاهرة للشمس عبر السماء، ان وقت الظهيرة هو الوقت الشمسي الذي تعبر فيه الشمس خط منتصف النهار للمراقب. فالوقت الشمسي لا يتزامن مع الوقت المحلي بالساعة. ومن الضروري تحويل الوقت القياسي الى الوقت الشمسي وذلك باتباع التصحيحات الاتية:

$$E + 4(L_{st} - L_{loc}) = \text{الوقت القياسي} = \text{الوقت الشمس} \dots (٦-٤)$$

حيث ان (E) وهو معادلة الوقت بالدقائق (Lst) خط منتصف النهار
 * للوقت المحلي و المنطقة -Loc هو خط t الطول للموقع في السؤال في درجات الغرب.

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \dots (7-4)$$

حيث n = يوم من ايام السنة $1 < n < 365$ / $360(n-81)$

٤-٨: كتلة الهواء (Air Mass)

كتلة الهواء هي نسبة السمك البصري للجو والتي من خلالها تمر حزمة الإشعاع الى السمك البصري. عندما تكون الشمس في زاوية سمت الراس (زاوية الاوج) θ_z zenith angle وهي الزاوية الراسية بين اشعة الشمس والخط العمودي لذلك الاوج او مباشرة فوق الراس وخط الرؤيا الى الشمس). او طول مسار الغلاف الجوي للارض الذي يمر خلاله الاشعاع الشمسي مباشرة مقدرا بمضاعفات طول المسار مع الشمس عند زاوية السمت. ان كتلة الهواء تحسب وفق المعادلة الاتية:-

$$M = 1 / \cos \theta_z \dots (8-4)$$

وعند مستوى البحر $m = 1$ عندما تكون الشمس في سمت الراس تكون زاوية السمت = ٦٠ درجة و $m = 2$ لزاوية السمت من ٠ - ٧٠ في مستوى البحر ولزاويا الاوج العالي، ويصبح تاثير تقوس الأرض هاماً

٤-٩: الزوايا و العلاقة بينها (Angles and Their Relationship)

ان العلاقة بين الزوايا كالآتي:

Φ : خط العرض

δ : الانحدار

β : الميل، وهو الزاوية بين السطح المستوي و الافق كما موضح في الشكل (٤-٧).

γ : زاوية سمت السطحية، ذلك إنحرافاً عن المسقط على السطح الافقي العمودي الى السطح من خط منتصف النهار المحلي مع الصفر جنوباً.

ω : زاوية الساعة

θ : زاوية السقوط، وتعني الزاوية بين حزمة الاشعاع على السطح والعمودي على ذلك السطح.

المعادلة التي تخص زاوية السقوط لحزمة الاشعاع (θ) الساقط والزوايا الاخرى

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \Phi \cos \beta - \sin \delta \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \Phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \right\} \dots (9-4)$$

وللسطح الافقية ($\beta=0$) وزاوية السقوط هي زاوية الاوج (θ_z)، وهكذا يكون لدينا

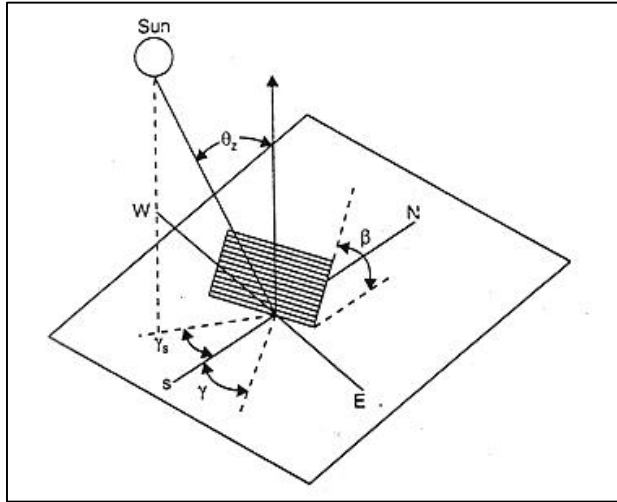
$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \Phi \cos \omega + \sin \delta \sin \Phi \dots (10-4)$$

المعادلة اعلاه يمكن ان تكون الحل لزاوية ساعة الغروب (W_s) وعندما تكون $\theta = 90$

$$\cos W_s = \sin \Phi \sin \delta / \cos \Phi \cos \delta = - \tan \Phi \tan \delta \dots (11-4)$$

ويمكن ان تحسب عدد ساعات النهار بالمعادلة الآتية :-

$$N = 2 / 15 \cos^{-1} (- \tan \Phi \tan \delta) \dots (12-4)$$



شكل (٤-٨): يبين زاوية السم، زاوية الميل، زاوية السم السطحية، وزاوية السم الشمسي الى السطح المستوي.

٤-١٠: الاشعاع الشمسي الخارجي على السطح الافقي

(Extraterrestrial Radiation Horizontal Surface)

في اي نقطة من الزمن، الاشعاع الشمسي خارج جو الارض الساقط على سطح افقي هو:

$$G_0 = G_{cs} \{1 + 0.033 \cos (360n / 365)\} \cos \theta_z$$

G_{sc} هو الثابت الشمسي و n هو يوم من ايام السنة ويعطى بالمعادلة التالية:

$$G_0 = G_{cs} (1 + 0.033 \cos (360n / 365)) \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos \omega \dots (13-4)$$

من الضروري في معظم الاحيان لحسابات الاشعاع الشمسي اليومي ان يكون لدينا تكامل

يومي لاشعاع الفضاء الخارجي على سطح مستوي (H_0)

ويمكن الحصول عليها بتكامل المعادلة (٢) للفترة من شروق الشمس الى الغروب. إذا

G_{sc} في الواط لكل متر مربع، H_0 في الجول لكل متر مربع

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{H} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times (\cos \Phi \cos \delta \sin W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \sin \Phi \sin \delta \dots (14-4)$$

$\omega \pm$: ساعة الغروب زاوية بالدرجات

ومن المهم ايضا احتساب الاشعاع الارضي الاضافي على سطح افقي لفترة ساعة. لاشتقاق المعادلة الكاملة (٢) لفترة معرفة بزوايا الساعة ١ ω و ٢ ω والتي تعرف بالساعة (بينما ω) هي الاطول)

$$I_o = \frac{12x3600}{\pi} G sc \{ 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \} x \{ \cos \Phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \Phi \sin \delta \dots (15-4)$$

٤-١١: قياسات توفر الاشعاع الشمسي

(Measurements of Available Solar Radiation)

لا يمكن عمليا اجراء الحسابات الأساسية للإشعاع الشمسي بالتوافق مع إشعاع من الفضاء الخارجي بواسطة الجو، كمعلومات مناخية كافية ونادرا متوفرة. فنحن نستخدم قياسات ماضية للإشعاع الشمسي في موقع السؤال للتنبؤ او توقع الاداء الشمسي. القياسات في كل ساعة لاشعاع الشمسي على سطح افقي مفيدة في محاكاة العمليات الشمسية. المعلومات اليومية هي غالبا اكثر توفرا والاشعاع لكل ساعة يمكن حسابه من المعلومات اليومية. والاشعاع الشمسي الكلي الشهري على سطح افقي يمكن استخدامه في بعض العمليات لطرق التصميم.

ومن المهم اعتبار الإشعاع الشمسي في مدى طول موجتين متتاليتين :-

١. إشعاع الموجة القصيرة: وهو الإشعاع الذي مصدره الشمس، في مدى الموجتين من (٣,٠ - ٣,٠ مايكرومتر).

٢. اشعاع الموجة-الطويلة: وهو الاشعاع الذي اصله من مصدر في درجات الحرارة القريبة من درجات المحيط الاعتيادية وهو في اطوال الامواج الاكبر من ٣ مايكرو متر. واشعاع الموجة الطويلة المنبعث او بواسطة الجو او بواسطة الجامع او من اي جسم اخر في درجات الحرارة الاعتيادية. ان أجهزة قياس الإشعاع الشمسي تنقسم الى نوعين:-

أ. بيرهليومتر (Pyrheliometer): جهاز لقياس الاشعاع الشمسي من الشمس او الاجزاء الصغيرة من السماء حول الشمس (الحزم الاشعاعية) للاشعاع العمودي.

ب. بايرنوميتر (pyranometer): وهو جهاز لقياس الاشعاع الشمسي الكلي النصف كروي (الحزم الاشعاعية+ الانتشار) وعادة على سطح افقي فاذا ظلل من حزمة الاشعاع الشمسي بواسطة ظل الحلقة فان البايرونوميتر يقيس انتشار الاشعاع.

١٢-٤: تخمين متوسط الإشعاع الشمسي

(Estimation of Average Solar Radiation)

ان معلومات الاشعاع من افضل مصادر المعلومات لتقدير معدل الإشعاع الشمسي الساقط. ان النقص في المعلومات من المواقع القريبة ذات المناخ المتشابه، من الممكن استخدام العلاقات التجريبية لتقدير الاشعاع من ساعات شروق الشمس. ان معادلة ارتداد النوع الاصلي (انجستروم) والمتعلقة شهريا بالمعدل اليومي ليوم صافي للاشعاع في موقع السؤال والمعدل الكسري لساعات شروق الشمس تحسب بالمعادلة الاتية:-

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_c} = a' + b' \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad \dots (16-4)$$

\bar{H} = المعدل الشهري للاشعاع اليومي على سطح افقي.

\bar{H}_c = معدل السماء الصافية للاشعاع اليومي للموقع والشهر في السؤال.

\bar{a}, \bar{b} = ثوابت تجريبية.

\bar{n} = المعدل الشهري لساعات الشمس المشرقة.

\bar{N} = المعدل الشهري للحد الاعلى الممكن لساعات الشمس المشرقة \bar{N} معدل طول ايام لاقصى

المعدل الشهري ساعات نهار ممكنة الشروق الشمس الصافية

والمشكلة الاساسية في المعادلة (١) تكمن في غموض المصطلحات \bar{H}_c و \bar{n}/\bar{N} قد

طورت الطريقة بناء على الاشعاع من الفضاء الخارجي على سطح افقي افضل من اشعاع يوم صافي.

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_c} = \left(\bar{a} + \bar{b} \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \right) \quad \dots (17-4)$$

حيث ان \bar{H}_0 يمثل الاشعاع خارج الفضاء في نفس الموقع في مدة زمنية في السؤال a, b هي

ثوابت تعتمد على الموقع. (\bar{H}/\bar{H}_0) نسبة تمثل دليل الوضوح k_T .

تشق العلاقات نسبة الى معدل إشعاع الشهر اليومي H الى المعدل الشهري للايام

الغائمة بالشك c . وتمثل

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = \bar{a} - \bar{b} \frac{\bar{n}}{\bar{c}} \quad \dots (18-4)$$

وقد قارن بينت (١٩٦٥) ارتباط المتغيرات فوجد ان افضل ارتباط يكون مع $\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}$ ومع اتحاد متغيرين

لتقدير الاشعاعي لسماء صافية

ان التغير في الظروف المناخية وكتلة الهواء، والتاثيرات المناخية للجو المسببة في تبخر وامتنصاص الاشعاع هي متغيرة مع الزمن. ومن المفيد تعريف معيار (الصفاء) للسماء واحتساب الاشعاع اليومي واشعاع الساعة المستلم على السطح الافقي تحت هذه الظروف القياسية وقد قدم هوتل (١٩٧٦) طريقة سهلة لتقدير حزمة الاشعاع المنتشر خلال الجو الصافي مع الاخذ بنظر الحسبان زاوية القمة.

١٣-٤: تخمين اشعاع الشمس الصافية

(Estimation of Average Solar Radiation)

ان المعدل الشهري لدليل الصفاء المتمثل (K_t) وهو نسبة المعدل الشهري للاشعاع على الاسطح الافقية (H) الى المعدل الشهري واليومي للاشعاع الخارجي (H_0) وبحسب بموجب المعادلة الاتية

$$K\bar{T} = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad \dots (19-4)$$

ويمكننا ايضا ان نعرف دليل السماحية اليومي (K_t) كنسبة الاشعاع اليومي الحقيقي الى الاشعاع الخارجي لنفس اليوم

$$Kt = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad \dots (20-4)$$

دليل الصفاء كل ساعة (K_t) يمكن ايضا ان يعرف كما يلي :-

$$KT = \frac{I}{I_0} \quad \dots (21-4)$$

البيانات و(\bar{H}) (H) و (I) كقياسات للاشعاع الكلي على السطح الافقي وهذه البيانات يتم الحصول عليها من قياسات الاشعاع وانتشار مكوناته في كل ساعة.

٤-١٤ : مركبات الحزمة الاشعاعية وانتشار الاشعاع لكل ساعة

(Components of Hourly Radiation Beam and Diffuse)

ان الاشعاع وانتشار مكوناته كل ساعة اشعاع يحسب بطريقتين:-

١. حساب الاشعاع الكلي على السطوح من اتجاهات اخرى و من البيانات على سطح مستوي اخر حيث يتطلب معاملة فصل الحزمة وانتشار الاشعاع.

٢. تقدير طول وقت الاداء لمعظم المجمعات المركزة والتي يجب ان تكون على اساس توفرية التقديرات

(orgill) أستخدم الارتباط التالي لحساب Id/I للاشعاع كل ساعة لسطح افقي والذي ينشر الاشعاع كل ساعة لدليل الصفاء.

$$\frac{Id}{I} \left[\begin{array}{l} 10 - 0.249 - k_T \text{ for } -k_T < 0.35 \\ 1557 - 184 k_T \text{ for } 0.35 < k_T < 0.75 \\ 0.177 \text{ for } k_T > 0.75 \end{array} \right] \dots (22-4)$$

٤-١٥ : حزمة الاشعاع ومركبات الانتشار للاشعاع اليومي

(Components of Daily of Average Radiation Beam and Diffuse)

أظهرت دراسة المتوفر من بيانات الاشعاع اليومي معدل اجزاء الانتشار (H_d/H) وهو دالة

ل (K_T) المعادلة التالية تمثل الارتباط المقدم من قبل (Pereia and Robi)

For $K_T < 0.17$

$$\frac{kd}{H} \left[\begin{array}{l} = 0.99 \\ = 1.188 - 2.272 k_T + 9.4731 k_T^2 \text{ for } 0.17 < k_T < 0.75 \\ = -21.865 k_T + 14.648 k_T^2 \text{ for } 0.75 < k_T < 0.80 \\ = -0.54kt + 0.632 \\ 0.2 \text{ for } k_T \geq 0.80 \end{array} \right] \dots (23-4)$$

ان الارتباط مقدم من قبل Liuan and Jordon

$$\frac{Hd}{H} = 1.0045 + 0.04349 k_T - 3.5227 k_T^2 + 2.63 k_T^3$$

وهناك ارتباط اخر المقدم بـ E_{xbs}

$$J (Ws > 81.4^0)$$

$$\frac{Hd}{H} = \begin{cases} 10 - 0.2727 k_T + 2.4495 k_T^2 \\ -119514 k_T^3 + 9.3879 k_T^4 \end{cases} \text{ for } k_T < 0.715 \quad \dots (24-4)$$

$$0.143 \text{ for } k_T > 0.175$$

$$J (Ws > 81.4^0)$$

$$\frac{kd}{H} = \begin{cases} 10 + 0.2832 k_T - 2.5557 k_T^2 + \\ 0.8498 k_T^3 \end{cases} \text{ for } k_T < 0.722 \quad \dots (25-4)$$

$$0.175 \text{ for } k_T > 0.722$$

٤-١٦ : الشعاع وانتشار المكونات لمعدل الاشعاع الشهري

(Components Monthly Average Radiation Beam and Diffuse)

كولرس ورايل (Rabi and collars)

قدما اجزاء الانتشار الشهري الذي ينتشر المتمثل بـ (H_d / H^-) هو دالة للمعدل

الشهري لدليل الصفاء $KT = \frac{H}{H^0}$ والمعادلة لـ (\bar{H}_d / H^-) مع Ws في درجات زاوية الساعة

عند غروب الشمس

$$\frac{\bar{H}_d}{H} = 0775 + 0.00653 (Ws - 90)(0.505 + 0.00455) Ws - 90)(\text{Cos } 115 k_T - 103 \quad \dots (26-4)$$

١٧-٤ : تقدير الاشعاع لكل ساعة من البيانات اليومية

(Estimation of Hourly Radiation from Daily Data)

كولاكيس بيريرا ورابل (Collaxes and Rabi) اعطوا قيمة الى (r₁) كنسبة مجموع الساعات الى الاشعاع الكلي اليومي.

$$r_1 = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi \omega_s}{360}\right) \cos \omega_s} \dots (27-4)$$

ان المعاملات (a) و (b) نحصل عليها من

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60)$$

في هذه المعادلات (w) هي زاوية الساعة في الدرجات للوقت في السؤال و (ws) هي زاوية ساعة غروب الشمس.

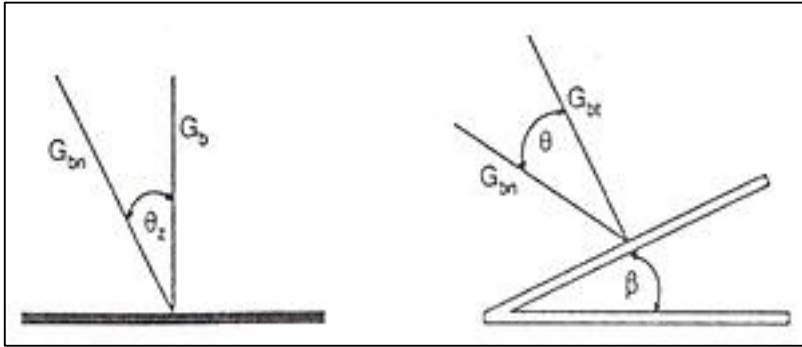
ليو وجوردان (Liu and Jordan) اعطوا قيمة الى ب (rd) ان كنسبة الانتشار للساعات الى الانتشار اليومي للاشعاع.

$$rd = \frac{\pi}{24} \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - (2\pi \omega_s / 360) \cos \omega_s} \right] \dots (28-4)$$

١٨-٤ : نسبة الحزمة الاشعاعية على سطح الارض الافقي

(Ratio of Beam Radiation on Titled Surface to that on Horizontal Surface)

من الضروري بصورة عامة لحساب الإشاعات كل ساعة على سطح مائل افقي حساب الإشعاع الشمسي على السطح الافقي للعمليات الشمسية المصممة واداء الحسابات ان معظم البيانات الشائعة هو مجموع الاشعاع للساعات و الايام على الاسطح الافقية بينما الاحتياج للمعلومات على سطح الجامع اما المجموع او شعاع الانتشار. ان النسبة شعاع الاشعاع على السطح المائل على النسبة على السطح الافقي في أي وقت والمتقدمة من (Rb) ويمكن حسابها بالضبط، الشكل (٩-٤) يوضح زاوية السقوط لشعاع الاشعة على الاسطح المائلة والعمودية.



الشكل (٤-٩): يوضح زاوية السقوط للاشعة على سطح افقية وعمودية.

ان نسب G_b/G_r تعطى من

$$R_b = \frac{G_{bt}}{G_b} = \frac{G_{bn} \cos \theta}{G_{bn} \cos \vartheta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \vartheta_z} \quad \dots (29-4)$$

$\cos \vartheta_z$ و $\cos \theta$ يمكن حسابهما من العلاقة المعطاة سابقا في هذا الكتاب.

ان زاوية السميت لسطح معتدل ان الجامع عادة يكون (0°) في نصف الكرة الارضية الشمالي

(او الجزء الجنوبي للكرة الارضية) لذلك (R_b) يمكن يعطى.

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \zeta \cos W + \sin(\phi + \beta) \sin \zeta}{\cos \phi \cos \zeta \cos W + \sin \phi \sin \zeta} \quad \dots (30-4)$$

في نصف الكرة الارضية الجنوبي $r = 180^\circ$ و $R_b = i_s$

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \zeta \cos W + \sin(\phi + \beta) \sin \zeta}{\cos \phi \cos \zeta \cos W + \sin \phi \sin \zeta} \quad \dots (31-4)$$

٤-١٩: الاشعاع الكلي على السطح المائل الثابت

(Total Radiation on Fixed Sloped Surfaces)

ان جامع الصفيحة المعتدلة يمتص كل من الشعاع وانتشار المكونات من الاشعاع الشمسي

ويستخدم مجموع بيانات الاشعاع الافقي لحساب الاشعاع على الاسطح المائلة والتوجيه الثابت من

الضروري ان نعرف (R) ان نسبة الاشعاع الكلي على الاسطح المائلة والاسطح الافقية.

$$R = \frac{I_{bt}}{I_b} = \frac{\text{مجموع الاشعاع على الاسطح المائلة}}{\text{مجموع الاشعاع على الاسطح الافقية}} \quad \dots (32-4)$$

يمكن ان نشرح مصطلح الشعاع والاشعاع المنتشر

$$R = \frac{Ibt}{Ib} = \frac{\text{مجموع الاشعاع على الاسطح المائلة}}{\text{مجموع الاشعاع على الاسطح الافقية}} \quad \dots (33-4)$$

$$R_d = \frac{I_{dt}}{I_d} = \frac{\text{الاشعاع المنتشر على الاسطح المائلة}}{\text{الاشعاع المنتشر على الاسطح الافقية}} \quad \dots (34-4)$$

$$R = \frac{Ib}{I} Rb + \frac{Id}{I} Rd \quad \dots (35-4)$$

هوتيل و وورترز (١٩٤٢) اقترحوا ان انتشار المكونات هو عمودي ويتوزع بصورة منتظمة على السماء، تحت هذه الافتراضيات (R_d) هي دائما متحدة والاشعاع على الاسطح المائلة للساعة يعطى من

$$LT = Ib Rb + Id \quad \dots (36-4)$$

ان نسبة المأثرة من الطاقة الشمسية على الاسطح المائلة على تلك في الاسطح الافقية

$$R = \frac{I_T}{I} = \frac{I_b}{I} Rb = \frac{I_d}{I} \quad \dots (37-4)$$

اشتقت ليووجوردان (١٩٦٣) لتحسين هذا النموذج وياخذ بالحسبان الاشعاع على الاسطح المائلة لتصنيع ثلاث مكونات وهي الشعاع المباشر وانتشار الشعاع الشمسي وانعكاس انتشار الشعاع الشمسي من على الارض ان السطح المائل بميلان (β) من الافق ولديه عامل النظر الى السماء ب ($1 + \cos \beta$) / 2 اذا كان انتشار الاشعاع الشمسي مائلا وهذا ايضا (R_d) ان السطح لديه عامل النظر بالنسبة للارض ($1 - \cos \beta$).

وان كان المحيط لديه انعكاس ب (P) لكل الاشعاع الشمسي ان الاشعاع المنعكس من المحيط على السطح من الاشعاع الشمسي هو $(1 - \cos \beta)(Ib + Id) / 2$

ان مجموع الاشعاع الشمسي على السطح المائل لساعة واحدة هو مجموع لثلاث مصطلحات

$$It = IbRb + Id(1 + \cos \beta) / 2 + (Ib + Id)p(1 - \cos \beta) / 2$$

وبالتعريف

$$R = \frac{Ib}{I} Rb + \frac{Id}{I} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + P(1 - \cos \beta) / 2 \quad \dots (38-4)$$

اقترحوا لنا وجودان قيم لانعكاس الانتشار الارضي ب (٢,٠) عندما لا تكون هناك ثلوج و (٧,٠) عندما يكون هناك ثلج جديد ان اخر مصطلحين من المعادلات السابقة في بعض الاحيان ياخذ بالحسبان سويا مثل انتشار الاشعاع الساقط على السطح.

٤-٢٠: معدل الاشعاع على الاسطح ثابتة الميل

(Average Radiation on Fixed Sloped Surfaces)

نحن نحتاج في نظام التسخين الشمسي طريقة تصميم وكذلك (\bar{R}) التي تمثل نسبة الاشعاع الشهري للمعدل اليومي على الاسطح المائلة الى ذلك الاشعاع على الاسطح الافقية في الاجراءات لحساب (\bar{R}) مثلها لحساب (\mathbf{R}) وذلك باضافة اشعاع الحزمة. ان الاشعاع المنتشر والاشعاع الشمسي المنعكس عن الارض اذا كان انعكاس الاشعاع والانتشار كلاهما فرضا ليكونا مائلا ثم ان النسبة المتوسطة الشهرية (\bar{R}) يمكن ان تشرح ك

$$\bar{R} = \frac{\pi_T}{H} = (1 - \frac{H_d}{H}) \bar{R}_b + \frac{H_d}{H} - \frac{(1 + \cos\beta)}{2} + P \frac{(1 - \cos\beta)}{2} \quad (39-4)$$

$$\bar{HT} = \bar{H} (1 - \frac{H_d}{H}) \bar{R}_b + \bar{H} d (\frac{1 + \cos\beta}{2} + \bar{H}_p (\frac{1 - \cos\beta}{2}) \quad (40-4)$$

هي نسبة انتشار الاشعاع اليومي للمعدل الشهري على المعدل الشهري اليومي مجموع الاشعاع على السطح الافقي هو معامل \mathbf{R}_b . \mathbf{K}_T هو النسبة للمعدل اليومي لاشعاع الشعاع على السطح المائل على ذلك في السطح الافقي لشهر كامل ($\bar{H}b/\bar{H}bt$) للسطوح المائلة باتجاه خط الاستواء في نصف الكرة الارضية الشمالي للوجه السطحي $\gamma = 0^0$

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin \phi \sin \beta} \quad \dots \quad (41-4)$$

حيث (ω_s) هي زاوية ساعة غروب الشمس للاسطح المائلة لليوم المتوسط في الشهر والذي يعطى بـ

$$\omega_s = \min \left[\begin{array}{l} \text{Cos}^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \\ \text{Cos}^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \end{array} \right] \quad \dots (42-4)$$

حيث (Min) يعني الجزء الاصغر للمادتين بين القوسين. للسطح في نصف الكرة الشمالي المائل باتجاه خط الاستواء مع $Y = 180^0$

$$Rb = \frac{\text{Coc}(\phi + \beta)\text{Cos}\zeta\text{Sin}\omega_s + (\pi/180)ws\text{Sin}(\phi + \beta)\text{Sin}\zeta}{\text{Cos}\phi\text{Cos}\zeta\text{Sin}\omega_s + (\pi/180)ws\text{Sin}\phi\text{Sin}\zeta} \quad \dots (43-4)$$

و

$$ws = \min \left[\begin{array}{l} \text{Cos}^{-1}(-\tan \phi \tan \zeta) \\ \text{Cos}^{-1}(-\tan \beta \tan \zeta) \end{array} \right] \quad \dots (44-4)$$

٢١-٤: مجمعات الطاقة الشمسية (Solar Energy Collections)

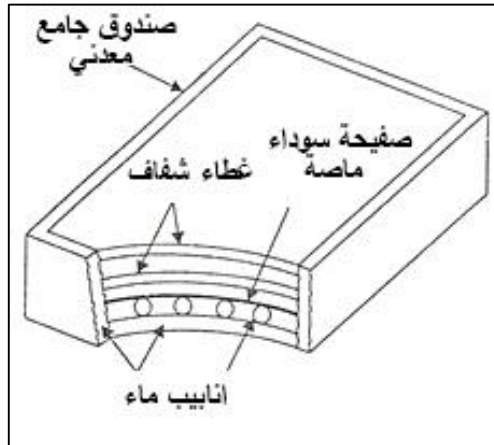
ان جامعات الطاقة الشمسية هي انواع خاصة من المبادلات الحرارية التي تنقل الطاقة الشمسية الى طاقة داخلية للاوساط الناقلة. هناك نوعان من الجامعات هما:-

١-٢١-٤: مجمعات الطاقة الشمسية ذات الصفائح المستوية

(Flat Plate Solar Energy Collectors)

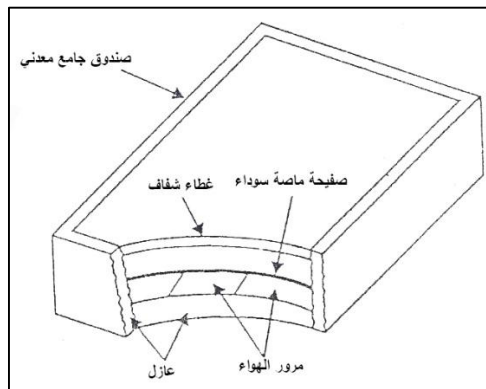
الشكل (١٠-٤ أ) و (١٠-٤ ب) يوضح الطاقة الشمسية للصفحة مستوية عندما يمر الاشعاع الشمسي خلال الغطاء الشفاف او الاغطية حتى تصل الى نهاية الصفحة السوداء عالية الامتصاص. وتمتص الصفحة جزء كبير من تلك الطاقة ومن ثم تمر الى الجزء المتوسط بواسطة الوسط الناقل في انابيب المائع وتنقل الى الاسفل. كطاقة قابلة للاستعمال ان الجزء غير المرغوب من امتصاص الصفحة والجانب السفلي للصفحة المستوية معزولان جيدا لتقليل خسائر التوصيل. ان الوسط الناقل اما يكون ماء او هواء عادةً.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



شكل(٤-١٠أ): يمثل جامع شمسي ذو صفيحة مستوية لتسخين الماء.

ان أنابيب السائل يمكن أن تلحم في الصفيحة الماصة او يمكن ان تكون جزء مكمل لصفيحة. أن أنابيب السائل ترتبط في كلا النهايتين بماسكات كبيرة، ان جامع الطاقة الشمسية بالصفيحة المستوية المتصل بقرب السطح الماص لزيادة الفعالية الناقلة. ان الاغطية الشفافة تستخدم لتقليل خسائر الصفيحة خسائر الاشعاع من الجامع بسبب الطيف المنتقل حرارياً خلال الموجات القصيرة من الشمس والمنعكسة بواسطة السماء المظلمة الى الموجات الحرارية الطويلة للاشعاع المنبعث عندما يتم استخدام اثنين او اكثر من الاغطية الناقله يتم خفض مزيد من الخسائر للاشعاع الحراري، تلعب الاغطية دورا مهما في تخفيض خسائر الحرارة من الجامع وهي ايضا تعمل للحد من تقليل الاشعاع الساقط على الصفيحة الماصة عند درجات الحرارة القليلة والمتوسطة ان الجامع ذو الزجاج المفرد يمكن ان يكون اكثر فعالية من الذي يكون ذو زجاج مزدوج.



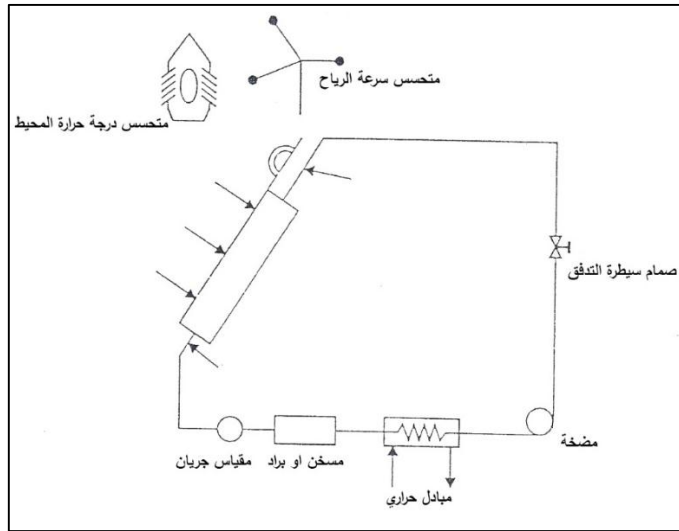
شكل(٤-١٠ب): صفيحة مستوية لتسخين الهواء بجامع للطاقة الشمسية.

ان الجامعات ذات الصفائح المستوية تكون عادة دائمة التثبيت في الموقع ولا تتطلب الى تتابع الشمس ان الجامعات يجب ان توجه مباشرة الى خط الاستواء وتقابل الشمال في نصف الكرة الجنوبي وتقابل الجنوب في نصف الكرة الشمالي لكل تطبيقات السنة. ان افضل زاوية ميلان للجامعة في فصل الشتاء يجب ان تكون تقريبا من (١٠-١٥°) أكثر من الارتفاع بينما في فصل الصيف يجب ان تكون زاوية الميلان (١٠-١٥°) اقل من الارتفاع ان افضل ميلان للسطح وزاوية السمت هي ليست حرجة والانحراف يكون بقدر (١٠°) من القيمة المثلى الناتجة من النقصان القليل في الطاقة من اجمالي الطاقة المتاحة سنوياً. ان جامعات الطاقة ذات السطوح المستوية مفيد لتجهيز الطاقة الحرارية في درجات الحرارة المعتدلة الى درجة غليان الماء الطبيعية (١٠٠م°) ان خسائر الاشعاع من الامتصاص في جامع الطاقة الشمسية يمكن ان تخفض بشكل ملحوظ عندما يكون السطح المستلم ذا خصائص اشعاع انتقائية. ان السطوح الانتقائية تمتلك خاصية الامتصاص عالية جداً للاشعاع في نطاق الاطوال الموجية الشمسية الطويلة والانبعث القليل للاطوال الموجية للاشعاع الحراري. حيث لا يوجد سطح طبيعي يملك خصائص اشعاعية انتقائية. ان الخاصية البسيطة الانتقائية هي اسطح رقيقة جدا وذات لون اسود لاوكسيد المعدن يغطي قاعدة حديدية مشرقة ان الغطاء الاسود هو سميك بما يكفي ليكون ممتص جيدا للضوء الشمسي. ان المعدن البراق يمتلك انبعاثية قليلة للاشعاع الحراري وغطاء رقيق شفاف لمثل هذه الاشعاعات مما يجعل المجموعة ذات تسخين قليل. ان فعالية السطح الانتقائي تمتلك امتصاصية قريبة من (٩٥%) والانبعثية الحرارية قريبة من (١%). ان خسائر الانعكاس من الزجاج المغطى لجامع الطاقة الشمسية يمكن ان يخفض بصورة ملحوظة باضافة سطح رقيق لطبقة تملك معامل انكسار وسطي بين الزجاج والهواء ويمكن معالجة السطح بغمس الزجاج بمحلول حامض السليكون المشبع لخلق مسامات من السليكات على السطح مثل هذه المعالجة يمكن ان تقلل من خسائر الانعكاس الشمسي من القيمة المعتادة من (٥٨%) للاشعاع الساقط الطبيعي للزجاج العادي الى (١%) للطبقات المزدوجة في السطح. يمكن التحكم بامتصاص الاشعاع بواسطة اوكسيد الحديد الغير نقي في الزجاج ان الرصاص المحتوى ايضا يسيطر على لون الزجاج عند النظر عليه من الحافة ان النوافذ الطبيعية تبدو خضراء. ان مثل صفائح الزجاج هذه يمكن ان تمتص حوالي من (٥-١٠%) من الضوء الساقط ومن جهة

اخرى ان الصفائح ذات المحتوى الحديدي اقل (الزجاج الابيض) تمتص اقل من ١٠% من الضوء الساقط.

٤-٢٢: اختبار اداء مجمع الطاقة (Collector Performance Testing)

ان الجمعية الاميركية للتدفئة والتبريد اجرت اختبار لاداء التكييف على النحو المطبق لتسخين السائل والهواء في المجمعات فقد وضعت طريقة للفحص كما موضح في الشكل (٢-١٢) ويستخدم في البيروانو متر لقياس الاشعاع الشمسي على سطح الجامع يتدفق السائل بشكل حلقة تحتوي على صمام التحكم في التدفق ومضخة لتوزيع السائل ومبادل حراري لازالة الحرارة المستخدمة من السخان او المبرد للتحكم بالحرارة الداخلة للجامع ومقياس لقياس معدل جريان السائل وحساس لدرجة الحرارة لقياس حرارة مدخل ومخرج الجامع. وجهاز لقياس تغير الضغط في الجامع، واجهزة استشعار لدرجة حرارة المحيطة وسرعة الرياح. كما موضح في الشكل (٤-١٣).



شكل (٤-١١): يمثل منظومة اختبار اداء جامع الطاقة.

يجب ان يكون الاختبار تحت ظروف مستقرة مع دراسة طاقة الاشعاع التي تضيء سطح الجامع مع ثبوت السطوع على الجامع وجريان مائع ثابت ودرجة حرارة ثابتة عند المدخل للجامع مع سرعة رياح ثابتة ودرجة حرارة محيطة. درجة حرارة المائع الخارج من الجامع يجب ان يحافظ عليها ولذلك يجب الحفاظ على اكتساب الطاقة. الطاقة المكتسبة المفيدة يمكن ان تعطى بـ

$$Q = m^0 cp(T_{Fot} - T_{Fin}) \quad \dots (45-4)$$

حيث ان:-

m = معدل كتلة جريان السائل للحرارة المطروحة في المائع.

Cp = السعة الحرارية بثبوت الضغط.

T_{Fot} = درجة حرارة المائع الخارج.

T_{Fin} = درجة حرارة المائل الداخل.

ان الكفاءة الانية للجامع يمكن ان تعطى بـ

$$\tau_c = \frac{Q / A_c}{H_t} = \frac{(m \cdot / A_c) cp (T_{Fout} - T_{Fin})}{H_t} \quad \dots (46-4)$$

حيث A_c = تمثل مساحة الجامع، H_t = هي مجموعة حزمة وانتشار الاشعاع الساقطان. اختبارات الجامع تجرى عادة في الايام الصافية عندما يكون الاشعاع عالي وتكون الجوامع قريبة بصورة طبيعية لاشعة الشمس. نحن نعلم ان معظم الطاقة الساقطة هي طبيعة من حزمة الاشعاع الشمس وكنتيجة للنفاذية والامتصاصية الناتجة من فحص الجامع والتي يجب ان تؤخذ بالحسبان لحزمة الاشعاع وا لاشعاع الساقط بصورة طبيعية. من (t) النفاذية والامتصاصية (a) الانتاج للضوء الساقط الطبيعي (Ta) يمكن ان تعبر الطاقة المفيدة المكتسبة.

$$Q_u = A_c F_R (H_t (T_a) n - U_c (T_{Fin} - T_n)) \quad \dots (47-4)$$

حيث ان:-

U_c : تمثل معامل خسائر الطاقة الكلية.

F_R : معامل ازالة الحرارة للجامع.

F_R : هو نسبة المعدل الحقيقي لانتقال حرارة المائع الى نسبة انتقال الحرارة اذا كانت كل الصفيحة الماصة تعمل كليا عند درجة حرارة مساوية للمائع الداخل.

$$F_R = \frac{(m \cdot cp (T_{Fout} - T_{Fin}))}{A_c [H_a - U_c (T_{Fin} - T_a)]} \quad \dots (48-4)$$

حيث ان:-

Ha: هي طاقة الحرارة الممتصة بالجامع.

وبتقسيم المعادلة رقم (4-47) على **Ac Ha** نحصل على تعبير الكفاءة للجامع الذي يعمل تحت اشعاع ثابت وتدوير للمائع.

$$\tau_c = \frac{Q_u}{A_c H_t} = F_R (T_a) n - F_R U_c \frac{(T_{Fin} - T_a)}{H_t} \quad \dots (49-4)$$

ان المعامل $(F_R)(t a)n$ و (U_c) هما تقريبا ثابتان بالنسبة لظروف الشمس والحرارة على رسم كفاءة الجامع مع تغير $(T_{Fin} - T_a)/H$ نحن نحصل على خط مستقيم وميلان للخط المستقيم ذو قيمة سالبة ب $(F_R, U_c)n$ وهي عمودية و تتقاطع مع المحور بقيمة $(F_R)(U_c)n$.

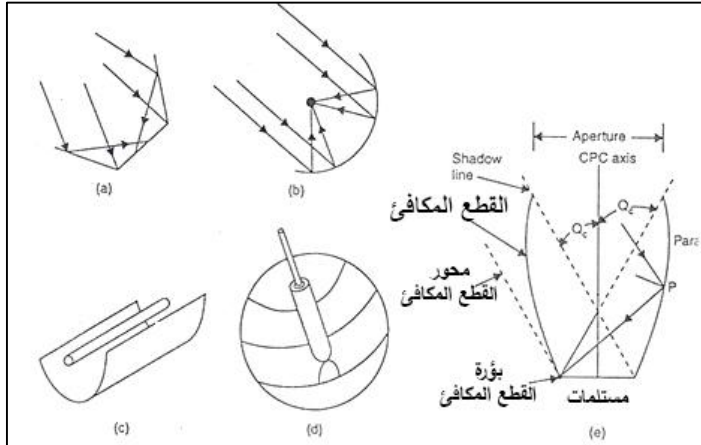
٤-٢٢-١: المجمعات المركزة (Concentrating Collectors)

تتولد طاقة حرارية عند استخدام الطاقة الشمسية لذا يجب تركيز للضوء قبل ان يتم تحويله الى حرارة ولهذا يزيد من التأثير الحراري للاجهزة الذي يحصل عن طريق انعكاس او انكسار للاشعاع الشمسي في منطقة البؤرة باستخدام المرايا او العدسات. ان الضوء المنعكس او المنكسر في بؤرة المنطقة سوف تزيد من فيض الطاقة وهو هدف المستلم. ان نسبة المساحة الظاهرة (A_a) والمساحة المستلمة (A_r) تسمى بالمساحة المركزة او التركيز البسيط (C) ويمكن وضعه بالصيغة الاتية:-

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad \dots (50-4)$$

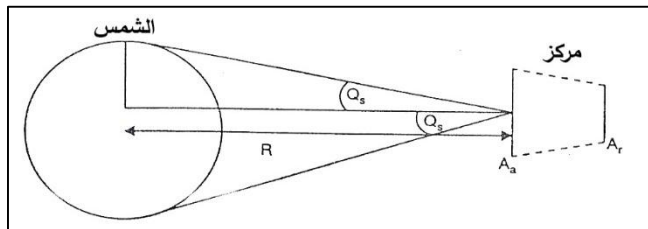
حيث A_a هي المساحة الظاهرة وهي عبارة عن مساحة الجامع التي تقاطع الاشعاع الشمسي و A_r هي مساحة الهدف المستلم شكل رقم (٤-١٣) يظهر بعض استعمال المركزات الشائعة. ان الشكل (٤-١٤) يوضح مستلم مستوي مع مرآة مستوية لاداء الانعكاس. ان مساحة التركيز لهذا النوع من المركزات هو قليل جداً.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



شكل رقم(٤-١٢):الجامعات المركزة (a) صفيحة مستوية وعاكس مستوي (b) قطع مكافئ (c) اسطوانة قطع مكافئ (d) قطع مكافئ (e) اجزاء المركز ذو القطع المكافئ جزء (b) من الشكل يظهر المراكز ذات القطع المكافئ.

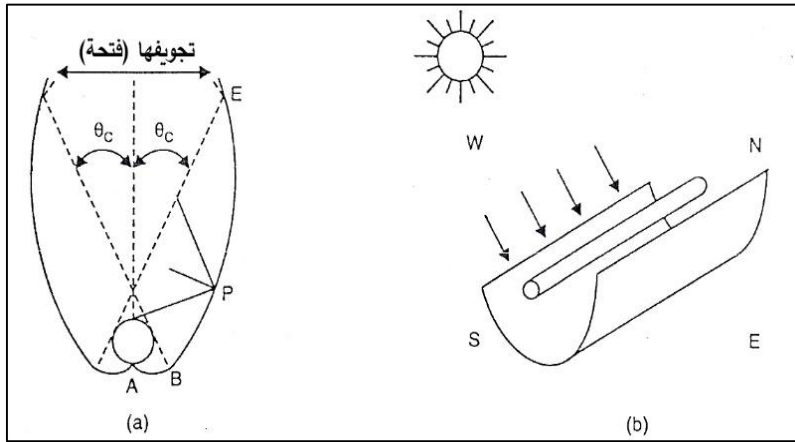
ان مراكز هذا النوع يمكن ان تصنع اما خطية ثنائية الابعاد مثل مراكز القطع المكافئ الاسطواني كما موضح في الجزء (c) او دائري ثلاثي الابعاد كما موضح في الجزء (d) هذه المراكز يمكن بلوغها بمستوى عالي من التركيز. في الجزء (e) من الشكل (٤-١٢) الذي يوضح اجزاء المركز ذو القطع المكافئ (cpc) هو خطي ثنائي الابعاد يحتوي على اثنان من القطوع التي تميل المساحات بزوايا $\mp O_c$ بالتتابع مع محور عدسات المركز ان زاوية (θ_s) تعرف بالزاوية المقبولة ل (cpc) ان زاوية القبول تعرف بالزاوية التي يستطيع من خلالها مصدر الضوء ان يتحرك ومع ذلك تبقى مستلم مقعر ويظهر الرسم التخطيطي للمركز في الشكل (٤-١٣) حيث (A_e) هي المساحة الظاهرة و (A_r) هي المساحة المستلمة لمستلم دائري والواقع على مسافة (R) من مركز الشمس التي تشع على شكل كرة نصف قطرها (r) والزاوية θ_s هي نصف الزاوية المقابلة للشمس ونصف الزاوية المقبولة هي للتركيز الاعظم.



شكل رقم(٤-١٣): مخطط توضيحي بين العلاقة بين الشمس او المركز.

ان نصف الزاوية θ_s يمكن ان تعرف ($\theta_s = 0,27$) حسب التركيز الاعظم. للتركيز المثالي الثلاثي الابعاد هو (45000) وذلك للشثائي الابعاد هو (212) للوصول الى هذه المستويات من التراكيز. ان التركيز يجب ان يلاحق الشمس باستمرار بكفاءة عالية. ان التركيز في المركب الاسطواني المكافئ يظهر في الشكل (٤-١٣) (e) هو اداة ذا كفاءة عالية مع تعقب جيد للاشعة الشمس.

ان (cpc) الاسطواني المثالي يمكن انجاز نسبة تركيز $\left(\frac{1}{\sin \theta}\right)$ لنصف الزاوية المقبولة (θ_s). ان الكفاءة لهذه الاداة يمكن ان تخفض بسبب عيوب الانعكاس بالاضافة الى اخطاء التعقب. في تشكيل سطوح الانعكاس عند أي نقطة (P) على العاكس العمودي يجب على هذا العاكس ان يقطع الزاوية بين الخط (PA) والاشعة الساقطة على (P) عند الزاوية θ_s بالتتابع على محور الجامع. ان المستلم في (cpc) ثنائي الابعاد يمكن ان يتعرف بعدة انواع. واحد مع المستلمات الانبوية كما موضح في الشكل (٤-١٤) (a) في هذا (cpc) ان الجزء الاقل من (BE) هو قطع مكافئ. في هذه الحالة ان المتطلبات للجزء المكافئ من الانعكاس هو أي نقطة (P) العمودية على العاكس والتي يجب نقطعه بزاوية بين الخط الماسي (PD) الى المستلم والاشعة الساقطة عند (P) في زاوية (θ_s) على التوالي على محور الجامع. ان المركز الاسطواني ثنائي الابعاد يمكن ان يوضع على محور الطولي اما باتجاه الشمالي او الجنوبي او الشرقي او الغربي ويكون مصنوع ليتعقب الشمس بالدوران حول محوره ليواجه الشمس باستمرار. في هذه الحالة ان التعديلات الفصلية للميلان غير ضرورية بسبب ان الزاوية المقبولة هي باتجاه محور الجامع وتكون كبيرة جدا. عندما يكون المركز باتجاه محوره الطولي باتجاه الشرق او الغرب مع قليل من التعديل الفصلي في الميلان ان الجامع يجب ان يكون قادر على الامساك باشعة الشمس بفعالية من خلال زاويته المقبولة الكبيرة والتي هي باتجاه طول المحور الافقي للتركيز. للتركيز المعتدلة يمكن ان تبقى ثابتة في الاتجاه الشرقي - الغربي كما موضح في شكل (٤-١٤) لمرآة قطع مكافئ.



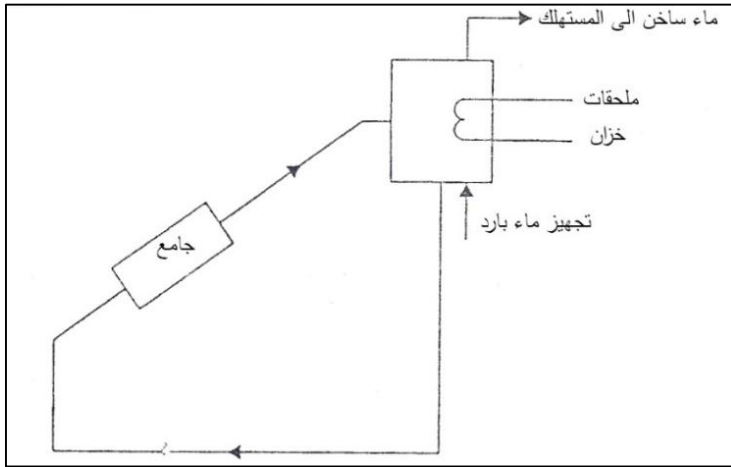
شكل رقم (٤-١٤):

(a) يمثل مركز القطع المكافئ مع انبوب ماص.

(b) التراكيز لقطع الكروية ذات الاتجاه الشمالي - الجنوبي.

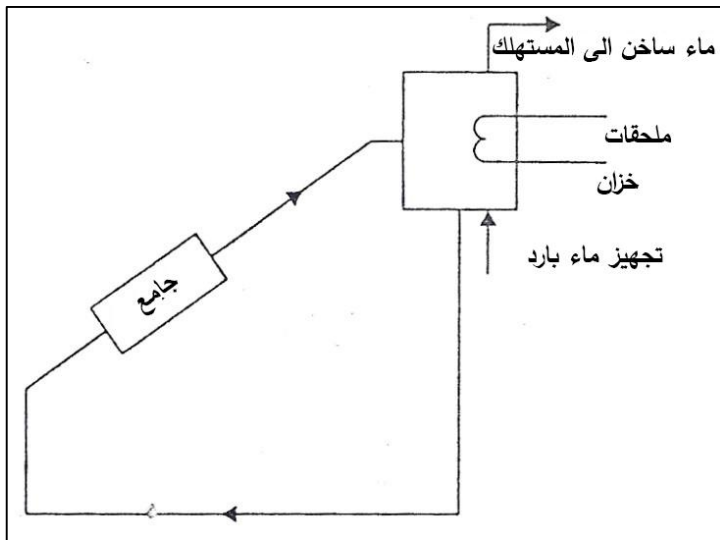
٤-٢٣ : سخانات المياه الشمسية (Solar Water)

في التطبيقات الواعدة للطاقة الشمسية في مجالات السخانات الشمسية وعمليات التسخين تحتاج فقط درجات حرارة معتدلة ويمكن الحصول عليها باستخدام جامعات ذات سطوح مستوية قليلة الكلفة. ان الشكل (٤-١٦) (a) يمثل ايسط سخان ماء شمسي مع تدوير طبيعي ويحتوي على جامع صفيحة مستوية للتسخين. وتستخدم طبقة زجاج واحدة وخزان والجامعة موضوعة في مكان اقل ارتفاعا من خزان الماء ويعتمد تدوير المياه على الاختلاف في الكثافة بين الماء المسخن شمسيا بالجامع والماء البارد في قعر الخزان. ان السخان المائي الشمسي مناسب جدا للمناخ الساخن او الحار.



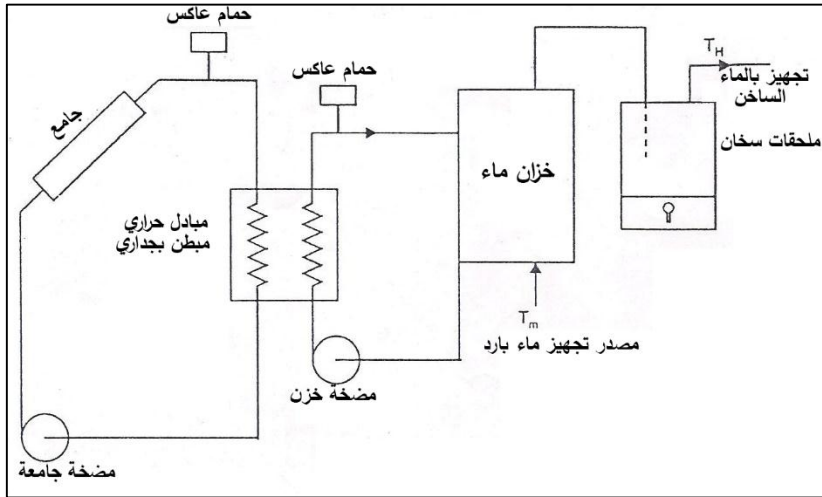
شكل (٤-١٦ أ): دورة تسخين طبيعية.

عند وضع حاوية الخزن فوق الجامع فمن غير الممكن يصبح التدوير اجباريا كما موضح في الشكل (٤-١٦) (b) في هذا الترتيب يمكن ان نضع الجامع على السطح والخزان في القبو. ان المضخة تشغل بمنظمات حرارة مختلفة عندما يكون الفرق في درجة حرارة الماء عند مخرج الجامع وقعر الخزان بمدى (٦°) مئوية عندما يستخدم هذا النظام في المناخ البارد فلهذا يجب ان يزود الجامع بتصريف ليمنع غليان الماء في الجامع عند تدوير المياه في معزل تام. ان العزل مطلوب بواسطة صمام امان.



شكل (٤-١٦ ب): دورة تسخين ماء مضغوط.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



الشكل (٤-١٧): سخان ماء شمسي مع محلول ضد الانجماد.

في هذا الترتيب المحلول المائي لجلايكول الاثيلين في حلقة الجامع مع مبادل حراري ذو جدارين قد يستخدم للحماية من الانجماد. ان المبادل الحراري يجب ان يحتوي على جدارين حديديين يفصلان المحلول السام ضد الانجماد وضمان الاستمرار لتجهيز الماء المنزلي. توجد في المنظومة مضختان واحدة لتدوير المائع الغير مضغوط للجامع والاخر للماء المنزلي المضغوط لضمان توفير ماء ساخن. توجد بعض التسهيلات طاقة كهربائية او وقود حجري. لتجهيز المصدر الشمسي من الوجهة الاقتصادية من المستحسن عند تصميم التأسيس على اساس المعدل اليومي للاشعاع في شهر صيفي وترك الكفاءة في تجهيز الماء الساخن في الايام الغائمة اما في اوقات الشتاء يتم تشغيلها بالتسخين المساعد. ان تقدير احمال تسخين المياه المنزلية (D) يمكن حسابها بالتعبير الاتي:-

$$D = N_{\text{days}} N_{\text{persons}} V_{\text{persons}} \rho c \rho (T_H - T_M) \quad \dots (51-4)$$

حيث: N_{days} = عدد الايام في الشهر.

N_{persons} = عدد الاشخاص الذين يشغلون المنزل.

V_{persons} = حجم الماء الساخن المطلوب للشخص الواحد.

ρ = كثافة الماء

$c\rho$ = الحرارة النوعية للماء $4/90 \text{ J/kg } C^\circ$

$$T_H = \text{درجة حرارة الماء الساخن (وتساوي تقريبا } 60^\circ\text{)}$$

$$T_M = \text{درجة حرارة الماء البارد}$$

ويمكن كتابة معادلة مشابهة لتسخين الماء الشهري لمؤسسة

$$D = V\rho cp(T_H - T_M) \quad \dots (52-4)$$

حيث (V) هو حجم الماء الساخن المطلوب بالشهر.

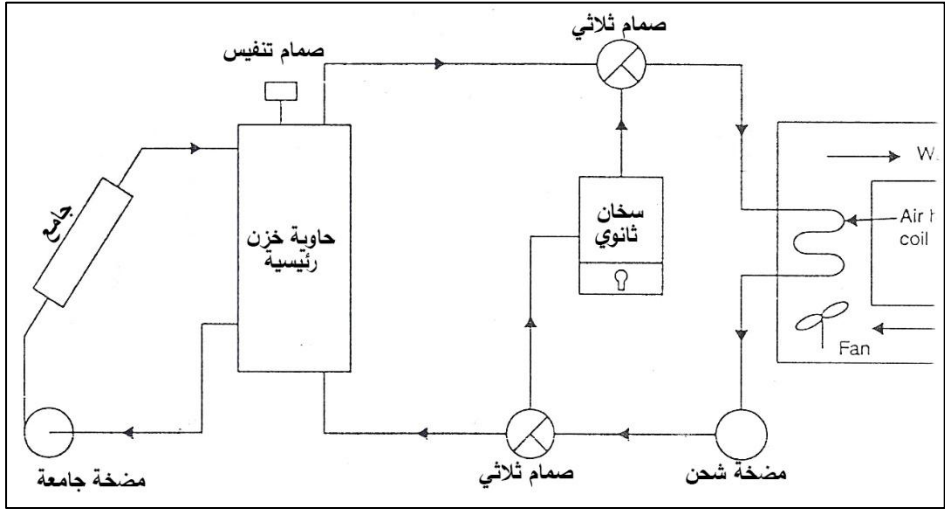
٤-٢٤: التسخين في الفضاء (Solar Space Heating)

هناك نوعان من أنظمة التسخين الشمسي في الفضاء هما:-

٤-٢٤-١: النظام الايجابي (Positive System)

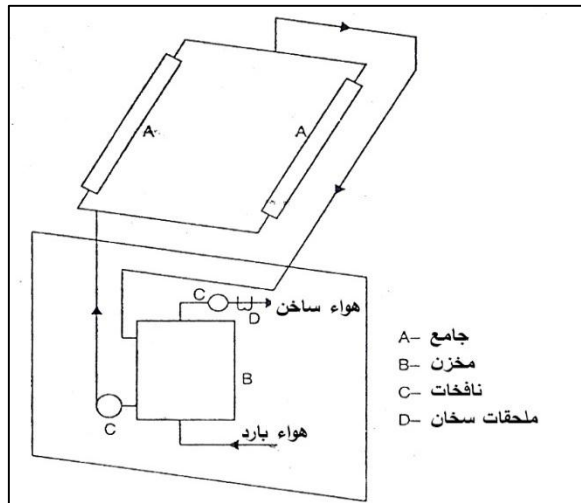
ان النظام الايجابي للتسخين في الفضاء موضح في الشكل(٤-١٨) لتسخين المائع يتم استخدام جوامع شمسية لامتناص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة حرارية بصورة معتدلة تم استخدام الماء لنقل الحرارة. ان الماء الساخن يتم ضخه الى الخزان بانتظار تجهيزه في الفضاء لتحويله الى طاقة حرارية بصورة تقليدية للتسخين. يكمل النظام الشمسي ليزود مجهز مساعد عندما يفشل النظام الشمسي يتم اكمال متطلبات المبنى في الفصول كافة سواء كان شتاء او صيف او يوم غائم او عادي تجهز التدفئة الى المبنى بالهواء الدافئ من خلال نظام مركزي ومبادل حراري. ان السيطرة على النظام المركزي يعتمد على إشارتين من درجات الحرارة الأولى توضع درجة الحرارة المخزونة في الجامع والأخرى درجة حرارة الغرفة عندما يكون الفرق بين الصفيحة الجامعة الممتصة للطاقة والقعر للخزان سوف تجتاز (٦ درجات). ان مضخة الجامع سوف تعمل وتبقى تعمل حتى تصل درجة الحرارة الى قريب الصفر وبعدها نطفئ المضخة عندما نحتاج التسخين للأحمال سوف تعمل المضخة وتحاول سحب الماء الساخن من الخزان الرئيسي اذا كانت الطاقة في الخزان لا تكفي لمطالب الأحمال فان منظم الحرارة سوف يجعل السخان المساعد يعمل ليجهز المبنى للتدفئة المطلوبة.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



شكل (٤-١٨): شكل توضيحي نظام تسخين فضائي يستند على المائع.

الشكل (٤-١٩) يمثل نظام تسخين شمسي يعتمد على الهواء. في هذه الحالة ان الهواء الساخن من الجامع يدور بواسطة مروحة الى الفضاء الحي لتلافي الاحمال المطلوبة والذي يعمل عادة كحجر في سرير ويوصف كخزان في نظام الهواء ان استخدام الهواء له فوائده ويملك تطابق درجات الحرارة المعروف في الحجر ليضمن مدخل صغير لدرجة الحرارة للجامع وذلك لتحسين الكفاءة التشغيلية لنظام تسخين الهواء.



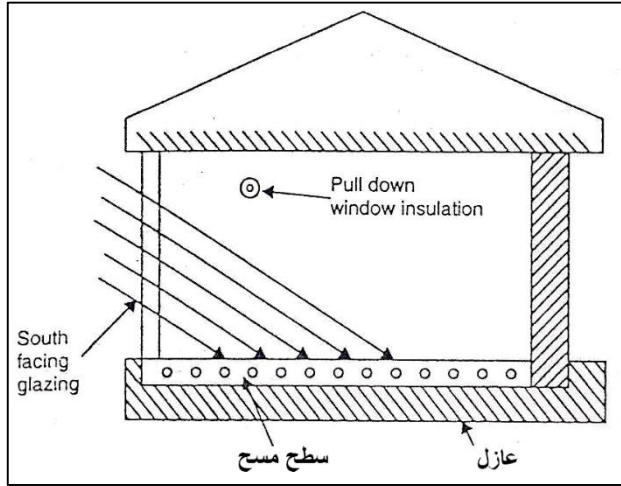
شكل (٤-١٩): يمثل نظام تسخين شمسي يعتمد على الهواء في هذه الحالة.

ان الهواء الساخن من الجامع يدور بواسطة مروحة الى الفضاء الواقعي لتلبية طلب الحمل ولتلافي الاحمال المطلوبة والذي يصنع عادة من فراش مسطح متكون من الحصى والذي يستخدم كخزان في نظام الهواء. ان لاستخدام الهواء فوائد في درجات الحرارة ليضمن مدخل صغير لدرجة الحرارة للجامع وذلك لتحسين الكفاءة التشغيلية لنظام تسخين الهواء. ان للنظام المائي مشاكل كثيرة واطار مثل انجماد الجامع والغليان للماء في الجامع اثار التاكل للماء والتسربات العرضية. ان الحرارة النوعية للماء هي اكبر بكثير من الحرارة النوعية للهواء لذا ان الانابيب والخزانات للانظمة المائية اكثر كلفة من الانظمة الهوائية للحصول اكبر بثلاث مرات من النظام المائي.

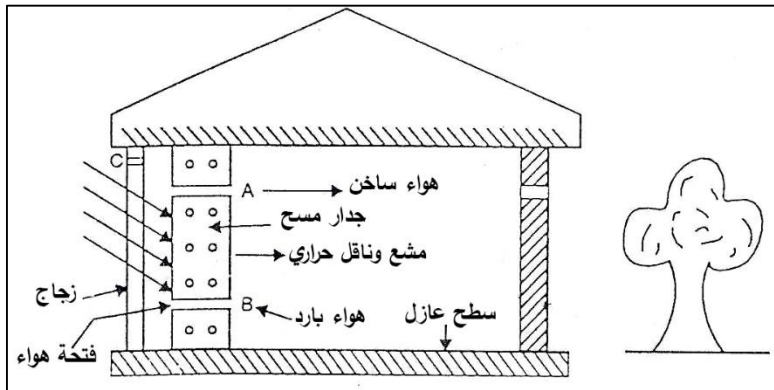
٤-٢٤-٢ : النظام السلبي (Negative System)

ان تصميم انظمة التدفئة السلبية يجب ان يكون جزءا لا يتجزا من عملية التخطيط المعماري بما في ذلك اختيار الموقع واتجاه البناء ومواصفات المواد. الاكتساب الغير مباشر والاحتباس الحراري له ثلاثة خصائص معمارية متميزة للانظمة السلبية في التصميم. في الانظمة السلبية ذات الاكتساب المباشر تكون ذات وفرة شبائيك زجاجية وتواجه الجنوب وتضيف ضوء الشمس مباشرة الى غرفة المعيشة حيث تضرب الاجزاء الداخلية ويتم تحويلها الى طاقة حرارية تساعد الكتل المستديمة على تغير درجة الحرارة الخارجية مع المبنى بخزن طاقة حرارية اكثر خلال النهار واطلاقها ليلا لمنع اطلاق الحرارة من الكتل الحرارية الداخلة الى البيئة الخارجية. ان عزل الاجزاء الخارجية من المبنى وهذا شيء مرغوب. ان عزل الجزء السفلي للطابق ضروري لعزل الجزء الداخلي من المبنى عن الارض. شكل(٤-١٩) يظهر الاكتساب المباشر البسيط لانظمة التدفئة مع أرضية كونكريت عازل. وليقلل عزله عن الظلال. ان اكثر شئ يجذب في تصميم انظمة التدفئة الغير مباشرة هي الجدران الماصة والخازنة فهي سميقة ومناسبة للجذب. ان الجدران المصنوعة من الكونكريت والموجودة مباشرة خلف زجاج منفرد او مزدوج وهناك فجوة بينها وهما الزجاج والجزء المصبوغ باللون الاسود للوجه الخارجي للجدار والموضح في الشكل(٤-٢٠).

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



شكل (٤ - ٢٠): يمثل الوجه الخارجي للجدار.

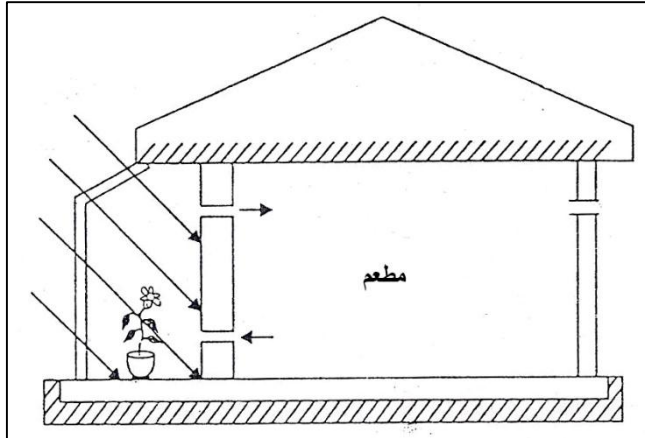


شكل (٤ - ٢١): يمثل سطح الخزن الماص.

مواقع التهوية (A) و (B) والتي يمكن أن تحفظ الباب اما مغلقة او مفتوحة والتي تكون بالقرب من القمة والقاعدة وهذه الجدران الخازنة (الجدار الكونكريتي) خلال النهار (A, B) قد بقيتا مفتوحة بين الزجاج الداخلي والجدار والتي تسخن وتجري في الغرفة من خلال المراوح بشكل إني. ولذلك أن التدوير الطبيعي عمل على نقل جزء منه إلى الغرفة بالإشعاع من السطح الداخلي للجدران الخازنة خلال الليل، كلا المروحتان قريبة وتعمل على انتقال الطاقة بالإشعاع أن هذا التصميم يمكن أيضا أن يجهز المراوح الصيفية في يوم صيفي حار. تعمل المروحة (B) و (D)

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية

والتي تبقى مفتوحة بين الغرفة (A) سوف تبقى على الهواء الساخن بين الزجاج والجدران وبعدها يجري من خلال الفتحة (C) وسحب الهواء من الغرفة مسببة لسحب الهواء من الخارج من خلال الفتحة (D) والتي يجب أن توضع ليكون سحب الهواء الاتي من الظلال والمساحة الباردة.



شكل رقم(٤-٢٢): البيت الزجاجي السلبي لنظام التدفئة.

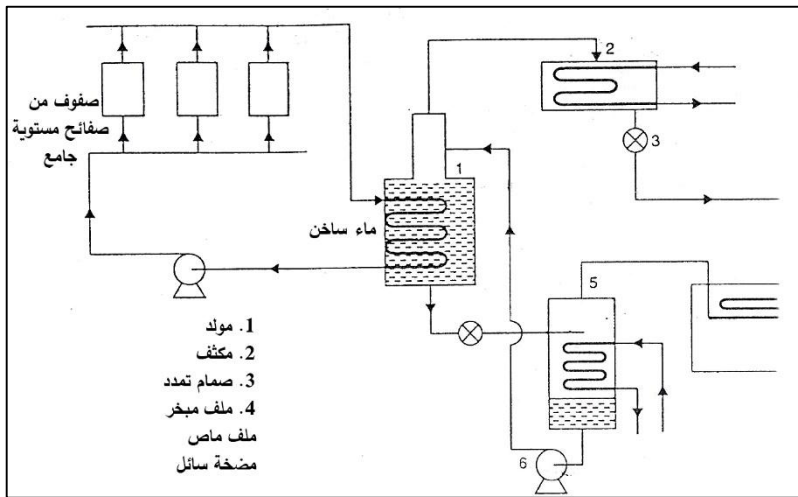
ان البيت الزجاجي الموضح في الشكل(٤-٢٢) يجمع الخواص لأنظمة التدفئة السلبية المباشرة والغير مباشرة وهو يسخن مباشرة بالضوء الشمسي والأجزاء الداخلية للبيت تسخن بصورة غير مباشرة داخليا من خلال مكونات الجدار. إن الهواء الساخن ينسحب في البيت الزجاجي لمكان المعيشة من خلال ممر يمكن ان يجهز تدفئة اضافية عندما تكون الاجزاء المصنوعة من مواد شفافة.

٤-٢٤-٣: التبريد في الفضاء (Cooling in Space)

ان الحاجة للتبريد سواء في المسكن او الاطعام ضروري عندما يكون الاشعاع الشمسي شديد. ان التغييرات الفصلية لمنافذ العوازل الارضية ترتبط مع احتياجات التبريد للراحة الانسانية ولحفظ الاطعمة وعلى كل حال ان وجود هذا يتطلب طاقة شمسية متوفرة اقل من الطاقة الشمسية المطلوبة في السخانات الشمسية. ان التصميم الفعال لمنظومات الطاقة الشمسية ومعدات التخزين قد اجتاز العديد من العقبات. الشكل (٤-٢٣) يمثل منظومة ماء ساخن من الجامع ذو الصفيحة المستوية يمر خلال مبادل حراري (المولد) حيث يحول الحرارة الى خليط محلول للامتصاص والتثليج في الضغط العالي، ان بخار التبريد يذهب الى المكثف حيث يكتفه الى مائع تحت ضغط

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية

وتبريده الى درجة حرارة واطنة ويمر من خلال ملف التبخير في هذه المرحلة، الغاز المبرد يمتص الحرارة وكتيجة للتبريد يمتص الى فضاء المحيط لهذا الملف. ان الغاز المبرد يتحول الى محلول خليط يسحب من خلال المولد والذي هو قليل التركيز والتشليح وبعدها يضخ الى المولد مرة اخرى ليكمل الدورة في بعض المبردات الشائعة يوجد خليط هي ماء الامونيا وماء بومايد الليثيوم. برومايد الليثيوم يستخدم لاغراض التبريد ان معامل الاداء (نسبة تاثير التبريد بالنسبة الى الحرارة المجهزة في المولد لمدى بين (٥,٠-٨,٠).



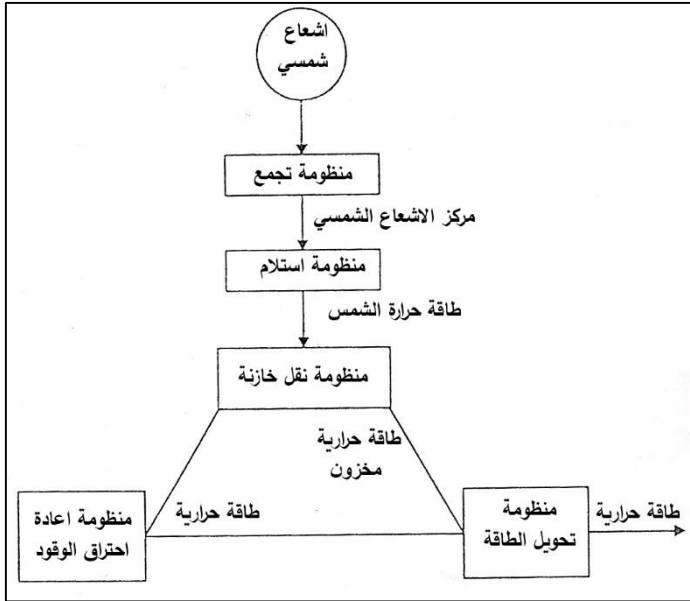
شكل(٤-٢٣): نظام تنليج شمسي ماص.

٤- ٢٥: التقنيات الحرارية الشمسية (Solar – Thermal Technologies)

تعتمد تقنيات طاقة الحرارة الشمسية على اربع انظمة اساسية، الجامع، المستلم، النقل، والخزن وتحويل الطاقة شكل(٤-٢٤) يبين مسالك الاشعاع الشمسي خلال عمليات الاستلام وتركيز الاشعاع الشمسي ومن ثم التجهيز الى المستلم، ان المستلم يمتص ضوء الشمس المركز ويحوطه الى طاقه حرارية. ان نظام النقل والخزن يمرر المانع الناقل للطاقة الحرارية من المستلم الى نظام تخزين الطاقة. في بعض محطات طاقة الحرارة الشمسية ان جزء من الطاقة الحرارية تستخدم لاحقا في استعمالات اخرى. ان نظام تحويل الطاقة يحتوي على محرك حراري واجهزة ذات علاقة

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية

بعملية تحويل الحرارة الى طاقة كهربائية. بعض التصاميم تحوي على وقود لاحتفوري ثانوي. يكون مصدر لحرارة شحن الخزن او تحويله الى طاقة خلال فترات ذات الاضاءة الشمسية القليلة.



شكل (٤-٢٤): يبين مخطط تقنيات تحويل الطاقة الحرارية خلال الجامع والمستلم والخزن وتحويل الطاقة.

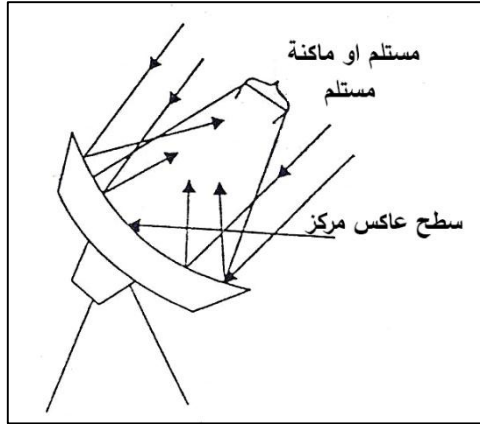
٤-٢٦: أنظمة الشحن ذو الشكل القطع المكافئ (Barabolic Dish Systems)

ان الصحن المكافئ هو جامع ذو بؤرة (نقطة) مركزة يتبع الشمس بمحورين لتركيز الطاقة الشمسية على موضوع في بؤرة الصحن، كما موضح في الشكل (٤-٢٥) يمتص المستلم الطاقة الشمسية المشعة ويحولها الى طاقة حرارية في تدوير المواع. ان الطاقة الحرارية يمكن تحويلها الى طاقة كهربائية باستخدام محرك توليد ويحولها مباشرة الى المستلم او يمكن ان تنقل من خلال الانابيب الى الانظمة المركزية لتحويل الطاقة، ان الصحن ذو القطع المكافئ له عدة محددات:-

١. انها اكثر انظمة الجوامع فعالية كونها دائما موجهة باتجاه الشمس.
٢. ذات كفاءة امتصاص للحرارة كبيرة، وتحويلها للطاقة حيث انها نموذجية بالنسبة لنسب التراكيز وبمعدل من (٦٠٠-٢٠٠٠).

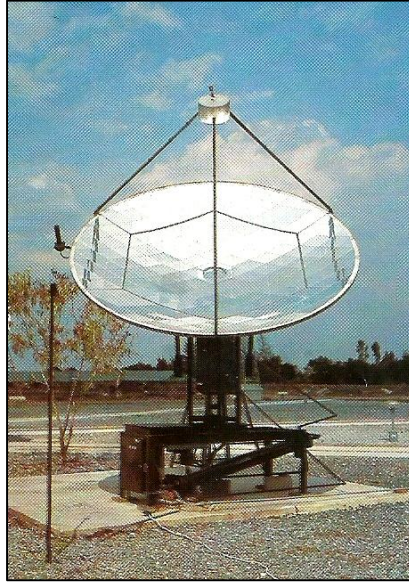
الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية

٣. يملك الجامع وحدات استلام تكون وظيفيا مستقلة او جزء كبير لنظام الصحون او تكون كجزء من منظومة كثيرة من الصحون، ان الصحن ذو القطع المكافئ يمكن ان يجهز بدرجات حرارة تزيد عن (١٥٠٠ درجة مئوية).



شكل (٤-٢٥): الصحن ذو شكل قطع مكافئ.

ان هذا النظام من الانظمة المتطورة لتقنيات الحرارة الشمسية ومنصب بشكل كبير لكلا العمليات الحرارية والكهربائية وايضا من خلال تشغيل الانظمة النموذجية عند درجة حرارة (١٠٠-٤٠٠ م°) والتي هي قليلة الاهمية من تلك التي تحصل بانظمة التراكيز، ان نظام التصميم يعطي الفائدة من خلال مرونته وسمعته التجارية وان دوائر الجريان متوازية ويمكن تعديل خصائص النظام حسب مدى الاداء الذي نريده. او يتكون من مرايا عاكسة موضوعة بترتيب على سائل ناقل حراري يعمل عند درجات حرارة تصل حتى ٤٠٠ درجة مئوية. يتم الاستفادة من الحرارة المارة عبر مبادل حراري ليعطي حرارته للماء الذي يتحول إلى بخار ويمرر هذا البخار على تورباين ومن ثم الى مولد يقوم بتدويره وتوليد الكهرباء انطلاقا من الحركة الميكانيكية للمولد. كما موضح في الشكل (٤-٢٦).

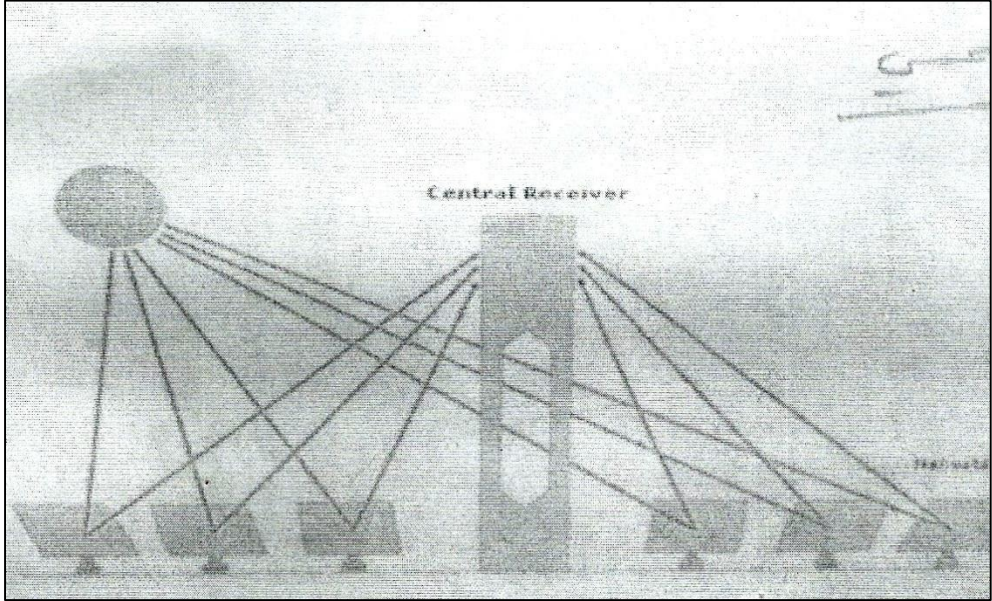


شكل (٤ - ٢٦): يبين القطع الاسطواني.

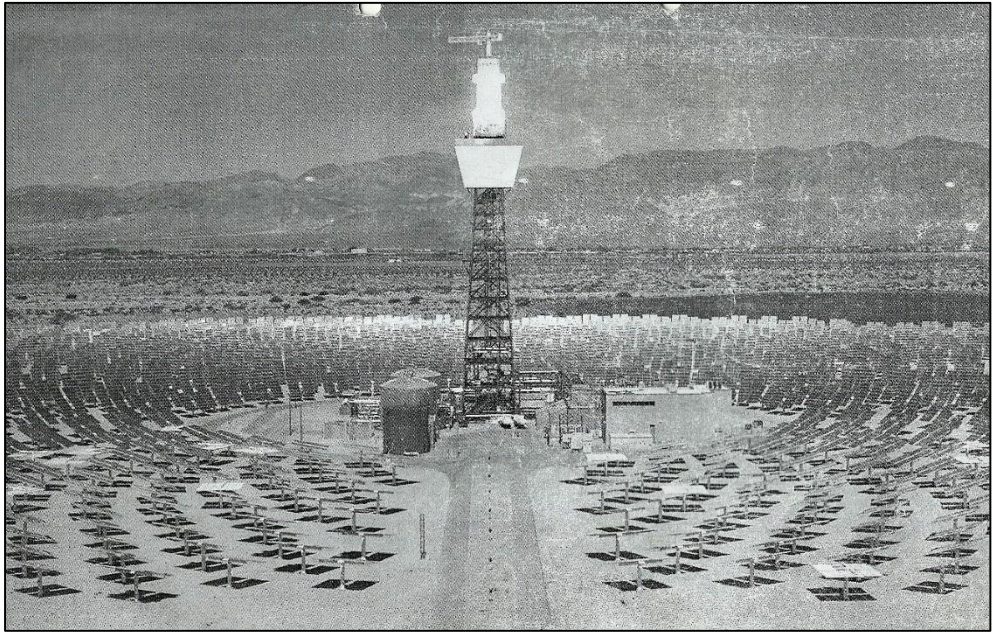
٤-٢٧: الحقل الشمسي (Solar Farm)

إن الحقل الشمسي عبارة عن مئات أو آلاف المرايا العاكسة المصنوفة في خطوط دائرية. وكل مرآة عاكسة مثبتة على قاعدة صحن (الستلايت المتحرك)، حيث تقوم كل هذه المرايا بعكس أو تركيز أشعة الشمس على برج ثابت يصل ارتفاعه الى عشرات الأمتار. وتتحرك كل هذه المرايا مع حركة الشمس بحيث تتبعها بدقة ليتم عكس أشعة الشمس بأعلى تركيز ممكن على البرج الثابت في عملية مشابهة لحركة زهرة دوار الشمس. وتتم في داخل البرج الثابت عملية تسخين الماء وتحويله إلى البخار في عملية توليد الطاقة الكهربائية التقليدية. والشكل (٤-٢٧) يمثل حقل شمسي.

الفصل الرابع : طاقة الشمس الحرارية



شكل (٤-٢٧ أ): يمثل مستلم مركزي للحرارة الشمسية.



شكل (٤-٢٧ ب): يمثل حقل شمسي.

الفصل الخامس

طاقة الرياح

Wind Energy

١-٥ : المقدمة (Introduction)

إن طاقة الرياح هي شكل من الإشكال الغير المباشرة و الناشئة من الطاقة الشمسية. يتم تحويل مايقارب ١ ٪ من الإشعاع الشمسي الكلي الذي يصل إلى الأرض من خلال الجو إلى طاقة رياح. تنتج الرياح من التسخين التفاضلي للأرض وغلافها الجوي عن طريق الشمس. فبينما تسخن الشمس أجزاءً مختلفة للأرض بمعدلات مختلفة، فإن الهواء ينتقل من المناطق الباردة إلى الدافئة لتوليد الرياح. ان الرياح هي الحركة الافقية للهواء الموازية لسطح الارض، اما الحركة العمودية للهواء تشكل تيارات هوائية صاعدة واخرى نازلة. يهتم العلماء بدراسة الرياح ومعرفة خصائصها وسرعتها واتجاهها لما لها من اثر في حدوث الكثير من ظواهر الطقس مثل ارتفاع درجات الحرارة وانخفاضها وتكاثف بخار الماء لذا تقوم بنقل الطاقة من المناطق المدارية الى المناطق القطبية. ان طاقة الرياح هي عملية تحويل حركة الرياح الى شكل اخر من اشكال الطاقة سهلة الاستخدام كالطاقة الكهربائية وذلك باستخدام التوربينات، وقد بلغ اجمالي انتاج الطاقة الكهربائية من الرياح للعام ٢٠٠٦ بـ ٢٢٣،٧٤ ميغاواط بما يعادل ١٪ من الاستخدام العالمي للكهرباء، بلغت نسبة الانتاج الى الاستهلاك حوالي ٢٠٪ في الدنمارك و ٩٪ في اسبانيا و ٧٪ في المانيا. وبهذا يكون الانتاج العالمي للطاقة المحولة من الرياح قد تضاعفت ٤ مرات خلال الفترة الواقعة بين عام ٢٠٠٠ وعام ٢٠٠٦. يتم تحويل حركة الرياح التي تدور التوربينات عن طريق تحويل دورانها الى كهرباء بواسطة مولدات كهربائية. ويستفيد العلماء من خبرتهم السابقة بتحويل حركة الرياح الى حركة فيزيائية حيث ان استخدام طاقة الرياح بدا مع بدايات التاريخ. فقد استخدمها الفراعنة في تسير المراكب في نهر النيل كما استخدمها الصينيون عن طريق طواحين الهواء لضخ المياه الجوفية. تستخدم طاقة الرياح الان بصورة رئيسية لتوفير الكهرباء للمنازل الريفية والمناطق النائية.

الفصل الخامس : طاقة الرياح

ان طاقة الرياح متجددة ولا تسبب مشاكل بيئية. ولها تطبيقات مختلفة في بعض بلدان العالم التي يتوافر فيها مقدار لا بأس به من قدرة الرياح. فمثلا الرياح في الهند تقدر قدرتها لتوليد طاقة كهربائية تفوق الـ $20.000MW$. بناءً على تقييم حديث، فإن ترتيب الهند عالٍ جداً بين البلدان النامية حيث تبدو قدرة طاقة الرياح واعدة جداً. وهكذا، يمكن اعتبار توقعات طاقة الرياح في الهند بديلاً مؤثراً بالكلفة نسبةً إلى المصادر التقليدية للقدرة الكهربائية. خلال الـ ٢٠ سنة الماضية. حدث تقدم مذهل في التكنولوجيا المستخدمة في تحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية. تم ربط أكثر من ١٥٠٠٠ توربينة رياح في كاليفورنيا و ٢٨٠٠ في الدنمارك إلى شبكة الكهرباء القائمة وتُشغّل بصورة ذاتية بالتزامن مع مصادر الطاقة التقليدية. ليس هناك من سبب أساسي يمنع ان تكون توربينات الرياح جزءاً رئيساً لأية شبكة طاقة كهربائية عندما توجد هناك موارد رياح جيدة، بشرط أن تستطيع التنافس مع أكثر المنظومات المألوفة على أساس الكلفة، والمعولية والقبول العام. رغم إن تكنولوجيا طاقة الرياح تتطلب اهتماماً حذراً بالتفاصيل العلمية والهندسية، فهي جيدة ضمن قابليات معظم الدول إن لم تكن كلها وباتت منافسة اقتصادياً في مناطق كثيرة حول العالم.

٢-٥ : تكنولوجيا طاقة الرياح (Wind Energy Technology)

أ- الاعتبارات الأساسية (Basic Considerations)

تقدر الطاقة الحركية (U) لعينة من الهواء حجمها، $A(\delta x)$ ، وكثافتها (ρ)، وتتحرك بسرعة (v)، ولها وحدة مساحة A عمودية على مجرى الرياح وان δx موازي لمجرى الرياح، بـ:

$$U = \frac{\rho A(\delta x)v^2}{2} \quad \dots (1-5)$$

ان كثافة طاقة الرياح P_w عبارة عن المعدل الزمني لتغير U/A والتي يمكن حسابها بالمعادلة الآتية:-

$$P_w = \frac{dU}{dt} \times \frac{1}{A} = \frac{P}{2} \left(\frac{\delta x}{\delta t} \right) v^2 = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad \dots (2-5)$$

ليست كل كثافة طاقة الرياح المتوافرة مفيدة للعمل والجدول (١-٥) يوضح ذلك.

الفصل الخامس : طاقة الرياح

جدول رقم (١-٥): يمثل علاقة سرعة الرياح بكثافة قدرة الرياح.

1000-400	400-300	300-250	250-200	200-150	150-100	100-0	كثافة قدرة الرياح على ارتفاع ١٠ متر واط/ متر مربع
9.4-7	7-6.4	6.4-6	6-5.6	5.6-5.1	5.1-4.1	4-0	سرعة الرياح على ارتفاع ١٠ متر/م/ثا

ان أقصى طاقة يمكن الحصول عليها من مجرى الرياح $P_{Max} = 16/27 \times P_w$ ان تُعرف هذه الكمية بـ حد بيتز **Betz limit**. بسبب تغير طاقة الرياح طردياً مع مكعب سرعته، ويجب ان تكون توربينة الرياح قادرة على العمل عند التباين الكبير في كثافة قوة الرياح (P_w) وملائمتها للبيانات النمطية في سرعة الرياح. على سبيل المثال، إن كان لمساحة ما معدل سرعة رياح ذات (U_{avg}) تعادل ($0.5U_{avg}$)، فإن كثافة القدرة المتوفرة تبلغ $1/8$ من تلك التي عند (U_{avg})، بينما عند ($2U_{avg}$) تكون كثافة القدرة ثماني مرات تلك التي عند (U_{avg}). وهكذا، تكون سرع الرياح أقل من المعدل الذي يعود بفائدة قليلة، بينما السرعة التي تزيد عن المعدل قد تؤثر بصورة مفرطة على مكونات التوربينة. وهكذا، يكمن التحدي التقني في تصميم توربينة رياح لها القابلية على العمل بكفاءة ويجدارة اثناء التباين الكبير في كثافة قدرة الرياح (P_w) رغم تغيرات الجو، لكي لا تكون سرعة الرياح في أية منطقة مفترضة ثابتة بل تتغير بمرور الثواني، والساعات (اختلاف يومي)، والأيام، والأشهر (اختلاف موسمي). يمكن ان تواجه توربينة الرياح تغيرات كبيرة في سرعة الرياح. يُشار إلى التقلبات في السرعة التي تحدث بمرور الثواني أو الدقائق بالاضطراب وقد تسبب كلال وفشل مكونات توربينة الرياح (الأنصال، الناقلات، والمولدات). لتحديد كثافة طاقة الرياح، سرعة الرياح ومعدل كل منهما خلال فترة كل ساعة واحدة؛ لتوزيع التردد الذي عنده تحدث سرع الرياح المختلفة يوصف توزيع تردد سرعة الرياح $f(v)$ الذي قد يتغير يومياً وفصلياً. إن لم تكن المعلومات حول توزيع التردد متوفرة، فإنه من الممكن اعتماد توزيع رايلي. وتأخذ دالة كثافة احتمالية رايلي (**Rayleigh Probability**) الصيغة الآتية:

$$f(v) = \frac{\pi v}{2} (v_{avg})^{-2} \times \exp\left(-0.25\pi\left(\frac{v}{v_{avg}}\right)^2\right) \quad \dots (3-5)$$

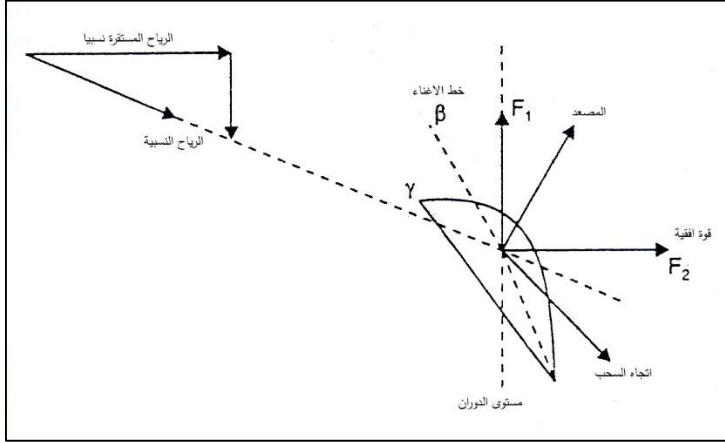
الفصل الخامس : طاقة الرياح

قد تختلف سرعة الرياح وتوزيع التردد مع الارتفاع. حسب الجدول (٥-١) عموماً، يتم اجراء قياسات الرياح عند ارتفاع محدد، وغالباً بالقرب من ١٠ أمتار مما يختلف عن ارتفاع القبة المحتمل (٢٥ إلى ٥٠ متراً) لتوربينات الرياح الحديثة. لاستكمال استقراء هذه البيانات إلى الارتفاع المطلوب، يُفترض عادةً أن سرعة الرياح تزداد $1/7$ من قيمة الارتفاع. يُصطلح على الزيادة في سرعة الرياح مع الارتفاع (h) (فوق المستوى الأرضي) عادةً بصطلح عليه بجهد قص الرياح، (**Wind Shear**) وهو عموماً دالة لخشونة السطح، وسرعة الرياح والاستقرار الجوي. استناداً إلى البيانات من مواقع عديدة، ولمساحة ذات سطح قليل الخشونة، وتحسب بموجب المعادلة الآتية:-

$$v(h_2) = v(h_1) \times \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{1/7} \quad \dots (4-5)$$

ب- الديناميكا الهوائية (**Aerodynamics**)

تنتج توربينات الرياح الحديثة وتستخلص الطاقة من مجرى الرياح عن طريق تحويل الطاقة الحركية الخطية للرياح إلى الحركة الدورانية المطلوبة لتدوير مولّد كهربائي. يتحقق هذا التغيير عن طريق دوار (**rotor**) دوار يمتلك واحداً أو اثنين أو ثلاثة ريش (جنيحات) (**Air foils**) تعلق على محور؛ تدفق الرياح فوق سطوح هذه الجنيحات مولدة القوى التي تسبب تدفق الهواء بسلاسة فوق الجنيحات (**Air foils**) وينتج قوتين: قوة رفع، تعمل عمودياً على التدفق، وقوة سحب تعمل في اتجاه التدفق كما موضح (الشكل ٥-١) إذا أصبح التدفق غير مرتبط أو منفصل، يتم تقليل الرفع ويقال إن الجنيح قد توقف. كل من قوة الرفع والسحب متناسبان مع كثافة الهواء، ومنطقة الجنيح، ومربع سرعة الرياح للتدفق الصفائحي **Laminar**، ويتم تكبيرها في قيمة واحدة لزواية التصادم γ (الزاوية بين سرعة الرياح النسبية وخط الوتر). **Angle of attack** بما ان سرعة الريش تزداد مع المسافة على طول الجنيح، فإن زاوية التصادم يجب أن تتغير أيضاً على طول الجنيح، أي لابد من التواء الجنيح للحصول على أقصى قدر من الكفاءة.

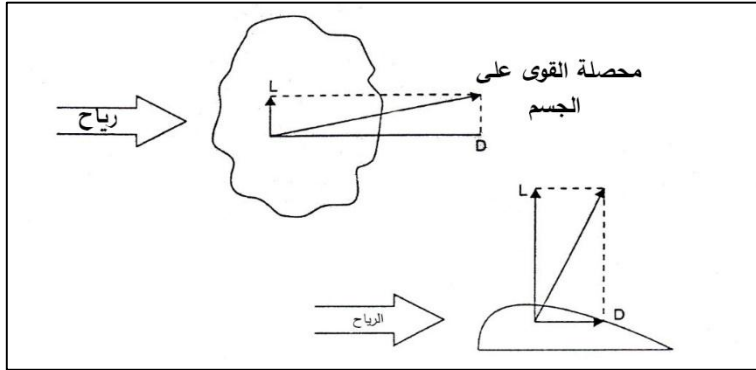


الشكل (١-٥): يمثل قوة الرفع، السحب، زاوية التصادم γ وزاوية الميل β لجنيح توربينة الرياح. تكون قوة الرفع وقوة السحب متعامدتين على التوالي لسرعة الرياح كما يُرى من الدوار المتحرك، ويمكن تحليلها الى القوى F_1 باتجاه إزاحة الجنيح و F_2 باتجاه الرياح غير المشوّشة. تكون القوة F_1 متاحة للعمل المفيد، في حين يجب أن يُصمّم البرج والأجزاء الهيكلية لتوربينات الرياح بحيث تتحمل القوة F_2 (الذي يصطلح عليه بالدفق الدوار).

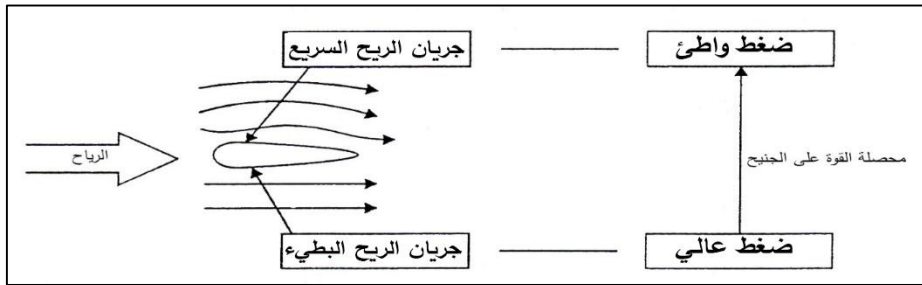
ج - مبادئ تحويل طاقة الرياح (Principles of Wind Energy Conversion)

تسلط الرياح عندما تهب على الاجسام الواقعة في مسارها قوتين هما قوة الدفع وقوة السحب تعمل قوة السحب بنفس اتجاه الرياح في حين تكون قوة الرفع عمودية على اتجاه الرياح. تعتمد المقادير النسبية لقوتي السحب والرفع على شكل الجسم. تواجه الأجسام الانسيابية قوى سحب أصغر بكثير من الأجسام غير الحادة. يسبّب توليد الرفع مقداراً معيناً من قوة السحب دائماً. قد تمتلك الجنيحات الجيدة رفعاً يكون أكبر بـ ٣٠ مرة من السحب. الشكل (٢-٥) يوضح الأحجام النسبية لقوتي الرفع والسحب للأجسام غير الحادة والانسيابية. تكون أجهزة الرفع بطبيعتها أكثر كفاءة من أجهزة السحب. ان قوى الرفع يتم توليدها من خلال إحداث اختلاف أو فرق في سرعة تدفق تيار الهواء على أي من جانبي السطح الرافع. يتدفق الهواء على السطح بصورة أسرع، مما يسبب انخفاض الضغط. وهذا يحدث فرقاً في الضغط عبر السطح. ان فرق الضغط عبارة عن قوة تعمل من جانب الضغط المرتفع باتجاه جانب الضغط المنخفض. ان الشكل (٣-٥) يبين توليد الرفع عن طريق الجنيح بسبب فرق الضغط.

الفصل الخامس : طاقة الرياح



الشكل (٣-٥): يمثل المقادير النسبية لقوتي الرفع والسحب للأجسام غير الحادة والانسيابية.



الشكل (٣-٥): توليد الرفع عن طريق الجنيح.

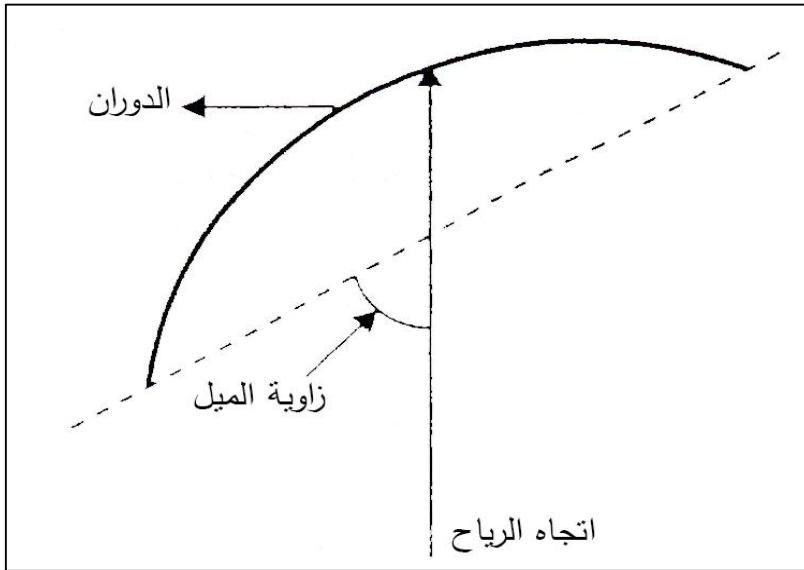
د- تصميم الدوار:

من أجل فهم آثار الاختلافات في تصميم الدوار، فمن المفيد وصف كيفية تفاعل ريش الدوار مع الرياح، وتحديد بعض معلمات (سمات) التصميم القياسية وكما يأتي.

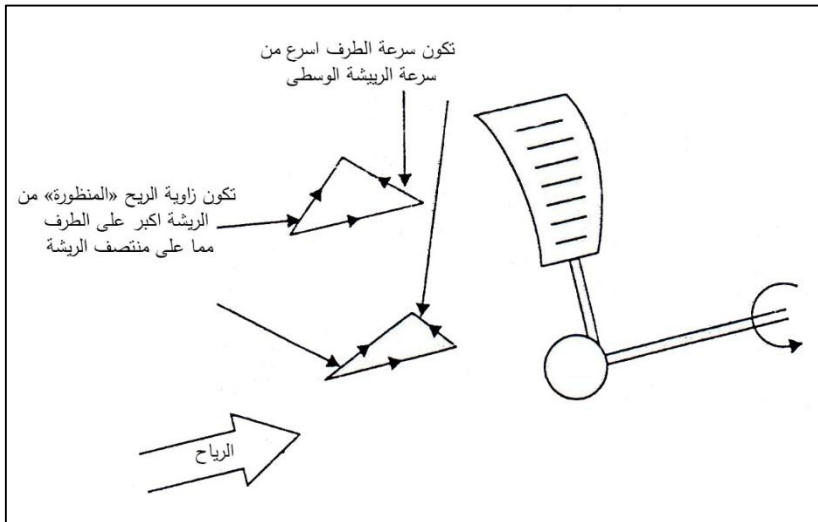
١-٢-٥: الدرجة (الخطران) (Pitch)

يمثل ريش الدوار المقوسة التي تتسبب انعكاس الرياح وتوليد قوة الرفع التي تسبب تدوير الدوار. من أجل توليد أكبر قدر ممكن من الرفع، يجب أن توضع الريش عند زاوية مناسبة للرياح، تسمى بالخطرات كما موضح في الشكل (٤-٥). بما إن أطراف الريش ترحل بصورة أسرع من النقاط الأقرب إلى المحور، فإن زاوية الرياح "المنظورة" من الشفرة أو الريشة مع نصف القطر كما مبين في الشكل (٥-٥). يكون الدوار هو الأكثر كفاءة إن كانت هذه الزاوية "منظورة" من الريشة بالكبير الممكن دون أن تكون كبيرة جداً بحيث يتوقف الدوار. لجعل الزاوية كبيرة على طول طريق الريشة التي تلف حوله. للسبب نفسه، يصمم الدوار بحيث تدور الرياح ريشة بسرعة، مثل توربينة الرياح ذات الريشتان أو الثلاث ريش التوربينية.

الفصل الخامس : طاقة الرياح



الشكل (٤-٥): رسم تخطيطي يبيّن زاوية خطران ريشة الدوار.



الشكل (٥-٥): تغير زاوية خطران الريش مع نصف القطر.

٥-٢-٢: الصلابة (Solidity)

تُعرّف الصلابة عادةً بأنها النسبة المئوية لمحيط الدوار الى المساحة التي تملأه ريش الدوار. على سبيل المثال، إذا كان لدوار قطر ٦ أمتار ٢٤ ريشة، كل منها بعرض 0.35م وتحسب الصلابة بالمعادلة الاتية:-

$$\text{Solidity (الصلابة)} = \frac{24 \times 0.35}{\pi \times 6} \times 100 = 45\% \quad \dots (6-5)$$

الصلابة، في الواقع، جزء من المساحة المجتازة للدوار الذي يملأه المعدن. المعادلة العامة هي:

$$\text{الصلابة \%} = 31,8 \times \text{عدد الريش} \times \text{عرض الريشة} \div \text{قطر الدوار} \dots (7-5)$$

كلما ازدادت صلابة الدوار كلما احتاج إلى أن يكون أبطأ في التحول بالنسبة لاعتراض الرياح. تمتلك توربينة الرياح ذات الريشتين أو الثلاثة ريش صلابة منخفضة جداً ولذلك فهي بحاجة إلى الدوران بسرعة لاعتراض الريح. وإلا فسيتم فقدان الكثير من طاقة الرياح من خلال وجود الفجوات الكبيرة بين الريش.

٥-٢-٣: نسبة السرعة الطرفية (Tip -Speed Ratio)

هي نسبة سرعة أطراف الريش لسرعة الرياح. على سبيل المثال، إذا كان دوار بقطر ٦ أمتار يدور في ٢٠ دورة في الدقيقة، وتبلغ سرعة الرياح ٤م/ثا، تُعطى نسبة السرعة الطرفية للدوار ب:

$$\text{Tip-speed ratio (نسبة السرعة الطرفية)} = \frac{(\pi \times 6 \times 20) / 60}{4} = 1.6 \quad \dots (8-5)$$

المعادلة العامة هي:

$$\text{نسبة السرعة الطرفية} = 0,052 \times \text{قطر الدوار ب (م)} \times \text{سرعة الدوران ب (rpm)} \times \text{سرعة الرياح ب (م/ثا)} \dots (9-5)$$

إذا كان الدوار يدور بسرعة أكبر من سرعة الرياح فإنه سيحصل على نسبة سرعة طرفية أكبر من واحد. وبالعكس إذا دار على نحو أبطأ من سرعة الرياح فإنه سيحصل على نسبة سرعة طرفية أقل من واحد. لاتستطيع الدوارات التي تعتمد على قوى السحب لتدويرها، مثل الpanamones، أبداً الدوران أسرع من سرعة الرياح وسوف تحصل دائماً على نسب سرعة طرفية أقل من واحد. تحصل توربينات الرياح ذات الريشتين والثلاث التي تدور بسرعة كبيرة على نسب عالية من السرعة الطرفية من ٣ إلى ١٠. تحصل الدوارات متعددة الريش المناسبة لضخ الرياح عموماً على نسب سرعة طرفية بين ١ و ٢. يحصل كل دوار على نسبة سرعة طرفية مثلى عندها يعمل بكفاءته القصوى.

٥-٢-٤ : معامل الأداء (Performance Coefficient)

إنّ معامل أداء الدوار هو جزء من طاقة الرياح المارة عبر قرص الدوار ويتم تحويلها الى قوة ازاحة العمود **shaftpower**. هذا هو مقياس كفاءة الدوار وهو يتغير مع نسبة السرعة الطرفية. يظهر معامل الأداء النموذجي مقابل منحنيات نسبة السرعة الطرفية لدوارات ذات صلابة متفاوتة كما موضح في الشكل (٥-٦). لكل دوار معامل اداء فريد من نوعه مقابل نسبة السرعة الطرفية.

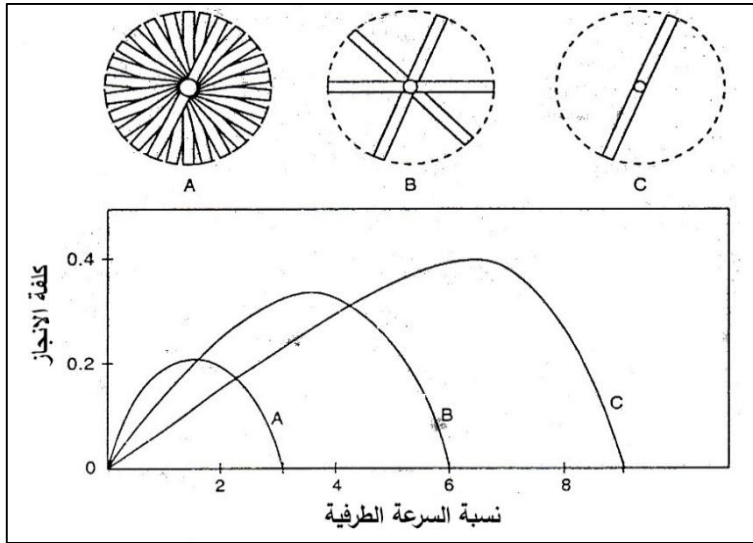
٥-٢-٥ : عزم الدوران (Rotation Torque)

عزم الدوران هو قوة دورانية تنتج من خلال الحركة الدورانية. وهو يعتمد على الصلابة ونسبة السرعة الطرفية للدوار. إن الدوارات ذات الصلابة العالية ذات نسب السرعة الطرفية المنخفضة (مثل دوارات مضخات الرياح المتعددة الريش) تولّد عزم دوران أكثر بكثير من الآلات ذات الصلابة المنخفضة والسرعة العالية (مثل توربينات الرياح)، كما موضح في الشكل (٥-٧). من الملاحظ المهمة التي يجب ملاحظتها أن الآلة ذات السرعة الأعلى تمتلك الحد الأقصى لمعامل الأداء ولكن عزم دوران منخفض البدء. على العكس من ذلك، يولّد الدوار ذو الصلابة العالية عزم دوران عالي البدء ولكنه يمتلك الحد الأقصى لمعامل الأداء. يعتمد اختيار الدوار على صفات الحمل. تتطلب مضخة الإزاحة الإيجابية، مثل مضخات المكبس المستخدمة في حفر الآبار، عزم دوران بدئي أعلى من عزم دوران التشغيل، وبالتالي يكون الدوار العالي الصلابة ضرورياً تقريباً ما لم يتم شمول طريقة ما لتفريغ الدوار لمساعدته على البدء. مع ذلك، تحتاج مولدات الكهرباء القليل من عزم الدوران لبدء تدويرها وهي بحاجة إلى أن تُدوّر بسرعة عالية، وبشكل عام يُستخدم الدوار ذو السرعة العالية، والصلابة المنخفضة، لهذا النوع من الحمل. تحتاج مضخات الإزاحة الموجبة التي تستخدم على نحوٍ لا يتغير مع مضخات الرياح، إلى عزم دوران مرتفع الى حد ما للبدء، ولكن سوف تستمر بعد ذلك للتشغيل مع عزم دوران منخفض. سوف يشتغل دوار مضخة الرياح دائماً عند السرعة التي عندها يتطابق عزم الدوران المتولد تماماً مع عزم الدوران المطلوب من المضخة. لهذا السبب تكون ميزات عزم الدوران مضخة الرياح مهمة. من أجل إنتاج عزم دوران مرتفع البدء تتم الحاجة إلى دوار عالي الصلابة. هذا هو السبب الذي يكمن وراء عدم تصميم مضخات الرياح عالية الصلابة ومتعددة الريش.

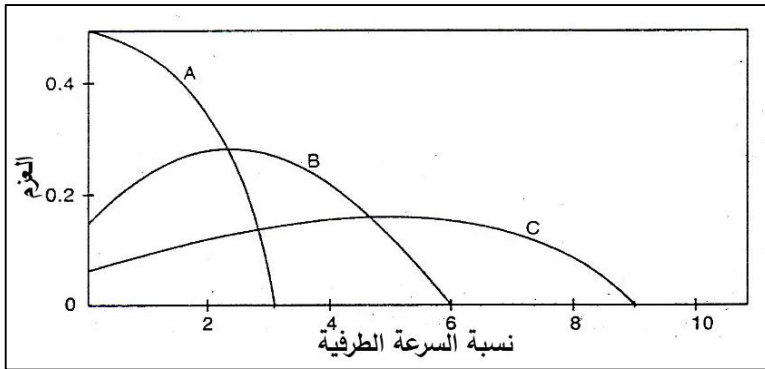
الفصل الخامس : طاقة الرياح

جدول رقم(٥-٢): يمثل تصنيف سرع الرياح.

سرعة الرياح م/ثا	0.0	0.3	1.6	3.4	5.5	8.0	10.8	13.9	17.2	20.8	24.5	28.5	< 32.6
الدرجة	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



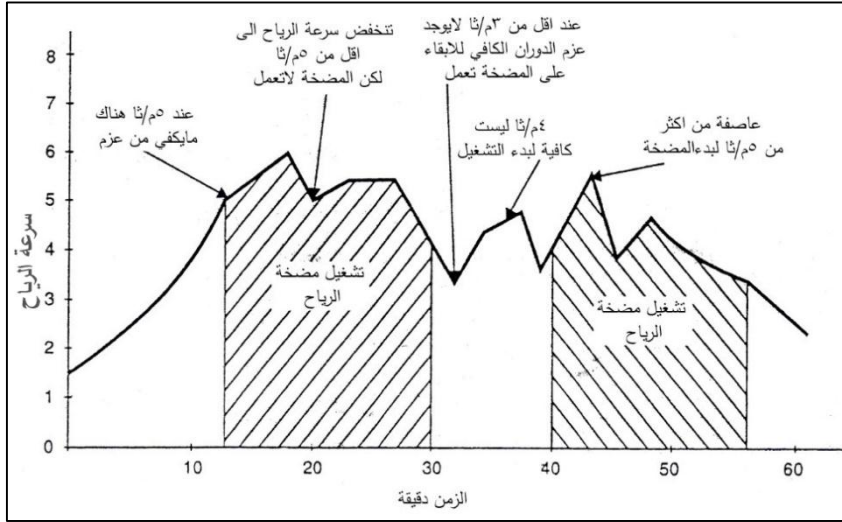
الشكل (٥-٦): يمثل مخطط كفاءة الاداء مقابل نسبة السرعة الطرفية للدورات (متفاوتة الصلابة).



الشكل (٥-٧): عزم الدوران مقابل منحنيات نسبة السرعة الطرفية للدورات متفاوتة الصلابة.

الفصل الخامس : طاقة الرياح

بالنسبة لمضخة الإزاحة الموجبة الترددية ثمة حاجة إلى نحو ثلاثة أضعاف عزم الدوران لبدئها بدلاً من استمرار تشغيلها. وهذا يعني حتى لو كانت مضخة الرياح ستشتغل عند سرعة رياح منخفضة، فإنها ستحتاج إلى سرعة رياح عالية لبدء عملها فعلاً. يوضح المخطط البياني رقم (٥-٨) التأثير على زمن تشغيل مضخة الرياح لعزم الدوران العالي البداء.



الشكل (٥-٨): يمثل تغير سرعة الرياح مع الزمن.

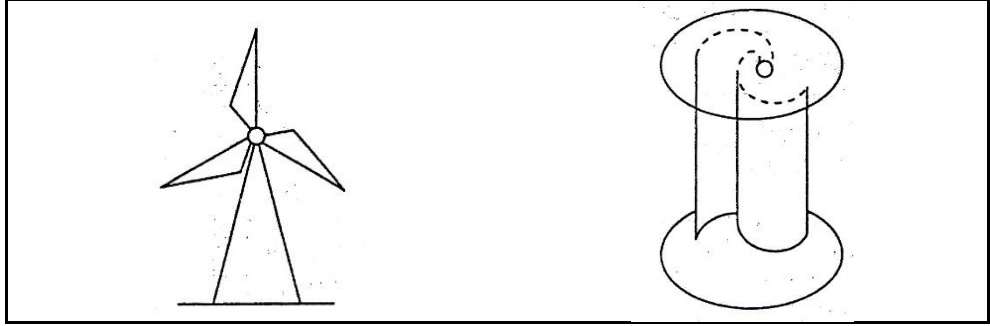
٥-٢-٦: تصاميم مختلفة للدورات (Various Designs of Rotors)

تُستخدم طواحين الهواء الأفقية المحور ثنائية أو ثلاثية الريش الموضحة في الشكل (٥-٩) لتوليد الكهرباء. فهي ليست مناسبة لضخ المياه بصورة مباشرة للأسباب التالية:

١. لا يمكن أن تنتج عزم دوران كافٍ لبدء عمل مضخة الكبس.
٢. إنها تدور بسرعة كبيرة جداً لتشغيل مضخة ترددية. تكون توريينات الرياح هذه أكثر صعوبة في التصنيع وذلك بسبب الدقة الهندسية المطلوبة. مع ذلك، يمكن استخدامها بشكل غير مباشر لضخ المياه من خلال توليد الكهرباء واستخدام هذا لتشغيل مضخات كهربائية. إن هذا الخيار مكلف لكنه قد يكون مناسباً لبعض المواقع أو عند الحاجة إلى كمية كبيرة من الطاقة.

الفصل الخامس : طاقة الرياح

يتم تدوير دوارات Savonins بقوة سحب الرياح غالباً، بدلاً من قوة الرفع. لذلك فهي غير كفوءة وتدور ببطء شديد كما موضح في الشكل (٥-٩ (ب)). تدور الـ Panamones كلبية بقوة سحب الرياح. فهي تعاني من نفس العيوب التي تعاني منها دوارات savonins كما موضح في الشكل (٥-٩ (ج)). تجتذب توربينات الدفق المعترض أو توربينات الرياح Darrieus بعض الاهتمام (الشكل ٥-٩ (د)). مع ذلك، لم تعد ملائمة لضخ المياه لأنها لا تستطيع البدء الذاتي بصورة طبيعية. حتى لو تم تعديلها لتمكينها من البدء الذاتي فإنها لا تستطيع توليد عزم دوران كافٍ لبدء المضخة. وهي صعبة الحماية من أضرار العواصف وحتى الآن لم يتم تصنيعها بتكلفة أقل أو بسعر أرخص من الدوارات الأفقية المحور والشكل ٥-٩ هـ ١، ٢، ٣، ٤، ٥ يمثل تصاميم مختلفة للتوربينات الرياح.

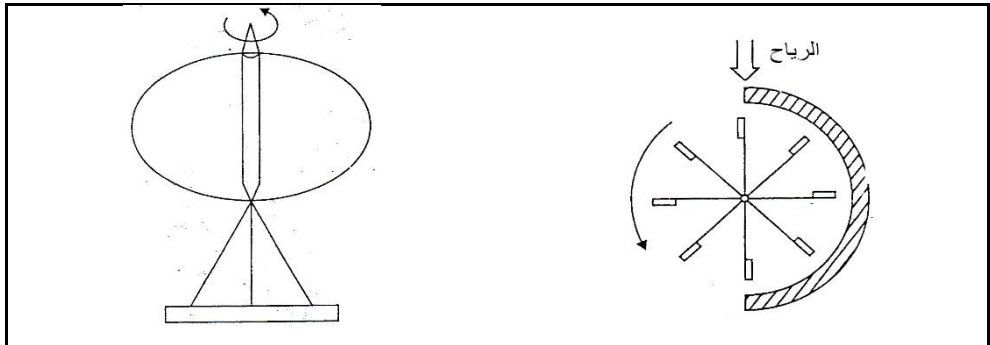


(الشكل ٥-٩ (أ)): طاحونة هواء افقية المحور ثلاثية

(الشكل ٥-٩ (ب)): رسم تخطيطي لدوار سافوني

الريش

savonius (منظر جانبي).



(الشكل ٥-٩ (د)): رسم تخطيطي لتوربينة رياح

Panamones (الشكل ٥-٩ (ج)): البانامون

Darrieus (منظر جانبي)

الفصل الخامس : طاقة الرياح



٢ هـ



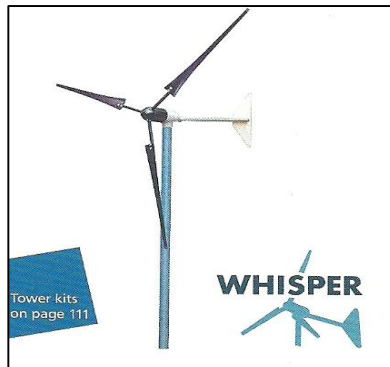
١ هـ



٤ هـ



٣ هـ



٥ هـ

شكل (٥-٩ هـ، ١ هـ، ٢ هـ، ٣ هـ، ٤ هـ، ٥ هـ): يمثل تصاميم مختلفة لتوربينات الرياح .

٣-٥: تقويم الموقع (Site Evaluation)

- تتطلب الحاجة إلى معلمات (سمات) (Parameters) لمنظومة الرياح. من الناحية المثالية ينبغي قياس المعلمات الآتية:
- متوسط سرعة الرياح السنوية.
 - متوسط سرعة الرياح شهرياً.
 - السرعة النهارية النموذجي لكل شهر.
 - الطول والتوزيع السنوي لفترات الهدوء.
 - تخمين الحد الأقصى لسرعة الرياح القوية.
 - اتجاه الرياح.

عملياً من غير ممكن الحصول على بيانات رقمية لكل هذه المعلمات. لاسيما ان تقديرات (د) و(هـ) قد يكون من الضروري إجراؤها بناءً على مناقشات مع السكان المحليين. وينبغي من الناحية المثالية أن تؤخذ قياسات المعلمات في الموقع المقترح، وعلى الارتفاع المقترح فوق سطح الأرض لمدة سنة على الأقل. عملياً، من النادر أن يكون هذا ممكناً وتستخدم بيانات من مواقع أخرى مجاورة، عندها يجب عمل السماحات للفروق أو الاختلافات بين موقع القياس والموقع المقترح. الفروق أو الاختلافات التي ينبغي أن تؤخذ بنظر الاعتبار هي:

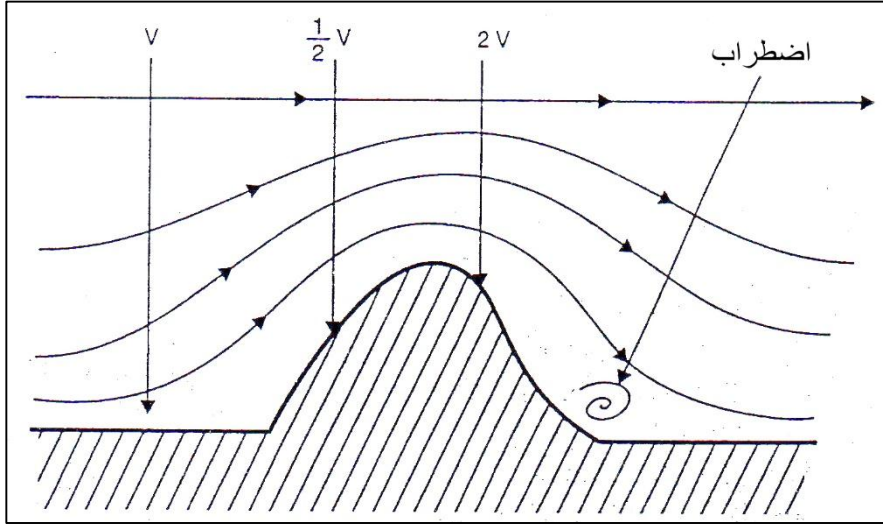
1. سطح الأرض: كلما زادت وعورة سطح الأرض كلما ازداد تداخلها مع الريح. تخلق الأرض الوعرة اضطراباً في طبقات الرياح التي فوقها. يعطي الجدول رقم(٣-٥) معاملات للتأثير في سرعة الرياح لوعورات مختلفة للأرض.

جدول (٣-٥): يمثل العلاقة بين نوع سطح الارض ومعاملات سرع الرياح.

معاملات سرعة الرياح عند ارتفاعها			نوع سطح الأرض
١٢ م	٩ م	٦ م	
١,٥٠	١,٤٥	١,٤٠	السطح الأملس، بحر، بحيرة، رمال
١,٠٥	٠,٩٨	٠,٩٠	أرض متوسطة الوعورة- شجيرات صغيرة.. الخ
٠,٦٦	٠,٦٠	٠,٥٠	أرض وعرة- ارض غابات، ومباني.. الخ

سرعة الرياح في المساحة المحددة = سرعة الرياح في المساحة المطلوبة × مُعامل
المساحة المطلوبة + المُعامل لمساحة معلومة (5-10)

٢. التلال والوديان والجبال: تواجه التلال المدورة، والقمم (crest) والجبال عموماً سرع رياح أعلى وأكثر تغيراً من الأرض المستوية. تتسارع الرياح فوق التلال. مع ذلك، على جانب اتجاه الرياح للتلال قد يكون هناك اضطراب (الشكل ٥-١٠). يعتمد المقدار الذي به تتسارع الرياح فوق التل أو الجبل بقوة على ارتفاع وشكل التل. ليس من الممكن اعطاء عوامل لكل أنواع التلال المختلفة لكن الشكل (٥-١٠) يعطي بعض القيم التقريبية للغاية التي يمكن استخدامها للحصول على تقدير تقريبي.



الشكل (٥-١٠): رسم تخطيطي يظهر عوامل تعجيل الرياح التقريبي فوق تلٍ ما.

٣. المناطق الساحلية: من المحتمل أن تحصل المناطق الساحلية (حول البحيرات الكبيرة وكذلك بالقرب من البحر) على رياح أقوى من المناطق الداخلية. لا تكون الزيادة في الرياح نتيجة لموقع ساحلي قابلة للقياس بسهولة. تكون بيانات سرعة الرياح متوفرة عادةً في الموانئ، والمرافئ. إن لنسائم البحر عادةً نمطاً نهائياً نظراً إلى اختلاف درجة الحرارة بين البحر والبر. وتهب الرياح عموماً من البر إلى البحر خلال النهار ومن البحر إلى البر في الليل.

الفصل الخامس : طاقة الرياح

٤ . الارتفاع: تواجه الأرض المرتفعة عادةً رياحاً أقوى من الأرض المنخفضة.

٥-٤ : قياس الرياح (Wind Measurement)

تتوافر مختلف الخيارات لأخذ قياسات الرياح اعتماداً على الوقت المتاح، والميزانية المتاحة، والدقة المطلوبة. عادةً لا تكون الحال على هذا الشكل ويتم الوصول الى نوع ما من الحلول الوسط. إن كانت منظومات طاقة الرياح قيد الاستخدام مسبقاً في المناطق القريبة، من المحتمل أن تكون تجربة المستخدمين الآخرين دليلاً أفضل وأرخص لتحجيم منظومات طاقة الرياح من أخذ قياسات الرياح. إن لم تكن هذه المنظومات قيد الاستخدام مسبقاً، فيجب إما أخذ قياسات الرياح أو استخدام تقدير أو تخمين قائم على مكتب الأرصاد الجوية أو بيانات الطيران المدني تؤخذ عن سرعة الرياح واتجاهها.

جدول رقم (٥-٣): يبين العلاقة بين درجة الرياح، نوع الرياح، سعة الرياح، وتأثير سرعة الرياح على الاجسام التي تعترض مسارها حسب مقياس بيوفورت للرياح.

مدى استجابة الاشياء للرياح	السرعة (بالعقدة)	السرعة (ميل في الساعة)	نوع الرياح	درجة الرياح
ارتفاع الدخان الى اعلى	١	اقل من ١	هواء ساكن Calm	صفر
يحرك الدخان افقياً	٣-١	٣-١	هواء خفيف Light air	١
يحرك اوراق الاشجار ودوارة الرياح	٦-٤	٧-٤	نسيم طفيف Light breeze	٢
يحرك رايات الاعلام	١٠-٧	١٢-٨	نسيم هادىء Gentle breeze	٣
يشير الاتربة وتنتاير اوراق الاشجار	١٦-١١	١٨-١٣	نسيم معتدل Moderate breeze	٤
يحرك اغصان الاشجار الكبيرة	٢١-١٧	٢٤-١٩	نسيم عليل Fresh breeze	٥

الفصل الخامس : طاقة الرياح

يحرك اغصان الاشجار الكبيرة والامواج	٢٧-٢٢	٣١-٢٥	نسيم قوي Strong breeze	٦
يصعب السير في الاتجاه المضاد للرياح	٣٣-٢٨	٣٨-٣٢	رياح عالية Moderate glae	٧
يكسر بعض اغصان الاشجار	٤٠-٣٤	٤٦-٣٩	هوجاء Fresh glae	٨
يكسر الساريت ويقع المداخن	٤٧-٤١	٥٤-٤٧	هوجاء شديدة Strong gale	٩
يقتلع الشجار ويسبب الدمار	٥٥-٤٨	٦٣-٥٥	هوجاء عاصف Whole gale	١٠
تدمير شديد وتطاير اسقف المنازل	٦٥-٥٦	٧٥-٦٤	عاصفة STORM	١١
تخريب عام شديد، قد تسقط الطائرات وتغرق السفن	أكثر من ٦٥	أكثر من ٧٥	اعصار (هريكين) Hurricane	١٢

١-٤-٥ : جودة بيانات الرياح (Quality of Wind Data)

حتى وقت قريب كانت هناك معايرة قليلة لجمع بيانات الرياح إلا في المطارات الكبرى حيث ينبغي جمع البيانات بأسلوب متفق عليه دولياً. وبذا يتم جمع بيانات معظم المطارات باستخدام مقاييس شدة الرياح (الانيمومترات) للتسجيل المستمر الواقعة على ارتفاع ١٠ م. وهذا ينطبق على المعيار العالمي لمحطات الأرصاد الجوية أيضاً. قد تكون مقاييس شدة الرياح (الانيمومترات) غير دقيقة، فضلاً عن سوء اختيار مواقعها. يكون السبب الرئيسي لانعدام الدقة هو الاحتكاك في المحامل التي تميل إلى جعلها تدور ببطء شديد. إذا وبناء على ذلك، إن تم تحجيم منظومة طاقة الرياح باستخدام بيانات سرعة الرياح ذات الدقة العالية، فمن المحتمل أن تكون منظومة طاقة الرياح كبيرة الحجم بدلاً من مصغرة الحجم. لذلك، من المهم أن نلاحظ أن هناك على نحو لا يتغير على الأقل رياح قد تم قياسها وقد يكون هناك في الكثير من الحالات أكثر بكثير

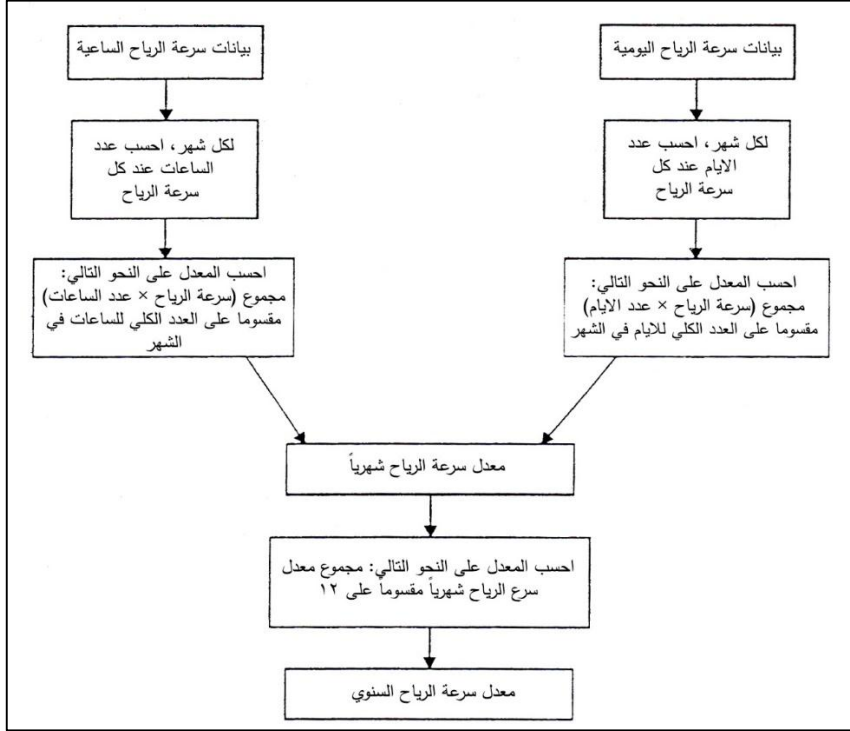
مما تم قياسه. إن علاقة القانون التكميبي بين قوة وسرعة الرياح تعني أن نسبة قليلة من انتقاص التقدير في متوسط سرعة الرياح يمكن أن يتحول نوعاً ما إلى انتقاص تقدير كبير لتوافر طاقة الرياح.

٥-٤-٢: خيارات القياس (Measurement Options)

١. الخيار الأول: استخدم بيانات رياح متاحة من محطة الأرصاد الجوية القريبة، ويتم ضبطها مع اختلافات في وعورة الأرض وارتفاعها. مع ذلك، في مناسبات عديدة، لن تكون هناك محطة طقس بالقرب الكافي للموقع المقترح حيث سيتم نصب المنظومة. كقاعدة عامة ينبغي أن تكون محطة الأرصاد الجوية ضمن (٢٠-٦٠) ميلاً من الموقع المقترح، وتكون الأقرب في الأرض الوعرة. في الأرياف النجدية أو التلية، ستكون محطة الأرصاد الجوية القريبة غير دقيقة أيضاً. في محطة الأرصاد الجوية المحلية، تُستخدم بيانات الرياح، حيث يُنصح بالتحقق من ارتفاع مقياس شدة الريح (الأنيمومتر) وحالته. لكي تكون مفيدة، يجب اختصار بيانات سرعة الرياح كمتوسط سرع الرياح الشهرية. عادةً ماتكون على هذا الشكل بالفعل، لكن إن لم تكن كذلك ينبغي معالجتها كما مبين في الشكل (٥-١١).

٢. الخيار الثاني: هو أخذ بيانات موقعية محدودة. عند مراعاة أخذ قياسات رياح موقعية، يجدر مقارنة تكلفة أخذ القياسات بتكلفة التحجيم المفرط للمنظومة. من المستحسن أخذ قياسات الرياح الموقعية بالساعة لثلاثة أشهر على الأقل. إن لم تكن القياسات بكل ساعة ممكنة، فينبغي جمع المعدلات اليومية. وينبغي بعد ذلك مقارنة بيانات الموقع مع بيانات محطة الأرصاد الجوية لنفس المدة باستخدام تحليل الانحدار على المعدلات اليومية. بمعرفة الاختلاف بين بيانات الموقع وبيانات محطة الأرصاد الجوية لمدة ثلاثة أشهر، يمكن تعديل بيانات محطة الأرصاد الجوية لأشهر أخرى لتوقع سرع الرياح في الموقع.

الفصل الخامس : طاقة الرياح



الشكل (١١-٥): مخطط سير العمليات يحدد الخطوات التي يجب اتخاذها عند معالجة بيانات الرياح.

٥-٥: القدرة الانتاجية لمولدات الرياح (Wind Generation Power Production)

قدرة مُخرج توربينة الرياح تعطى بالمعادلة الآتية:

$$P = cp(v, \omega, \beta) \frac{A\rho v^3}{2} \quad \dots (11-5)$$

حيث cp يعبر عن جزء القدرة المستخرجة من مجرى الرياح من خلال توربينة الرياح وهو دالة سرعة الرياح، والسرعة الزاوية للدوار ω وزاوية الخطران β وكذلك شكل الجنيح وعدد الريش. بما أن للجنيح قيم مثلى للرفع والسحب لزاوية هجوم γ أو على نحوٍ مكافئٍ لقيمة واحدة من سرعة الرياح النسبية، فإن cp لتوربينة رياح ذات ريش ثابتة وتعمل على سرعة زاوية ثابتة سيحصل على قيمة الحد الأقصى التي تنخفض عند سرع رياح أعلى أو أدنى. بالنسبة للجنيحات القائمة أو الموجودة، يحدث الحد الأقصى للقيمة عند نسبة سرعة الريشة الى الطرف إلى سرعة الرياح مابين

الفصل الخامس : طاقة الرياح

أربعة وثمانية. الخيار الثالث هو أخذ بيانات موقعية مكثفة. ينبغي أن تؤخذ القياسات على مدى عام على الأقل. بالتباحث مع السكان المحليين، تحقق من عدم وجود موسم عاصف أو هادئ بصورة استثنائية خلال سنة القياسات. هناك مفاضلة بين عدة عوامل في اختيار عدد الريش: تكلفة الريش والنقل، والتقاط الطاقة وسرعة الدوران. ستحصل آلة أحادية الريشة على التقاط طاقة أدنى من آلة متعددة الريش لكنها ستدور عند سرعة زاوية عالية. لأن الدوار يجب أن يحوّل المولد عند ١٥٠٠ إلى ١٨٠٠ دورة في الدقيقة (rpm) لإنتاج القدرة الكهربائية عند ٥٠ إلى ٦٠ هرتز، فإن السرعة الزاوية الأعلى للدوار تسمح باستخدام نقل ذي نسبة سرعة منخفضة تكون أخف وزناً وأقل تكلفة ولها خسائر أدنى من النقل المطلوب لدوار ذي سرعة زاوية أدنى. إن لآلة ثلاثية الريش التقاط طاقة أعلى وثبات أو استقرار أفضل بالنسبة للتوجه في مجرى الرياح ولكنها ستكون ذات كلفة ريش ونقل أعلى. تبدأ القدرة بالتولّد عند ٣ إلى ٤ أمتار في الثانية (سرعة بدء التشغيل) وتتولد القدرة المقدرّة P_r عند ١٠ أمتار في الثانية. حين تتجاوز سُرع الرياح الـ ٢٥ متراً في الثانية (سرعة إيقاف الآلة)، يتم إيقاف التوربينة لحمايتها من التلف. يزداد P_{out} بعامل (٧) تقريباً بينما تزداد سرعة الرياح بعامل (٢)، مما يؤشر أن الآلة كفوءة جداً. يبلغ معامل الحد الأقصى لأداء (٤٦، ٠) (الذي يتم بلوغه عند سرعة رياح ٨ أمتار في الثانية تقريباً) حوالي (٧٨) بالمائة من معامل الحد الأقصى النظري (٠، ٥٩٣). بالتالي، تكون ريش التوربينات بالفعل كفوءة نسبياً لمُدَى ضيق من ظروف التشغيل، على الرغم من وجود احتمالات تحسن مهم حدّد معدل مُخرج القدرة P_{avg} ، لتوربينة رياح لأية مدة زمنية ذات اهتمام بمخرج القدرة عند سرعة رياح مفترضة مضروبة باحتمال حدوث تلك السرعة التي جمعت إجمالي سرعة الرياح المحتملة. في صيغة المعادلة، يمكن كتابته على النحو الآتي:

إن كُتب P_{out} على النحو الآتي

$$P_{avg} = \int_0^v P_{out}(v) \times f(v) \, dv \quad \dots (12-5)$$

$$P_{out} = P_r \times g(v) \quad \dots (13-5)$$

$$P_{avg} = P_r \times \int_0^v g(v) \times f(v) \, dv \quad \dots (14-5)$$

إذاً ان الكمية المتكاملة هي نسبة المعدل السنوي لمخرج القدرة إلى القدرة المقدرّة للتوربينة. يُعرف هذا بعامل القدرة وهو معلم مهم يُستخدم لحساب تكلفة الطاقة من توربينات الرياح. بما ان سرعة الرياح متغيرة خلال ساعات النهار وخلال ايام الشهر وخلال اشهر السنة،

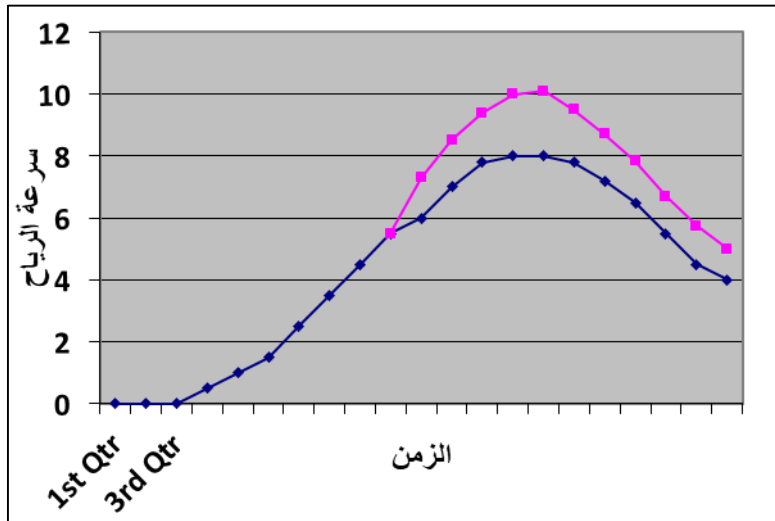
الفصل الخامس : طاقة الرياح

لذلك ستكون القدرة الكهربائية المتولدة من الرياح متغيرة ايضا، كما ان هناك سرع قليلة لاتساعد على توليد الكهرباء. حسب المصادر العلمية المتوفرة ومن خلال مواصفات مولدات الرياح المعروضة حاليا وجد ان سرعة الرياح المناسبة لتوليد الطاقة الكهربائية (أي لتدوير المولدات بشكل مستقر) يجب ان تكون اكثر من ٥م/ثا ولغاية ١٤ م/ثا. اما دون ٥م/ثا فلا تشكل نسبة مقبولة من القدرة مثال على ذلك المواصفات المبينة في الشكلين (٥-١٢) و (٥-١٣) والجدولين (٥-٤) و (٥-٥)

جدول رقم (٥-٤): يبين سرعة الرياح الى نوع الرياح.

Impeller Diameter		6.8m
Wind Leaf Wind touch area		36 .3m
Output power rate	معدل الطاقة الخارجة	10, 000W
Fixed wind speed	سرعة الرياح الثابتة	13M s
Start wind speed	سرعة انطلاق الرياح	3. 4m s
Cuts in wind speed	القطع في سرعة الريح	3. 1m s
Drifts off course wind speed		15.6m s
Cuts out wind speed		Jnil
Maximum design wind speed	اعلى سرعة تصميمية للرياح	50m s
Impeller diameter		2.44m
Wind leaf wind touch area		4.7m
Output power rate	معدل الطاقة الخارجة	1,000w
Peak power rate		1,060w
Fixed wind speed	ثبوت سرعة الرياح	11m s
Start wind speed		3m s
Cuts in wind speed		2.5m s
Drifts off course wind speed		13m s
Cuts out wind speed		nil
Maximum design wind speed	اعلى سرعة الرياح التصميمية	50m s
Gross weight	الوزن الكلي	32kg

الفصل الخامس : طاقة الرياح



شكل (٥-١٣)

يجري حساب القدرة المتولدة من مولدات الرياح وفق معدل سرعة الرياح الشهري ,اي يتم حساب القدرة لكل شهر على حده ومن ثم تجمع الاستطاعات للشهر التي تتجاوز فيها سرعة الرياح ٥م/ثا. من الطبيعي ستكون هناك اشهر في السنة لا تتوفر فيها سرعة الرياح المطلوبة لتوليد الطاقة الكهربائية ان سرعة الرياح من ١٢-١٤ م/ثا يمكن ان تولد بحدود ٨٠% من القدرة الكلية للمولدة، ويبين الجدول رقم (٥-٥) النسب المئوية التقريبية من القدرة الكلية لمولدات الرياح التي تولدها سرع الرياح:-

جدول (٥-٥ج): يبين العلاقة بين سرعة الرياح و النسبة المئوية لقدرة التوليد الطاقة.

سرعة الرياح م/ثا	النسبة المئوية من القدرة الكلية لمولدات الرياح %
5	10%
6	17%
7	25%
8	37%
9	50%
10	62%
11	74%
12	80%

الفصل الخامس : طاقة الرياح

%80	13
%80	13
%80	14
%70	15

اذا كانت الكثافة أكبر من ٢٠٠ واط/م لكي تكون قادرة على تدوير مراوح المولدات الكبيرة. وتتغير هذه الكثافة، اي تبدأ بالنقصان كلما ارتفعنا عن مستوى سطح البحر، لذلك يجب ان نأخذ بنظر الاعتبار في الموقع المراد فيه نصب مولدات الرياح ان المعادلة الرياضية العامة لكثافة القدرة يمكن ان يعبر عنها كما يلي :-

$$E = \frac{1}{2} pU^3 \quad \dots (15-5)$$

حيث :-

E - متوسط كثافة قدرة الرياح المتاحة والتي تساوي معدل تدفق الطاقة الحركية في واحدة السطح العمودي على جريان الرياح.

P - كثافة الهواء.

U³ - قيمة مكعب متوسط سرعة الرياح.

٥-١-٥ : حساب الطاقة الكهربائية المنتجة من مولدات الرياح

(Calculation of Wind Generation of Electrical Energy Production)

قبل بداية حساب الطاقة المنتجة يجب ان تتوفر احصائيات طويلة الامد (لعشر سنوات او اكثر) حول طبيعة الرياح وسرعتها واتجاهها وذلك عن طريق المراقبة المستمرة من قبل المراصد الجوية المتخصصة في عموم القطر. توضع هذه الاحصائيات على شكل جداول بمعدلات سرعة الرياح خلال اشهر السنة لكل منطقة او مدينة. لغرض الحساب تدرس كل منطقة او محافظة او مدينة على حده. يجب ان تهمل الاشهر التي يقل معدل سرعة الرياح فيها عن (٥)م/ثا. اذا كانت اشهر السنة التي تتجاوز سرعة الرياح فيها ٥م/ثا تمثل أكثر من ٢٥% ستكون هذه المنطقة ملائمة لنصب مولدات الرياح فيها. تحسب القدرة المنتجة خلال كل شهر على حده وبالتالي تجمع لكافة اشهر السنة. بهذه الحالة نكون قد قدرنا كمية الكهرباء المنتجة (القدرة) السنوية. في حالة عدم توفر مثل هذه الاحصائيات سيتعذر اعداد الدراسة الاولى ودراسة الجدوى الاقتصادية لمثل هذه

المنظومات، وسيطلب انجاز بحث تطبيقي لمراقبة الرياح في البلاد لفترات طويلة قبل الدخول في بناء مثل هذه المنظومات.

٦-٥ : توربينات الرياح (Wind Turbines)

هناك نوعان مختلفان جذرياً من توربينات الرياح :-

الأولى هي توربينة الرياح ذات المحور الأفقي **Horizontal axis Wind Turbine** (HAWT)، التي تمتلك محور دوران مواز لمجرى الرياح. الثانية هي توربينة الرياح ذات المحور العمودي **Vertical Axis Wind Turbine** (VAWT)، التي تمتلك محور دوران عمودي على مجرى الرياح. الشكل رقم (٥-١٣) يمثل شكلان أساسيان لتوربينة الرياح. ان توربينات الرياح الأفقية المحور (HAWT) تعمل بصورة معاكسة لسرعة واتجاه الرياح. ان معظم الآلات الحديثة تعمل بعكس اتجاه الريح لتجنب تظليل الريشة بالبرج، الذي قد يولد مستويات ضجيج مكروهة ويزيد الضغط على الريش عملياً، يكون ارتفاع القبة مساوٍ تقريباً لقطر الدوار. لـ **VAWT** علبة تروس ومولد كهربائي على مستوى سطح الأرض مما ييسر الصيانة الروتينية، لكنها لايمكن ان تحصل بسهولة على الاستفادة من سرعة رياح أكبر واضطراب أدنى عند ارتفاع أعلى. قد تثبت الـ **VAWT** فعالية من حيث التكلفة في بعض التطبيقات، ولكنها محدودة لأنها، على العكس من الـ **HAWT**، لايمكنها الاستفادة من سرعة رياح أعلى واضطراب أدنى عند ارتفاعات أعلى. إن الغالبية العظمى لتوربينات الرياح المستخدمة اليوم هي آلات أفقية.

١-٦-٥ : المنظومات الفرعية لتوربينات الرياح (Wind Turbinesub Systems)

تتكون الـ **HAWT** الحديثة من ست منظومات فرعية أساسية هي:

- أ. الدوار، الذي يتألف من ريشة واحدة، ريشتين أو ثلاثة ريش معلقة على محور وقد تشمل منظومات الكبح الديناميكية الهوائية وضوابط الخطران.
- ب. مقطورة التدوير، التي تشمل علبة التروس أو النقل، المنظومات الهيدروليكية، والمهاوي، ومنظومة الكبح، والكبنة، التي تغلف التوربينة الحقيقية.
- ج. منظومة الانعراج، الذي يضع الدوار عمودياً على مجرى الرياح.

الفصل الخامس : طاقة الرياح

د. المنظومات الكهربائية والإلكترونية، بما في ذلك المولدات، والمرحلات، القواطع الكهربائية، والكيبالات المتدلية، والأسلاك، والضوابط، والالكترونيات وأجهزة الاستشعار (المجسات).

هـ. البرج.

و. موازنة منظومات المحطات بما فيها الطرق، المعدات الساندة للأرض والمعدات الربط المشترك.

٥-٦-٢: الدوار (Rotor)

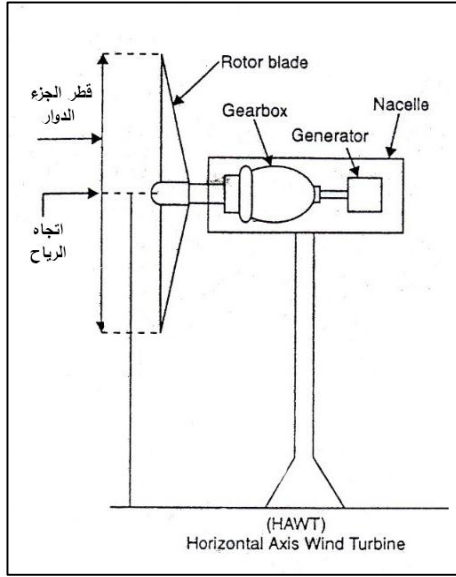
ان الدوار يحوّل الطاقة الحركية الافقية للرياح إلى طاقة حركية للدوران، هو جزء اساسي وحاسم لتوربينة الرياح. ويُعَرَضُ إلى قوة كاملة من العناصر ومدى كامل من التباين في سرعة الرياح، الاتجاه، الاضطراب والقص (التغير في سرعة الرياح مع الارتفاع). قد يتميز الدوار بأنه ساكن ، ذو زاوية ميل (خطران) ثابت (مُتَحَكِّمُ الإيقاف) أو متغير، للحدّ من مخرج التوربينات الأقصى ذي الخطران الثابت أو المتغير. كما يُستَخدمُ الدوار أيضاً في التحكم في كمية الطاقة المستخرجة من مجرى الرياح. تستخدم الدورات ذات ريش متغيرة زوايا الميلان المتغيرة او الريش المتحركة الايقاف مع زاوية الميلان المتغيرة. أو الريش المتحركة الإيقاف. مع الخطران المتغير، يُبدَلُ تدوير الريشة حول محور بموازاة طولها زاوية الخطران وبالتالي قوتي الرفع والسحب على الريش. إن الخطران المتغير لا يحدّ فقط من الحد الأقصى لالتقاط الطاقة بل يقلّل أيضاً من سرعة بدء التشغيل ويوفر الكبح الدينامي الهوائي للتوربينة

٥-٦-٣ : مقطورات التدوير (Drive Trains)

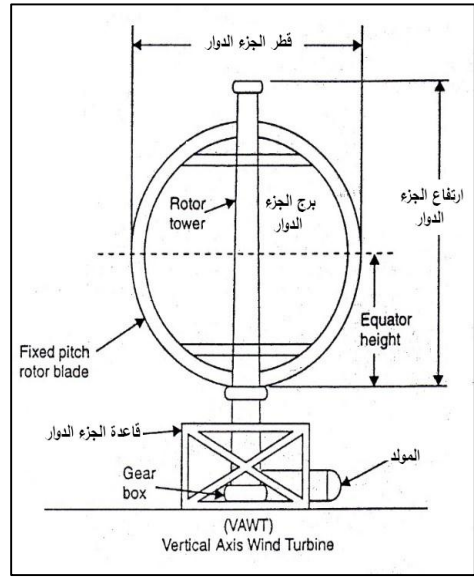
المكونات الرئيسية لمقطورة التدوير هي مخمدات السرعة المنخفضة والعالية، ومنظومة الكبح الميكانيكية، والمحامل، والمزدوجات، وعلبة التروس أو النقل، والكينة (Nacelle) إن تروس مقطورة التدوير تزيد من السرعة الزاوية للدوار، التي تبلغ عادة ٥-٢ هرتز (٣٠ إلى ١٢٠ دورة في الدقيقة (rpm))، إلى سرعة دوران مهاوي المخرجات بين ٢٠ الى ٣٠ هيرتز (٢٠٠، ١ إلى ١,٨٠٠ دورة في الدقيقة)، وهي مطلوبة في معظم المولدات لإنتاج القدرة عند ٥٠ الى ٦٠ هرتز.

٥-٦-٤ : منظومات التحكم بالانعراج (Yaw- Control Systems)

تنقسم التوربينات الريحية الأفقية المحور إلى فئتين: آلات عكس اتجاه الرياح (يواجه مجرى الرياح الدوار أولاً) أو آلات باتجاه الرياح (يواجه مجرى الرياح البرج أولاً). تُستخدم منظومات الانعراج لتوجيهه مستوي الدوار بصورة عمودية على مجرى الرياح.



ب- توربينة رياح أفقي المحور



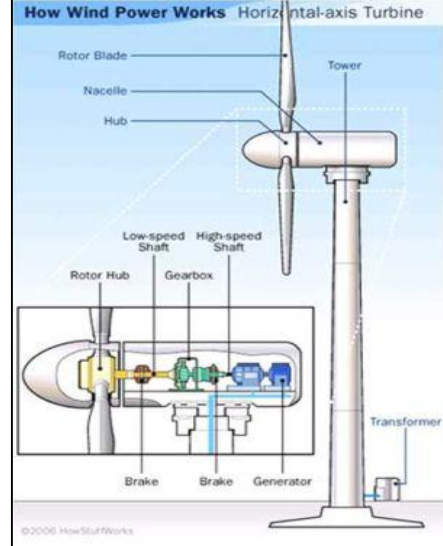
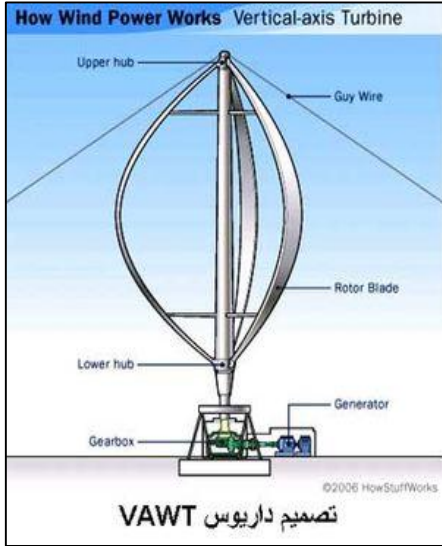
أ- توربينة رياح عمودية المحور

الشكل (٥-١٣): يمثل تصميم داربوس لتوربين الرياح.

٥-٦-٥ : المنظومات الكهربائية (Electrical Systems)

تمتلك كل توربينات الرياح الحديثة تقريباً مولدات حث، التي تتكون من ملفات ثابتة او ساكنة (Stator Or Stionary Coils) ودوار المولّد. تتغير القدرة الناتجة لهذا النوع من المولد بتغير السرعة مع الاختلاف (أو الفرق) بين التردد الخطي والسرعة الزاوية لدوار المولّد. ويتم بلوغ الحد الأقصى للقدرة الناتجة عندما يكون الفرق بنسبة مئوية قليلة فوق التردد الخطي؛ وبالتالي، يتم ضبط سرعة الزاوية لدوار التوربينة الريحية على التردد الخطي.

الفصل الخامس : طاقة الرياح



شكل (٥-١٤): يمثل محطة طاقة هوائية في كاليفورنيا (توربين افقي المحور).

عندما تتحدّث عن توربينات الرياح الحديثة سترى تصميمين أساسيين: المحور الأفقي (HAWT) والمحور العمودي (VAWT)، توربينات الرياح ذات المحور العمودي (VAWTs) نادرة جداً وإن الوحيد حالياً في الإنتاج التجاري لهذه التوربينات هو (داربوس) الذي أنتج نوع توربينات مثل مخفقة البيض.

إن العمود في VAWT مركب على محور عمودي متعامد على الأرض وهو يصطف دائماً مع الرياح، على خلاف نظرائه ذوي المحور الأفقي لذلك لن يكون من الضروري تعديله عندما يتغير اتجاه الرياح لكن ال VAWT لا يستطيع البدء بالتحرك لوحده فهو يحتاج لدفع من نظامه الكهربائي للبدء ولديه أسلاك مشدودة للدعم بدلاً من البرج ولذلك فإن ارتفاع الدوّار منخفض أكثر وإن الارتفاع المنخفض يعني رياح أبطئ لذا فإن ال VAWTs عموماً أقل فعالية من ال HAWTs. قد تستعمل (VAWT) للتوربينات ذات النطاق الضيق ولضخّ الماء في المناطق الريفية البعيدة ولكن تستخدم توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWTs) بنطاق أوسع بكثير. إن عمود التوربينات ذات المحور الأفقي (HAWT) ومتوازي مع الأرض وهو يحتاج لآلة تعديل الانحراف من أجل أن يثبت نفسه ضد الرياح ويشمل نظام الانحراف هذا محرّكات كهربائية وصناديق التروس التي تقوم على تحريك كامل الدوّار إلى اليسار أو اليمين بمقادير صغيرة ويقوم جهاز سيطرة التوربين الإلكتروني بقراءة موقع أداة دوّارة الرياح (إما ميكانيكياً أو إلكترونياً) وتعديل موقع الدوّار لأسر أكبر كمية متوفرة من طاقة الرياح وتستخدم التوربينات ذات المحور الأفقي برج لرفع المكونات الأساسية للتوربين إلى أقصى ارتفاع من أجل سرعة الرياح وهي تأخذ مساحة صغيرة من الأرض في حين يبلغ طولها تقريباً ٢٦٠ قدم (٨٠ متر) في الهواء.

٧-٥: استغلال طاقة الرياح (Wind Energy Utilization)

إنّ طواحين الهواء الصغيرة ذات المحرك الميكانيكي المباشر الملائمة للمضخات المستخدمة حالياً بنطاق واسع في أجزاء كثيرة من العالم، ولها إمكانية كبيرة لضخ المياه لأغراض الري واحتياجات الشرب ... الخ في الريف، وفي مناطق تملك منظومات رياح واطئة أو معتدلة، لاسيما في البلدان النامية. لقد تم تطوير بعض تصاميم طواحين الهواء المتعددة الريش المعدنية الجديدة؛ مثل طواحين الهواء متعددة الريش التقليدية، فهي تمتلك عزم دوران بدئي جيد، لكنها أخف وزناً، وأبسط تصنيعاً وذات كفاءات أفضل قليلاً. كما تم تطوير أنواع محسّنة من طواحين الهواء الضاخّة لمياه البحار في عدة بلدان من العالم. فمثلاً في الهند، تم نصب أكثر من ٢٠٠٠ مضخة رياح. ويوفر نصبها معلومات مفيدة عن التحسينات التكنولوجية اللازمة، و التشجيع الكافي للتغذية العكسية أو التوسع في برامج الحصول على افضل نتائج يمكن استخدامها في مجالات طاقة الرياح. إن طاقة الرياح هي شكل عالي الجودة من الطاقة الميكانيكية التي يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية

الفصل الخامس : طاقة الرياح

مع خسائر أقل للطاقة. بما أن دوار طاحونة الهواء تتحرك بصورة دورية (حوالي دورة واحدة لكل ثانية)، يمكن الحصول على تيار متناوب، إما باستخدام علبة التروس وتثبيت سرعة الدوران، أو بالسماح بتغيرات السرعة، وتحويل القدرة الكهربائية المتولدة الى التردد المرغوب، الكترونياً. تمتد التطبيقات من نطاق صغير للاستخدام في المجتمعات الريفية والنائية المرتبطة بمصانع القدرة الأخرى إلى نطاق واسع لتوليد الكهرباء التي تُغذى إلى شبكات الطاقة الكهربائية. بالنسبة للاستخدام القائم بذاته، يكون إسناد الديزل وخزن طاقة البطارية ضروريين وذلك لضمان الإمداد خلال فترات الرياح القليلة. يمكن استخدام الرياح أيضاً لشحن البطاريات عن طريق تدوير مولدات D.C بدون فرشاة، لتجهيز قدرة كهربائية للمجتمعات المنعزلة، و محطات الأرصاد الجوية والملاحة ووسائل الاتصال. في ولاية كاليفورنيا في الولايات المتحدة، حدث تطور مهم حيث تم نشر مايقرب من ١٧٠٠٠ مولدة كهربائية للرياح (WEGs) تولد أكثر من ١٤٠٠ ميكاواط من القدرة لاستخدامات كهربائية. لقد أصبح هذا ممكناً من خلال مفهوم "مزرعة الرياح"، أو "منتزه الرياح"، الذي يشير إلى نشر عدد من ال WEGs في مجموعة لتوليد وتجهيز الكهرباء على شكل مرتبط بشبكة مشتركة. بحلول نهاية عام ١٩٨٧، تم نصب مايقرب من ١٧٠٠٠ WEGs في ولاية كاليفورنيا بسعة مشتركة تبلغ أكثر من ١٤٠٠ ميكاواط. لقد تم البدء أيضاً ببرنامج لتوليد قدرة الرياح المرتبطة بالشبكة في بضعة بلدان أوروبية، مثل الدنمارك، هولندا، المملكة المتحدة.. الخ.

٥-٧-١: مزارع طاقة الرياح لإنتاج الطاقة النظيفة

(Farms of Wind Energy for Production of Clean Energy)



شكل رقم (٥-١٥): مزرعة رياح لتوليد الطاقة الكهربائية.

مزرعة الرياح (Wind Farm)

هي مجموعة من التوربينات الهوائية تستخدم لانتاج الطاقة الكهربائية. كما في شكل رقم (٥-١٥) تتكون مزرعة الرياح الكبيرة قد تتكون من عدة مئات من التوربينات الهوائية المفردة تغطي مساحة مئات الاميال المربعة يمكن ان تستخدم الاراضي المتواجدة بين التوربينات للزراعة او الاغراض الاخرى. ويمكن ان تتواجد مزرعة الرياح في السواحل البحرية. تشتهر الدول الاتية بمزارع الرياح العاملة على اليابسة والسواحل:-

اولاً: الولايات المتحدة:-

أ. في عام ٢٠١٠ كانت مزرعة روسكوي الهوائية هي اكبر مزرعة رياح ارضية في العالم وتنتج ٧٨١,٥ ميغاواط من الطاقة الكهربائية.

ب. مزرعة هورس هولو ويند اينرجي سينتر التي تنتج ٧٣٥,٥ ميغاواط. ومزرعة بيغلو كانيون ويند فارم تنتج ٤٥٠ ميغاواط ومزرعة بوغولو غاب وتنتج ٥٢٣,٣ ميغاواط ومزرعة كابريكون ريدج وتنتج ٦٦٢,٥ ميغاواط ومزرعة فلور ريدج وتنتج ٥٩٩.٨ ميغاواط ومزرعة هورس هولو وتنتج ٧٣٥ ميغاواط ومزرعة بانثر غريوتنتج ٤٥٨ ميغاواط ومزرعة روسكووتنتج ٧٨١ ميغاواط.

وهذه المحطات المشيدة على الارض اغلبها يقع في مناطق تلال او اراض جبلية تبعد قرابة ثلاثة كيلومترات عن الخطوط الساحلية وذلك لاستخدام التعجيل او التسارع التضاريسي حيث ان سرعة الرياح تكون كبيرة عند تخوم المناطق الجبلية. وسرعة الرياح الاضافية التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة يمكن ان تزيد من الطاقة المنتجة حيث تمر رياح اكثر من خلال ريش التوربينات. وكل موقع لتوربينات منفردة يمتلك اهمية حيث ان الاختلاف بمسافة ٣٠ متراً فقط يمكن ان يضاعف الطاقة المنتجة للتوربين المعني ويشار الى النصب المدروس للمولدات بتقنية ميكرو سيتينغ.

ثانياً: المملكة المتحدة:-

وتعتبر محطة ثاينيت اوفشور ويند بروجيكت في المملكة المتحدة من اكبر مزارع الرياح الواقعة في السواحل المائية في العالم وتنتج ٣٠٠ ميغاواط.

تعتبر الدنمارك أكثر البلاد استغلال الطاقة الرياح عام ٢٠٠٩، فحاليا تنتج نحو ٢٠% من الطاقة بواسطة ابراج الرياح ولها مساهمة وخبرة عظيمة في هذا المجال. واستطاعت الدنمارك تحسين انتاجها بحيث انتاجية البرج الواحد ٣ ميكاواط ويبلغ ارتفاع البرج نحو ١٤ طابق وتأتي بعد الدنمارك من ناحية نسبة انتاج الطاقة من الريح اسبانيا والبرتغال حيث تنتج كل منهما نحو ١٠% من الطاقة وتقوم المانيا ببرنامج طموح بانشاء من ٢٠٠٠ الى ٢٥٠٠ ميكاواط جديدة كل عام. ومزرعة هورنس ريف ٢ التي تنتج ٢٠٩ ميغاواط.

وتتطلب مولدات الكهرباء الهوائية الاقتصادية بشكل عام سرعة رياح تصل الى ١٠ اميال في الساعة اي ما يقارب ١٦ كيلومتر بالساعة او اكثر. والموقع المثالي هو الموقع القريب من الاماكن التي تشهد تدفقا هوائيا غير متقطع على مدار العام مع اقل قدر من الاضطرابات الهوائية الفجائية والعامل المهم الاخر في موقع التوربينات هو قربها من اماكن الطلب المحلية على الكهرباء وتوفر القدرة على النقل عبر الخطوط الكهربائية. ويجري في العادة مسح المواقع المختارة على اساس الخرائط الهوائية وتقاس بأدوات قياس سرعة الهواء. فمعطيات الرياح ليست في العادة كافية لتحديد الموقع الصحيح لمشروع مزرعة رياح كبيرة. فجمع المعطيات الخاصة بالموقع والمتعلقة بسرعة الرياح واتجاهها ضرورية لتحديد الموقع المطلوب. فالرياح في المنطقة تجري مراقبتها لمدة عام او اكثر ويجري رسم خرائط رياح مفصلة قبل نصب مولدات الكهرباء.الرياح تهب بسرعة في الارتفاعات العالية بسبب تقلص تأثير الجاذبية. فزيادة السرعة والارتفاع هو أكثر دراماتيكية قرب سطح الارض ويتأثر بالتضاريس وصلابة السطح ومعرفلات الرياح الصادة مثل الاشجار والبنيات. والمعروف ان زيادة سرعة الرياح مع زيادة الارتفاع تخضع لقانون ويند بروفايل باور الذي يقول ان سرعة الرياح مع زيادة الارتفاع. فمضاعفة ارتفاع التوربين يزيد من سرعة الرياح بنسبة ١٠% والقوة المتولدة منها بنسبة ٣٤%. ويربط كل توربين منفرد مع منظومة جمع للطاقة الكهربائية متوسط فولتيتها ٣٤,٥ كيلوفولت. وفي المحطة الفرعية تتم زيادة متوسط الفولتية الكهربائية المستمرة من خلال محولات من اجل ربطها مع منظومة النقل الكهربائية العالية الفولتية. وان بناء مزرعة الرياح على اليابسة يتطلب نصب منظومة الجمع والمحطات الفرعية فضلا عن شق الطرق الى كل توربين. ونصبت اول مزرعة رياح ارضية تتألف من ٢٠ توربين هوائي تنتج كل منها ٣٠ كيلواط على

الفصل الخامس : طاقة الرياح

كتنف جبل كروتشيد في جنوب مدينة نيو هامبشاير في كانون الاول ١٩٨٠. مشاريع ساحلية من هذا النمط من المتوقع ان. تنتج اكثر من ميغاواط حتى العام ٢٠٣٠. وكانت محطة ثينت اوفشور ويند بروجيكت في المملكة المتحدة والمنتجة ٣٠٠ ميغاواط، اكبر محطة ساحلية في العالم تتبعها محطة الدنمارك.

محطة هورنس ريف بانناج يصل الى ٢٠٩ ميغاواط. وتمتلك المزارع الساحلية قبولا اكبر من المزارع الارضية حيث ان حجمها الكبير والضوضاء التي تخلفها تقلص بفضل بعدها عن المناطق المأهولة. ولأن الماء يمتلك صلابة سطحية اقل من اليابسة وبالاخص المناطق المائية ذات العمق الكبير، فان معدل سرعة الرياح هو اكبر بصورة ملحوظة في المياه المفتوحة عنه في المناطق الارضية وبذلك فان عوامل القدرة هي اكبر ايضا من المحطات المنصوبة على الارض. وتسمى محافظة اونتياريو في كندا لبناء مزارع في عدة مناطق محتملة في منطقة البحيرات الكبرى من ضمنها مشروع تريليوم باور ويند ١ على مبعده ٢٠ كيلومتراً من الساحل وتنتج ٤٠٠ ميغاواط. ومن المشاريع الكندية الاخرى المشروع الذي يجري العمل عليه في الساحل الغربي للمحيط الهادي. ولا تتواجد في الولايات المتحدة اية مزارع رياح ساحلية، لكن هنالك مشاريع من هذا النوع يجري العمل عليها في المناطق التي تتمتع بسرعات رياح عالية في الساحل الشرقي لمنطقة البحيرات الكبرى وساحل المحيط الهادي.

رابعاً: استراليا:-

وتمتلك استراليا بدورها مزارع رياح اهمها مزرعة كايبتال التي تنتج ١٤٠ ميغاواط ومزرعة هاليت غروب وتنتج ٢٩٨ ميغاواط ومزرعة ليك بوني غروب وتنتج ٢٧٨ ميغاواط، فيما تعج الاراضي الكندية بالمزارع المشابهة اهمها محطة انسي اي فاليو وتنتج ١٠٠ ميغاواط ومحطة بير مونتين وتنتج ١٢٠ ميغاواط ومحطة جاردين دي ايلو وتنتج ١٢٧ ميغاواط.

خامساً: الصين:-

وتتمتع الصين بسجل مهم في هذا المضمار حيث وصل معدل انتاج الطاقة الكهربائية في هذا البلد عن طريق طاقة الرياح حتى العام ٢٠٠٩ الى ٢٥,١ ميغاواط حيث تتعامل الصين مع هذه الطاقة على انها احد مقومات النمو الاقتصادي للبلد. ان الصين يمكن ان تلي كل متطلباتها من الطاقة الكهربائية في العام ٢٠٣٠. ففي نهاية العام ٢٠٠٨ كانت هنالك على الاقل ١٥ شركة

الفصل الخامس : طاقة الرياح

صينية تنتج بصورة تجارية عبر التوربينات الهوائية فيما تنتج قرابة ١٢ شركة صينية مكونات المزارع الهوائية واصبحت الصين في العام ٢٠٠٩ ثالث أكبر مزود للطاقة الكهربائية من هذا النوع في العالم بعد الولايات المتحدة والمانيا وذلك بنصبها مزرعة ذات قدرة انتاجية تصل الى ٢٠ ميغاواط وعند مقارنة التأثيرات البيئية لمصادر الطاقة التقليدية/ نجد ان هذا النوع من التأثيرات على الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري طفيف جدا، لكن مزارع الرياح لها مساوئها حيث انها تتسبب في نفوق اعداد كبيرة من الطيور. ومزارع الرياح لا تستهلك اي مياه او وقود ولا تبعث اي نوع من الملوثات البيئية على النقيض من مصادر الطاقة الاحفورية. والطاقة المستخدمة لتصنيع ونقل المواد والمعدات الضرورية المستخدمة لبناء حقل الطاقة الهوائي تساوي الطاقة التي ينتجها الحقل خلال اشهر قليلة بعد بنائه. ان الصين تعتمز بناء مزرعة لطاقة الرياح بقدرة ١٠,٨ مليون كيلووات في منطقة شينجيانغ ذاتية الحكم في أقصى الغرب خلال خمس سنوات. واجتاز مشروع لطاقة الرياح بقدرة ٢٠٠ الف كيلووات لشركة هواديان الصينية لتوه المراجعة الأولية لمكتب حماية البيئة المحلي. ويمثل جزءا فقط من مزرعة لطاقة الرياح بقدرة ٢ مليون كيلووات يعتمز بناؤها من جانب عشر شركات للطاقة جنوب شرقي هامي. وتقدر طاقة الرياح المحتملة في هامي ب ٧٥ مليون كيلووات، تمثل ٦٠ % تقريبا من الاجمالي في شينجيانغ. كما تعتمز الصين بناء ست مزارع أخرى لطاقة الرياح بقدرة ١٠ ملايين كيلووات قبل ٢٠٢٠. وسيكون للقواعد السبع، ومن بينها هامي، قدرة مجمعة تبلغ ٩٠ مليون كيلووات بحلول عام ٢٠٢٠، تمثل ٦٠ % من اجمالي البلاد أظهر تقرير "توقعات تنمية طاقة الرياح لعام ٢٠١٠ " الصادر عن المجلس العالمي لطاقة الرياح وغرينبيس يوم ١٢ أكتوبر عام ٢٠١١، ان طاقة الرياح يمكنها أن تلبى ١٢ % من الطلب العالمي على الكهرباء حتى عام 2020، و ٢٢ % بحلول عام ٢٠٣٠. ومن المخطط ان تبلغ سعة مجموعات المولدات الكهربائية العاملة بطاقة الرياح أكثر من مليون كيلوواط بحلول عام ٢٠١٠ ومليون كيلوواط بحلول عام ٢٠٢٠.

٥-٧-٢: حسابات اولية للجدوى الاقتصادية لبناء مزارع الرياح

(First Calculation for the Economic Benefits)

لحساب سعر الكيلو واط ساعة من انتاج الطاقة طيلة مدة استخدام او استثمار مولدات الرياح التي يقدر عمرها الكلي حسب ما ورد من الشركات المنتجة (٥٠) سنة. تستخدم المعادلة البسيطة التالية لحساب كلفة الكيلوواط ساعة:

الفصل الخامس : طاقة الرياح

السعر الكلي للمنظومة بالدولار

$$\text{ك} = \frac{\text{السعر الكلي للمنظومة بالدولار}}{\text{القدرة السنوية المنتجة (كيلو واط ساعة)} \times 50 \text{ سنة}}$$

حيث:

ك- كلفة الكيلو واط ساعة من المنتج (بالدولار) علما تم اعتماد سعر كلي للمنظومة (تقديري) يتضمن سعر الشراء مع تقديرات كلف الصيانة المحتملة طيلة مدة الخدمة. من خلال المقارنة بين كلف انظمة المضخات التي تعمل بطاقة الرياح مع المضخات التي تعمل بالديزل تم حساب التكاليف النموذجية لاستخدام طاقة الرياح وفق افتراضات معينة تتعلق بتكلفة رأس المال، والصيانة السنوية، والاندثار ونسبة الفائدة، تم حُساب التكلفة لكل متر مكعب من المياه التي يتم ضخها من منظومة ضخ رياح نموذجية، مثل 12-PU-500، على أساس التجربة الميدانية في الهند. لمنظومة كلفتها حوالي ١٥٠٠ دولار أمريكي، والقدرة على ضخ ٢٠٠٠٠ مترًا من المياه سنويًا إلى ارتفاع ٦ أمتار تحت معدل سرعة رياح يبلغ ١٠-١٢ كم في الساعة، تصل تكلفة ضخ المياه إلى ١,٥ سنتاً أمريكياً/م^٣. في مقابل هذا، مع مضخة ديزل من 5HP تعمل ١٥٠٠ ساعة سنويًا ولنفس المُخرج السنوي الكلي، ولنفس الارتفاع، تصل تكلفة المياه التي يتم ضخها إلى حوالي ٢,٨ سنت أمريكياً/م^٣ مع الاخذ بنظر الاعتبار ظروف الرياح المواتية بشكل معقول، ستكون تكلفة مضخات الرياح أدنى من المضخات الكهربائية تتضمن اقتصاديات توريينات الرياح المفاضلة بين المقاييس الاقتصادية، التي تقول أن توليد الطاقة بالرياح يتناسب طردياً مع مكعب السرعة ومساحة الكتلة الهوائية، وليس على المقاييس الاقتصادية، التي تنص على زيادة الحجم. يتراوح معدل تكلفة رأس المال وتكلفة توليد القدرة لمشاريع ١٠ ميغاواط التي أُجريت في الهند حتى الان بين ١,٢٥-١,٥٠ كيلوواط/ساعة على التوالي، اعتماداً على الموقع. تتراوح تكلفة التوليد المتوقعة لمزارع الرياح ذات حجم مقترح ٥-١٠ ميغاواط من ٠,٧٩-١,٠٤ كيلوواط/ساعة. بالنسبة لمزارع الرياح الأكبر فإن تكاليف التوليد ستكون أقل من ذلك. هذه التكاليف هي بالفعل مماثلة لتلك التي توليدها القدرة الحرارية وهي أدنى من توليد القدرة من وحدات الديزل. علاوةً على ذلك، في حين أن تكلفة توليد القدرة الحرارية سوف تستمر بالزيادة مع الارتفاع في تكاليف الوقود، فإن تكاليف توليد قدرة الرياح سوف تنخفض أكثر مع مزيد من التحسينات في مجال التكنولوجيا، واكتشاف المزيد من المواقع العاصفة، كما هو الحال أيضاً مع الزيادة في توسع قدرة مزارع الرياح.

٥-٧-٣: تطور طاقة الرياح (Wind Farm Development)

أ. استخدم المصريون عام ٣٠٠٠ ق. م طاقة الرياح في تسير السفن الشراعية وطحن الحبوب، والبابليون والفرس عام ٢٠٠٠ ق. م طاقة الرياح في طحن الحبوب وتسير السفن الشراعية. ب. استخدمت الدول الأوروبية بعد ذلك الطاحونة الهوائية بصورة واسعة لطحن الحبوب والسقي المزروعات.

ج. طور الانسان تقنيات وتطبيقات طاقة الرياح بصورة مستمرة بخصوص الطاحونات الهوائية حيث تمكن من نصب ٦٠٠٠٠٠٠٠ طاحونة لسد حاجة المناطق الريفية البعيدة بالكهرباء والماء وعندما بدأ انتشار توزيع الكهرباء بدرجة واسعة بدأ ينحسر استعمال طاقة الرياح في الولايات المتحدة ولكنه ارتفع ثانية بعد نقص النفط الأمريكي في أوائل السبعينات وخلال السنوات الـ ٣٠ الماضية اهتمت الحكومة الاتحادية بهذا المجال وشرعت قوانين تشجع الاهتمام بطاقة الرياح وفي وسط الثمانينات كان تقدير طاقة توربينات الرياح يصل كحد أقصى إلى ١٥٠ كيلو واط وفي عام ٢٠٠٦ قدّر مقياس التوربينات التجارية عموماً بأكثر من ١ ميغا واط ومتوفرة أيضاً بقدرة تصل إلى ٤ ميغا واط.



شكل (٥-١٦): يمثل توربين رياح على ساحل البحر لانتاج الطاقة الكهربائية.

إنّ عقدين من التقدم التقني والتطور العلمي اوجدت توربينات رياح متطورة مما جعل قابلة للتطوير وسريعة التركيب. مزارع الرياح تؤمن حالياً طاقة توفر حاجات حوالي ١٩ مليون عائلة اوروبية متوسطة الاستهلاك صرفة تعادل محطات طاقة تقليدية مع بداية عام ٢٠٠٤ من التقدم والتطور العلمي.



شكل رقم (٥-١٧): يمثل مزرعة رياح في كاليفورنيا في امريكا.

مع نمو طاقة الرياح المجهزة بمعدّل ٣٠% في السنوات القليلة الماضية، يصبح تأمين الرياح لـ ١٧% من طاقة العالم في العام ٢٠٢٠ هدفا واقعا كليا. وهذا من شأنه أن يخلق مليوني فرصة عمل وأن يوفر أكثر من ١٠٧٠٠ مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وبفضل التحسينات التي تدخل باستمرار على حجم التوربينات العادية وقدرتها، يتوقع أن تتراجع كلفة طاقة الرياح في المواقع الجيدة، في العام ٢٠٢٠، بمعدّل ٤٥,٣ سنت يورو لكل كيلووات ساعة، أي ٣٦% أقل من كلفتها في العام ٢٠٠٣، وهي ٧٩,٣ سنت يورو / كيلووات ساعة.

لا تندرج شبكة التوصيل في هذه الكلف ، لكنّها عنصر أساسي في أي موقع طاقة جديد، وليس الرياح فقط.

٥-٧-٤ : مستقبل طاقة الرياح (Wind Farm Future)

إنّ موارد الرياح في العالم واسعة جداً وموزعة جيّداً في كافة المناطق والبلدان. ومع استخدام التكنولوجيا الحالية، يمكن لطاقة الرياح أن تؤمّن حوالي ٥٣٠٠٠ تيراوات ساعة في السنة. وبفوق هذا بمعدل مرتين طلب العالم المتوقع على الطاقة في العام ٢٠٢٠، ما يترك مجالاً هاماً للنمو في الصيانة حتى بعد عقود من الآن. تملك الولايات المتحدة وحدها ما يكفي من الرياح لتغطّي أكثر من

الفصل الخامس : طاقة الرياح

حاجاتها من الطاقة بمعدل ٣ مرّات ان طاقة الرياح ودورها في توليد الكهرباء عالميا تتزايد سنويا بمعدل ١٣ ٪ ونظرا لان حجم هذا التوليد حاليا متواضع ولا يتجاوز حوالي ٦٥ تيرا واط ساعة عام ٢٠٠٥ فان مساهمة طاقة الرياح في توليد الكهرباء ستضل محدودة في المستقبل ويتوقع ان تصل هذه المساهمة الى ٩٣٠ تيرا واط عام ٢٠٣٠ أي حوالي ٣٪ من انتاج الكهرباء وتبلغ الاستثمارات السنوية حاليا بتوسيع طاقة الرياح حوالي ٧ بليون دولار سنويا ومعظم هذه الاستثمارات ستتم في المانيا حيث تبلغ قدرة المحطات الحالية ١٧٠٠٠ مكوااط وهي تشكل حوالي ٤٪ من قدرة التوليد الكهربائي في المانيا. والاتجاه حاليا لوضع محطات التوليد من الرياح في الاماكن المائية خارج الشاطئ **Off Shore** وذلك لسرعة الريح العالية هناك ولتجنب التلوث الصوتي ومناظر المراوح الا ان الكلف الناجمة عن ذلك مرتفعة وتؤثر سلبا على اقتصاديات طاقة الرياح. بالرغم من نمو طاقة الريح السريع مؤخراً، مازال مستقبل هذه الطاقة غير مضمون، إلا أنّ معظم التقدّم تحقق بفضل جهود قلّة منها، وعلى رأسها المانيا واسبانيا والدانمارك. وستحتاج الدول الأخرى إلى تحسين صناعات طاقة الريح لديها بشكل جذري اذا ما رغبت بتحقيق الأهداف الشاملة. وبالتالي، فإنّ توقّع أن تشكّل طاقة الرياح ١٢ ٪ من الطاقة المستخدمة في العالم، في العام ٢٠٢٠. والجدول رقم ١-١ يبين كميات طاقة الرياح المستغلة من دول العالم.

٥-٧-٥: مزايا استخدام طاقة الرياح (Features of Wind Energy Utilization)

من أهم مزايا طاقة الرياح :-

١. الحفاظ على البيئة:- خفض معدلات تغيّر المناخ الذي يتسبب بانبعاث ثاني أكسيد الكربون
٢. خال من الملوثات الاخرى المرتبطة بالوقود الاحفوري والمصانع النووية.
٣. مصدر يعوّل عليه وقابل للتجديد- تحرك الريح التوربينان مجاناً، ولا تتأثر بتقلبات أسعار الوقود الأحفوري. كما لا تحتاج للتنقيب أو الحفر لاستخراجها أو نقلها إلى محطة توليد. ومع ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري في العالم، ترتفع قيمة طاقة الريح فيما تتراجع تكاليف توليدها.
٤. ان استخدام التوربينان المتوسطة الحجم المجربة في المشاريع الكبرى، يؤدي إلى خفض الوقت المخصص للتصليح بمعدل ٢ ٪، وبالتالي. يؤدي الى تقليل كلف طاقة الرياح.



شكل (١٨-٥): يبين نموذج لتوربينة رياح تعطي ١٢ فولت.

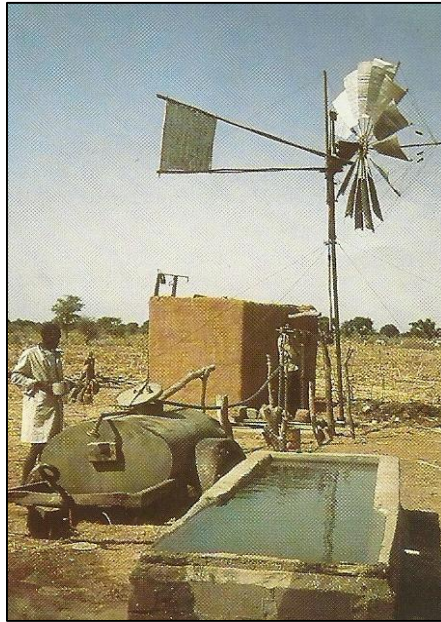


شكل رقم (١٩-٥): مثل توربين رياح نوع.

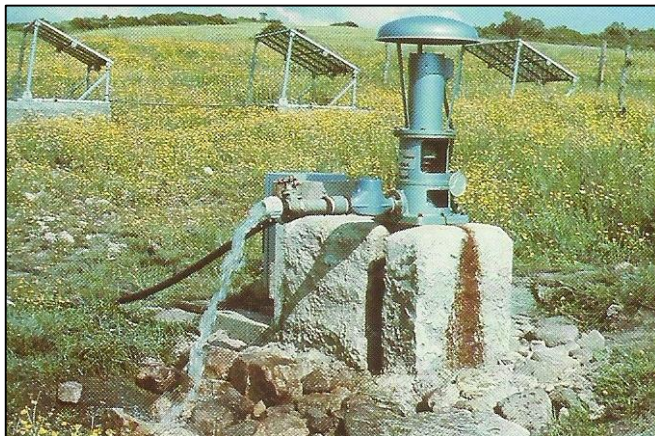
٨-٥ : مزايا طاقة الرياح (Features of Wind Energy)



شكل رقم (٢٠-٥): شكل يمثل طاحونة رياح.



شكل رقم (٢١-٥): شكل يمثل طاحونة رياح مائية.



شكل رقم (٥-٢٢): شكل يمثل مضخة مائية.

الفصل السادس

طاقة الكتلة الحيوية

Biomass Energy

١-٦ : المقدمة (Introduction)

استخدم الإنسان الطاقة الشمسية بشكل طاقة الكتلة الحيوية لأغراض التدفئة والطبخ منذ القدم وإلى الآن في المناطق الريفية من مختلف أنحاء العالم ومن ضمنها الدول المتطورة. تشكل طاقة الكتلة الحيوية حوالي ١٥% من مقدار الطاقة الكهربائية العالمية المستهلكة. أظهرت إحصائيات الوكالة الدولية للطاقة بان طاقة الكتلة الحيوية تشكل ٣٨,١% من الطاقة المستهلكة في العالم. الجدول (١-٦) والجدول (٢-٦) يبينان كميات ونسب استخدام الطاقة في العالم خلال عام ١٩٨٥.

جدول (١-٦): يبين نسب استخدام طاقة الكتلة الحيوية لدول العالم لعام ١٩٨٥.

نوع الوقود	دول العالم	الدول الصناعية	الدول النامية
الغاز الطبيعي	١٧,٤%	٢٢,٧%	٧,١%
الطاقة النووية	٤,١%	٥,٩%	٦%
الطاقة المائية	٥,٥%	٥,٧%	٥,١%
الطاقة الحيوية	١٤,٧%	٢٨%	٣٨,١%
النفط	٣٤,١%	٣٨,٣%	٢٥,٨%
الفحم	٢٤,١%	٢٤,٥%	٢٣,٤%

الفصل السادس : طاقة الكتلة الحيوية

جدول (٦-٢): يبين كمية الطاقة المستهلكة من قبل العالم، الدول الصناعية، والدول النامية حسب التطور والنفوس لعام ١٩٨٥.

النسبة المئوية لاستهلاك بالنسبة للعالم Percent of world	الطاقة المستخدمة Giga Joules	مجموع الطاقة المنتجة Exa Joules	الجهة	عدد النفوس
	٧٧	٣٧٣	العالم	٤،٧٨ بليون نسمة
٦٦%	٢٠٢	٢٤٧	الدول الصناعية	١،٢٢ بليون نسمة
٣٤%	٣٥	١٢٦	الدول النامية	٣،٦٥ بليون نسمة

كما أظهرت الإحصائيات أن بعض دول العالم المتطورة تستخدم الوقود الحيوي بنسب مختلفة. مثلا الولايات المتحدة الأمريكية تقدر ٤% وأستراليا ١٠% والسويد ٩% من الطاقة الكلية المستخدمة وفي بعض الدول مثل الهند تبني في خططها الإستراتيجية طاقة الكتلة الحيوية لتوفير الطاقة الكهربائية كونها:-

١. متوفرة في هذا البلد.
 ٢. نظيفة الاستخدام.
 ٣. تأثيرها على البيئة بسيط.
 ٤. مصدر مقبول من حيث التأثير البيئي.
- إن طاقة الكتلة الحيوية تتضمن الطاقة التقليدية الناتجة من حرق الخشب وفضلات الحيوانات ومخلفات المحاصيل الزراعية والطاقة البديلة الجديدة. شكل (٦-١) يبين تلك الطاقات.

٦-٢: أنواع الطاقات المتجددة (Types of Renewable Energies)

وتنقسم الى:-

- أ- الطاقة المستديمة التقليدية (السدود، المحطات، الكهرومائية).
 ب- الطاقة المتجددة الجديدة (الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، طاقة المد والجزر، الهيدروجين).
 ج- الطاقة البديلة التقليدية (حرق الخشب وبقايا المحاصيل، حرق فضلات الحيوانات، لهيدروجين)
 د- الطاقة البديلة الجديدة (Bio-fuel, Bio - gas, Bio-diesel)

أنواع الطاقات			
الطاقة أ المستديمة التقليدية	الطاقة ب المتجددة الجديدة	الطاقة ج البديلة التقليدية	الطاقة د البديلة الجديدة
السدود - المحطات الكهرومائية	١- الطاقة الشمسية ٢- طاقة الرياح ٣- طاقة المد والجزر ٤- الهيدروجين؟	١- حرق الخشب وبقايا المحاصيل ٢- حرق فضلات الحيوانات ٣- الهيدروجين؟	1- Bio-fuel. 2- Bio-gas 3- bio-diesel
			

شكل (٦-١): يبين أنواع الطاقات المتجددة.

- والطاقة البديلة الجديدة الناتجة من النظام الحيوي تتضمن:-
 أ- الوقود الحيوي Bio fuel ويمكن الحصول عليه من المحاصيل الزراعية الزيتية مثل الذرة، السمسم، الفول، المحاصيل السكرية.



شكل (٦-٢): يبين مصادر الكتلة الحيوية.

الوقود الحيوي يكون بشكل صلب، سائل، غاز ينتج من بقايا الحيوانات والنباتات الميتة والمندثرة منذ زمن بعيد و يختلف عن الوقود الاحفوري (Fossil Fuel) المتولد من مخلفات المواد العضوية المندثرة منذ مدة طويلة. فالوقود الحيوي ينتج نظرياً من الكائنات الحية **biological** أو من مصادر المواد العضوية والكربونية مثل معظم النباتات التي تقوم بعملية التركيب الضوئي أو النباتات المنتجة مواد مثل رقائق الخشب والقمامة والتي بصورة رئيسة تقوم بإعادة الكربون إلى الجو أكثر من الوقود الاحفوري. ينتج الوقود الحيوي من المحاصيل الزراعية والتي تصنف إلى:

- المحاصيل الزيتية: الذرة، السمسم، فول الصويا.
- المحاصيل السكرية: قصب السكر، بنجر سكري.
- نباتات الجatroفا والبونغانيا الريشية والسورغم الحلو والطحالب.

ومن مشاكل إنتاج الوقود الحيوي:-

- عدم وجود كميات كبيرة فائضة عن الاستهلاك البشري من هذه المحاصيل للأسباب الآتية:-
- قلة المساحات المزروعة بسبب الجفاف لشحة الامطار.
- ندرت المحاصيل المخصصة للاستخدام غير البشري.
- ظروف الطاقة الحالية لا تستوجب تخصيص مساحة واسعة لهذا النوع.

الوقود الصلب (Bio Fuel)

الوقود الصلب يشمل النفايات الزراعية ومنتجات الغابات والنفايات العضوية الحيوانية. ويستخدم في بعض الدول النامية للتدفئة والطبخ من خلال حرقها بصورة مباشرة في المناقل والمداخن ويستخدم لتوليد بخار تحت ضغط معين لإنتاج الطاقة الكهربائية واستثمار الغازات الناتجة للحصول على طاقات أخرى".

ب- الغاز الحيوي (Bio Gas)

(الميثان) ينتج من تحلل المواد الكربوهيدراتية: مثل الفضلات الزراعية، بقايا الرز والحنطة، الفضلات الحيوانية، روث الأبقار، وفضلات الطيور

الغاز الحيوي يكون بشكل غاز ويشق (يتحلل) من المواد العضوية للكائنات الحية المندثرة قديماً وينتج من المواد الحية أو من مصادر المواد الكربو عضوية مثل:-

- النباتات ذات التركيب الضوئي **Photosynthetic**.
- المواد المشتقة من النباتات مثل نشارة الخشب، قشور الرز.
- تحلل المواد الكاروهيدراتية، الفضلات الزراعية، بقايا الرز، بقايا الحنطة.
- تحلل الفضلات الحيوانية، روث الأبقار، روث الدواجن.
- نباتات الجاتروفا، الطحالب، السورغم الحلو، البونغاميا الريشية.

ج- وقود الديزل (Bio Diesel)

تعتبر الطاقة الحيوية من المصادر النظيفة والمقبولة في جميع أنحاء العالم للتزود بها. وهي مصدر مقبول وواسع الاستعمال. ومن الأسباب المقنعة لاعتبارها مصدر اساسي في العالم ما يلي:-

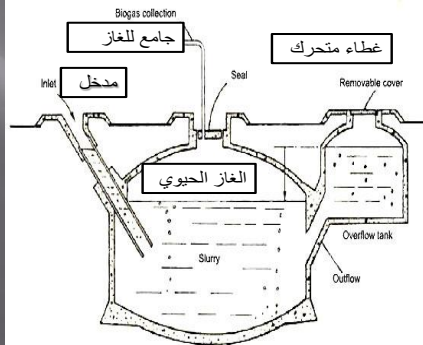
١. توفر مصدرها الواسع في العالم أكثر من الوقود القديم. كما موضح في المخطط (٦-٢)
٢. تنتج بطرق بسيطة وغير مكلفة.

٣. تستخدم في المدن والريف.

٤. غير ملوث للبيئة.

الغاز الحيوي Bio - gas

٢- تحلل الفضلات الحيوانية: روث الابقار - روث الدواجن



شكل (٦-٣): يمثل مخطط إنتاج غاز الميثان من محطات الطمر.

غاز الميثان ناتج عرضي من النفايات التي تجمعها البلديات في مناطق الطمر (land filling). معظم دول العالم تتخلص من النفايات بطمرها في مواقع الدفن غير النظامية مما يسبب انبعاث الميثان منها إلى الجو وفي الآونة الأخيرة تبنت الدول المتطورة استخراج الميثان من مناطق الدفن كما موضح في الشكل رقم (٦-٣) لقد اهتمت بعض دول العالم المتطورة بجمع ودفن النفايات في مواقع مخصصة لها لاستخراج طاقة الكتلة الحيوية منها ابتداءً من عام ٢٠٠١ واستخدامه في توليد الطاقة الكهربائية أو الحرارية.

ولاً- مميزات استخدام الغاز الحيوي Biogas:-

- ١- المنظومات الإنتاجية البسيطة والغير المكلفة.
- ٢- تخليص البيئة من أنواع كثيرة من الفضلات النباتية والحيوانية.
- ٣- سهولة استخدام المنظومات في المناطق الريفية وأماكن الثروات الحيوانية ومحطات المجاري.
- ٤- مساوي استخدام الغاز الحيوي Biogas.

٥- ملوث نسبياً للبيئة.

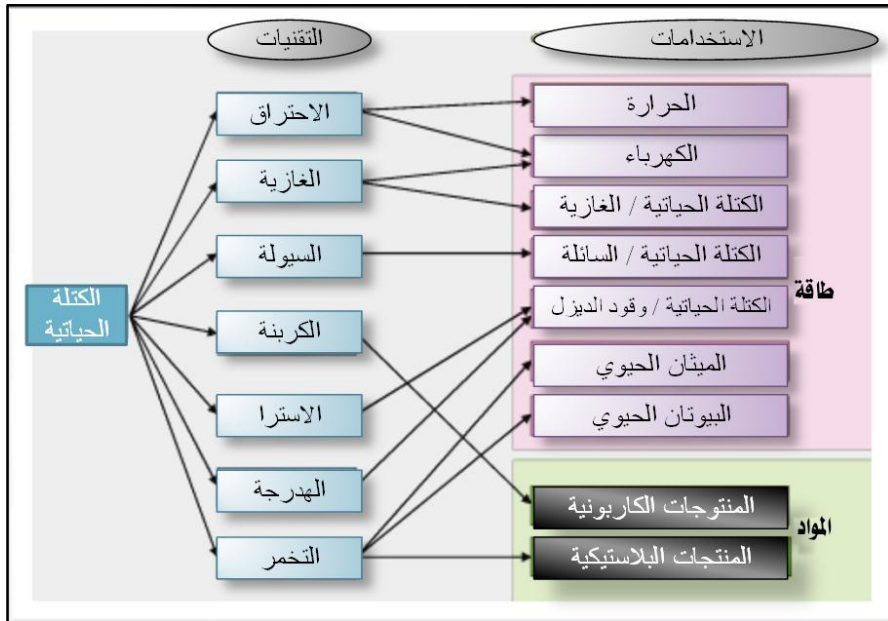
ثانياً- وجود الفضلات النباتية في فترات معينة وليس بصورة دائمة.

٦-٢-١: الوقود السائل (Bio Liquid)

تتحول الطاقة الحيوية (Bio Mass) إلى وقود سائل أو غاز أو مواد بتروكيميائية. ومن أنواع هذا الوقود السائل الشائع الايثانول والميثانول الذي يعتبر كحول الخشب. حيث يخلط الوقود وخاصة الميثانول بالكازولين كوقود للسيارات يتم تحويل المواد العضوية لتوليد الوقود الغازي أو السائل بواسطة التحول الحراري للمواد العضوية أو معاملة المواد العضوية بمواد كيماوية.

٦-٣: انتاج الوقود الحيوي (Bio - Fuel Production)

توجد عدة طرق لإنتاج الوقود الحيوي كما موضحة في المخطط (٦-٤).



شكل (٦-٤): بين طرق انتاج الوقود الحيوي واستخداماته

٦-٣-١: التخمير (Fermentation)

تستخدم طريقة التخمير (Fermentation) لإنتاج الكحول الايثيلي، والايثانول. والشكل العام الطبيعي للوقود الغازي هو الايثانول. من خلال تخمير المحاصيل ذات المواد النشوية العالية مثل القمح والذرة أو المحاصيل ذات المواد السكرية مثل قصب السكر والبنجر. والنباتات

الفصل السادس : طاقة الكتلة الحيوية

الآخري مثل الجاتروفا واليونغاميا الريشية والطحالب. يتم تسخين المحاصيل النباتية التي تحتوي على كمية كبيرة من الزيوت النباتية مثل زيوت النخيل، فول الصويا، الطحالب وعند تسخين هذه الزيوت تقل لزوجتها وتحترق مباشرة مكونة ديزل المكائن (Diesel Engine). أو معاملة المواد كيميائيا مثل.

الأخشاب ومشتقاتها و تحويلها إلى وقود حيوي مثل غاز الخشب، الميثان، والايثانول.

٦-٣-٢: الهدرجة (Hydrogenation)

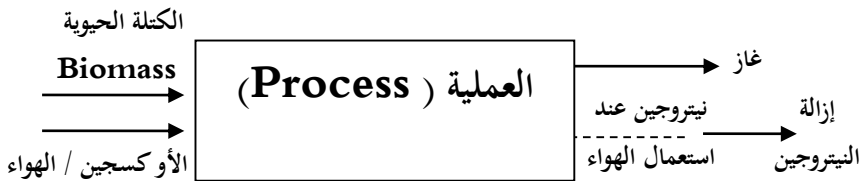
يتم معاملة موادالأخشاب، نفايات الحقول الخشبية، مخلفات الغابات، أوراق الغابات، والمواد العضوية غنية الكربون وتحويلها إلى غاز ومن ثم إلى وقود سائل. يمكن إزالة النيتروجين بالأساليب التالية:-

أ- استعمال snags:- هو خليط من أول وكسيد الكربون والهيدروجين يتحول بصورة عامة إلى

وقود الايثانول السائل بواسطة Catalyst

ب- بواسطة البكتريا:-

- أسلوب جديد يتضمن عدم استعمال Catalyst ولكنه يؤدي إلى تخمر gas (sync) وتحويله إلى ايثانول.



شكل (٦-٥): مخطط ازالة النتروجين من الكتلة الحيوية.

٦-٣-٣: التسييل (Gasification)

يساعد تسييل الكتلة الحيوية في الحفاظ على وقود diesel وباستخدام مختلف التقنيات. إن غرض هذه التقنية جيد ويستخدم باعتماده بصورة خاصة لوقود المكائن الصغيرة والتي تسمى بالمضخات بمدى طاقة (٦ - ١٠) HP. إن تقنية التسييل جيدة بسبب ملائمتها للتجهيز بالطاقة للمناطق النائية والتي لا يمكن نقل الطاقة لها بخطوط النقل الاعتيادية إن هذه التقنية رخيصة ومتوفرة.

أ-مشاكل إنتاج الايثانول

ينتج الايثانول بصورة رئيسة من المواد الغذائية مثل الحبوب، فول الصويا، والفاصوليا. وعند الاعتماد على المواد الغذائية لإنتاج الايثانول مما يؤدي عدم إمكانية توفر هذه الحبوب التي لا تكفي لحاجة المجتمع من الغذاء مما يؤدي إلى عدم التقدم وزيادة أسعار المواد الغذائية.

٦-٣-٤ : تكنولوجيا تنقية الغاز الحيوي (Bio-Gas Purification Techniques)

الغاز الحيوي هو مصدر مهم للطاقة المتجددة المنتجة من المواد العضوية مثل روث الأبقار وفضلات الإنسان وأنواع مختلفة من الكتلة الحيوية. وهو وقود نظيف وعديم الدخان. ومصانع الغاز الحيوي ينتج أيضا كمية من الأسمدة غنية وجيدة. فإنه ينشئ فوائد اجتماعية عديدة مثل تخفيض في قطع الأشجار لاستخدامها كحطب، والحد من ارهاق النساء والأطفال، وتحسين الصرف الصحي والبيئة، والحد من انتشار أمراض العيون والرئة، وزيادة توافر الوقت للعمالة المنتجة. بدأ الغاز الحيوي الآن ثورة في نمط المعيشة في العديد من المناطق الريفية في الهند. برنامج الغاز الحيوي و تزداد شعبيته في القرى وانتشر في جميع أنحاء البلاد تقريبا.

٦-٤ : تحويل الطاقة (Bio-Gas Purification Techniques)

كهربة الريف هي إحدى عناصر البنية التحتية الأساسية في برنامج التنمية وقد تم التركيز على كهربة القرى وتفعيل عمل المضخات الاروائية و تسريع انجاز برنامج التنمية، ولا سيما للكهربة المنزلية. وبتكلفة تشغيل منخفضة، حيث إن إنتاج الطاقة والاعتماد على مصادرها الجديدة والمتجددة تتيح مجالا كبيرا لكهربة الريف وعدم تلوث البيئة. يمكن توسيع استخدام الكهرباء المتولدة من هذه المصادر لتلبية الاحتياجات الأساسية مثل الإضاءة وتحلية مياه الشرب، والري والصناعات الزراعية.

٦-٥ : تسيل الكتلة الحيوية (التغويز) (Gasification of Bio Mass)

إن تسيل الكتلة الحيوية يساعد في الحفاظ على وقود الديزل. إنها طريقة ملائمة و رخيصة ومصدر سهل ومتوفر للتجهيز بالطاقة للمعدات الصغيرة و يعتمد عليها بتشغيل المضخات الصغيرة للسقي بطاقات تتراوح بين من(٥-١٠) Hp كما موضحة في الشكل (٦-٦)

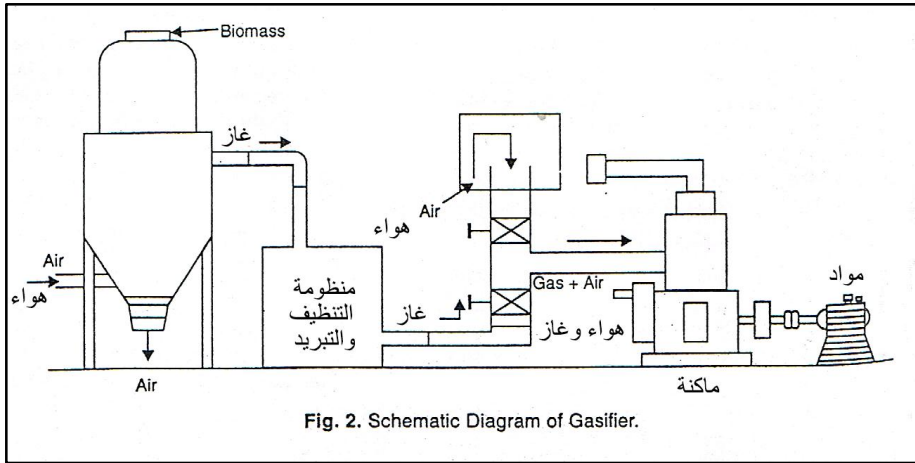


Fig. 2. Schematic Diagram of Gasifier.

شكل (٦-٦): رسم تخطيطي لمنظومة التحويل (غاز التفوز).

وهناك أربعة أنواع من أجهزة التحويل إلى غاز (التسيل)

١. ثابت التسيل ألسريري الصاعد **Fixed bed updraft Gasified**

٢. ثابت التسيل ألسريري النازل **Fixed bed down Gasified**

٣. التسيل العرضي **Cross draft Gasified**

٤. المهد المميع للتسيل **Fluidize**

شكل (٦-٦) يبين رسم تخطيطي لمنظومة التسيل (التغويز)

((Schematic Diagram of Gasified))

وهناك أربعة أنواع من منظومات التسيل (التغويز):-

٦-٥-١: منظومة التسيل النازل ثابت السريري (**Fixed Bed Down Draft Gasified**)

ان تصميم هذه المنظومة مشابه لتصميم منظومة التيار الصاعد عدا أن عمليات ادخال الهواء من اعلى منطقة الاحتراق الموجودة قرب قعر الحجرة (**Chamber**) ويخرج بالقرب من الجزء السفلي من القاعدة. كما موضح في الشكل (٦ - ٧) وتتكون من الاجزاء الاتية:

١- فتحة التحميل في الاعلى.

٢- منطقة خروج الغاز من الاعلى.

٣- منطقة التنجيف.

٤- منطقة الاتقاد.

٥- منطقة التقطير.

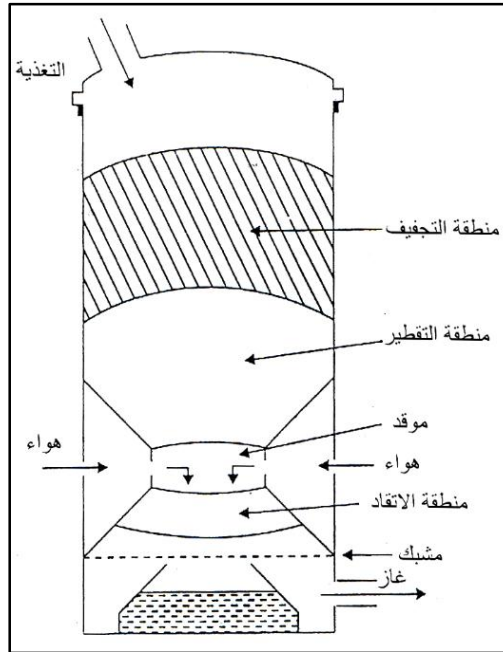
٦- منطقة الهواء الداخلة.

٧- العازل.

٨- منطقة دخول الهواء.

٩- منطقة تجمع الرماد.

الجزء الأسفل هو مفاعل موازي لتدفق الوقود نحو الانخفاض تحت تدفق المشترك الحالي أو تأثير الجاذبية. يتم إدخال الوقود في أعلى الرواق التغويز والغاز في الجزء السفلي من التغويز. هنا يكمن منطقة الحد في أسفل حجرة الوقود وأعلى والتي هي منطقة الأكسدة وحتى منطقة قريبة للحد من الرماد. كما تدفق الغاز نحو الانحدار، وذلك من خلال المواد المتطايرة يمر في منطقة درجة الحرارة العالية حيث يتم أكسدة متصدع أو كسر أعلى والمركبات الهيدروكربونية البوليمرية إلى قصر الهيدروكربونات غير قابل للتكثيف مثل CH_4 ، C_2H_6 وغيرها، وبالتالي تنتج غاز القطران نظيفة وخالية.



شكل (٦-٧): يمثل محطة السحب الى الاسفل (Downdraft or current gasifier)

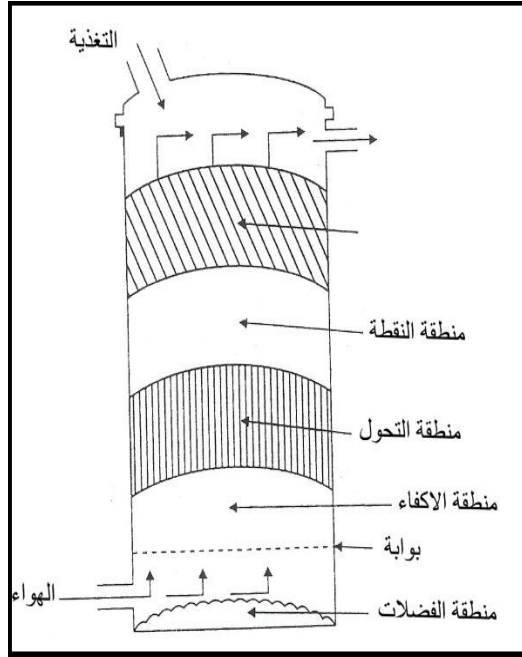
٦-٥-٢: التسييل ثابت الحجرة الصاعد (Fixed Bed Up Draft Gasified)

- ان هذه المنظومة هي اقدم نوع و تتكون من الاجزاء الاتية الموضحة في الشكل (٦-٩)
١. فتحة التغذية.
 ٢. فتحة لخروج الغاز.
 ٣. منطقة الاتقاد.
 ٤. منطقة التصغير.
 ٥. منطقة الموقد.
 ٦. فتحة لدخول الهواء.
 ٧. منطقة الرماد.

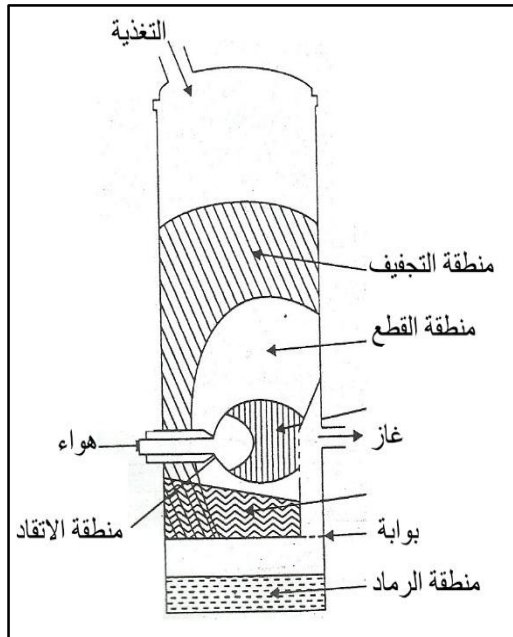
تتم عمليات دخول الهواء إلى الغرفة من خلال بوابة الى منطقة الاحتراق بدرجة حرارة حوالي (٢٥٠٠ °فهر). تخرج غازات الاحتراق من السفر في الحجرة إلى الجزء العلوي والغاز المحترق يخرج من خلال رواق يتواجد في القمة بارد نسبيا بدرجة حرارة (٢٠٠ فهر). وفيما يلي ميزة هذا التصميم:

- أ- مناسب للأنواع المختلفة من وقود الكتلة الحيوية.
- ب- يمكن أن يتم تسييل الوقود الرطب ولا يتطلب أي حجم معين من الوقود.
- ج- انخفاض قيمة تحلل المياه و ذو كفاءة حرارية عالية.

الفصل السادس : طاقة الكتلة الحيوية



شكل (٦-٨): منظومة السحب الى الاعلى.



شكل (٦-٩): يمثل منظومة التغويز السريري المقطعي.

٦-٥-٣: منظومة التسييل (التغويز) السريري المقطعي (Cross Draft Gasified)

كما هو مبين في الشكل (٦-١٠) ان هذه المنظومة مناسبة لانتاج طاقة صغيرة من خلال

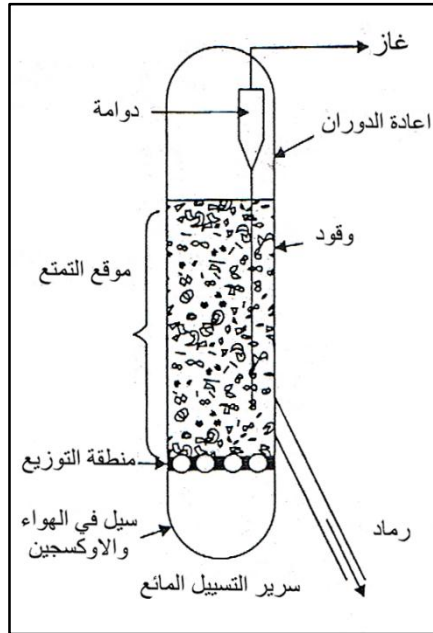
استخدام الفحم. وتتكون المنظومة من الاجزاء الاتية:-

١. منطقة التغذية.
٢. منطقة تجفيف الغاز.
٣. منطقة الاتقاد.
٤. منطقة التصغير.
٥. فتحة دخول الهواء.
٦. الموقد.
٧. منطقة خروج الرماد.

٦-٥-٤: منظومة التسييل (التغويز) السريري المائع (Fluidized Bed Gasified)

ان هذه المنظومة (Fluidized) لديها ميزة المرونة في استخدام المواد الخام ذات

الحجوم المختلفة و الرطبة لأنها تفتقر إلى السرير أو ثابت وهي أيضا مناسبة للوقود الصغيرة.



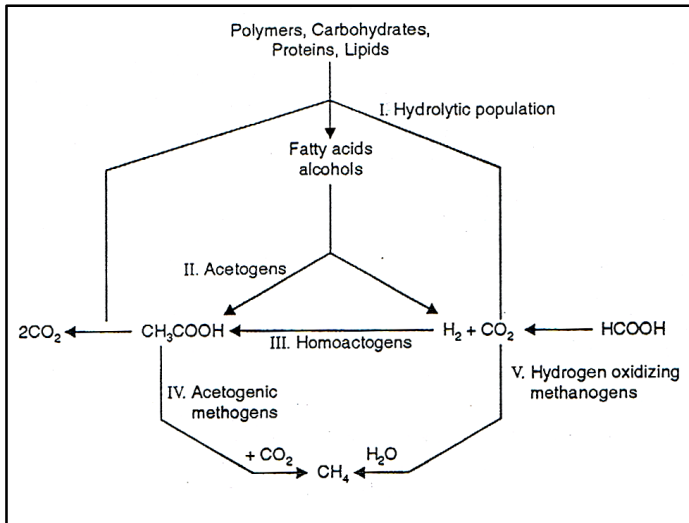
شكل (٦-١٠): يمثل محطة سريير التسييل المائع (Fluidized bed gasified)

ان عيوب تصميمها انخفاض درجة حرارة الغاز الخارج ولا يمكن نقله لان القطران وسوائل اخرى تتكاثف بسهولة مما يؤدي الى جعله غير مناسب للتطبيقات العملية.
تتكون هذه المنظومة من الاجزاء الاتية:-

١. الدوامة.
٢. فتحة خروج الغاز.
٣. منطقة اعادة الدوران.
٤. منطقة الوقود.
٥. موقع التميع.
٦. منطقة التوزيع.
٧. منطقة الهواء والاكسجين.
٨. فتحة خروج الرماد.

٦-٥-٥: تخمير الميثان (Methane Fermentation)

تهدف تكنولوجيا الغاز الحيوي إلى تكرار ظاهرة طبيعية الإنتاج اللاهوائي لغاز الميثان من المواد العضوية المتفسخة. وهو غاز غير قابل للاشتعال يمر بمرحلتين من التفاعلات الكيميائية مبينة في المخطط رقم (٦-١١).



مخطط (٦-١١): يمثل مراحل التفاعلات الكيميائية.

الفصل السادس : طاقة الكتلة الحيوية

والبوليمرات مثل السليلوز المهدرج تباع للأحماض الدهنية والكحول والتي بدورها قد تحولت إلى خلات، الهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكربون، وما إلى ذلك في المرحلة النهائية، وغاز الميثان تلزم معظم الكائنات الحية المنتجة للتحويل الظروف المثلى لعمل مجموعات مختلفة من الكائنات الحية.

٦-٦ : محطات الكتلة الحيوية (Bio Mass Station)

هناك نوعان من التصاميم الشائعة لمحطات الكتلة الحيوية في الهند المجربة والكفؤة في

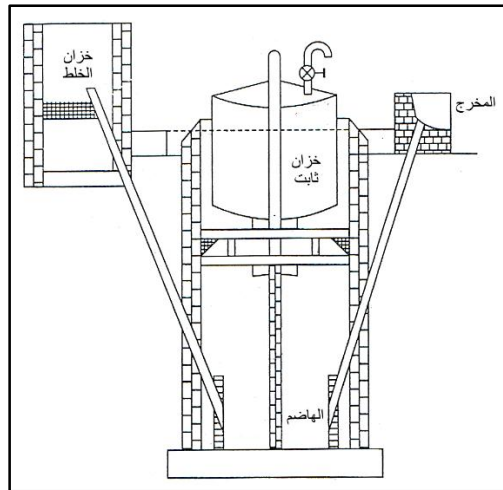
حقل العمل وهما:-

- الماسك الغازي العائم: كما موضحة في الشكل (٦-١٢).
- القبة الثابتة: كما موضحة في الشكل (٦-١٣) ويوجد منهما خمسة انواع جديدة ومنتطورة ومجربة وذات تشيد جيد وكما ياتي:-

١-٦-٦ : المحطة العائمة (Up Water Station)

كما موضحة في الشكل رقم (٦-١٢) وتتكون من الاجزاء الاتية:-

١. خزان الخلط.
٢. خزان الخزن.
٣. الهاضم.
٤. منفذ خروج الغاز.



شكل (٦-١٢): يمثل منظومة المحطة العائمة

Floating gas holder type biogas plant kvic model

الفصل السادس : طاقة الكتلة الحيوية

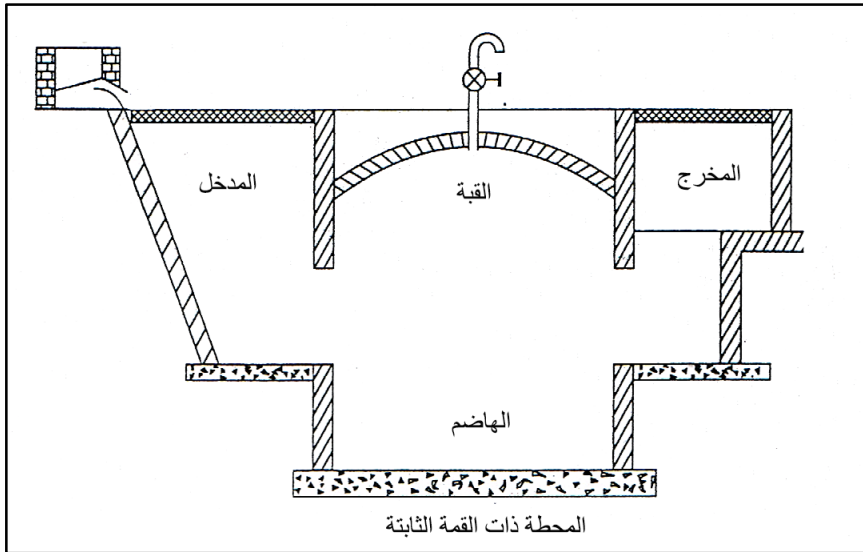
أ- المحطة نوع الماسك الغازي العائم:- ان لهذه المحطة قدر مصنوع من حديد الزاوية والبوليشين.

ب- محطة نوع الماسك الغازي العائم:- ان قدر هذه المحطة مصنوع من حديد نوع فيرو سمنت.

ج- محطة نوع الماسك الغازي العائم:- ان الماسك الغازي لهذه المحطة مصنوع من الزجاج المسلح بالبلاستيك.

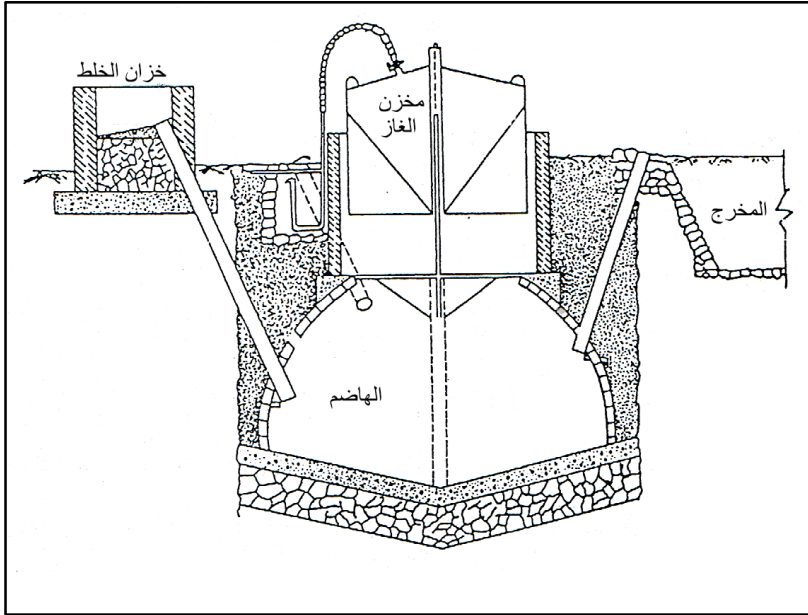
د- المحطة المخروطية الشكل والقدر فيها مصنوع مع الماسك الغازي وتسمى (pragati model) كما موضحة في الشكل. (١٣-٦)

هـ- محطة ذات قبة نوع الثابت موزعة مع بوابة عمل لتشيد وتدعى (Deenbandhu model) كما موضحة في الشكل (١٤-٦)



شكل (١٣-٦): يمثل المحطة ذات القبة الثابتة

(Fixed dome type biogas plants janata type)



شكل (٦-١٤): محطة براغاتي موديل (Pragati model)

كذلك يوجد نوعين من المحطات المتطورة والجديدة والمجربة ويمكن التوسع باستعمالها

ومن هذه الانواع ما

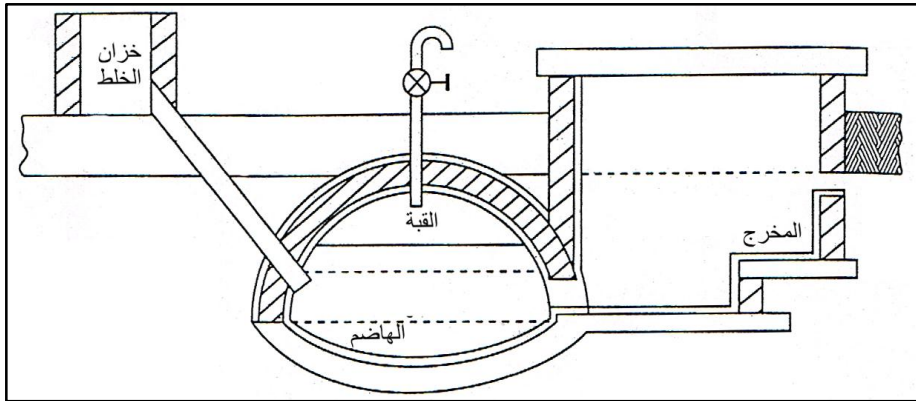
أ. نموذج بريكاتي كما موضحة في الشكل رقم (٦-١٤) وتتكون من الاجزاء الاتية:-

١. خزان الخلط.

٢. الهاضم.

٣. خزان الخزن.

٤. خروج الغاز.



شكل (٦-١٥): يمثل محطة دي باندي موديل.

ب. محطة القبة الثابتة نوع **Deenbandhu**:-- كما موضحة في الشكل رقم (٦-١٥)

وتتكون من الأجزاء الآتية:-

١. خزان الخلط.

٢. الهاضم.

٣. القبة.

٤. خروج المواد

وهي نموذج ذات قبة ثابتة وبوابة عمل إغلاق لبناء القبة، والذي يسمى **Deenbandhu**

وقد تم توحيد فترات الاستبقاء الهيدروليكي لمناطق مختلفة وفقا لمناطق درجة الحرارة كما هو مبين

في الجدول ادناه:

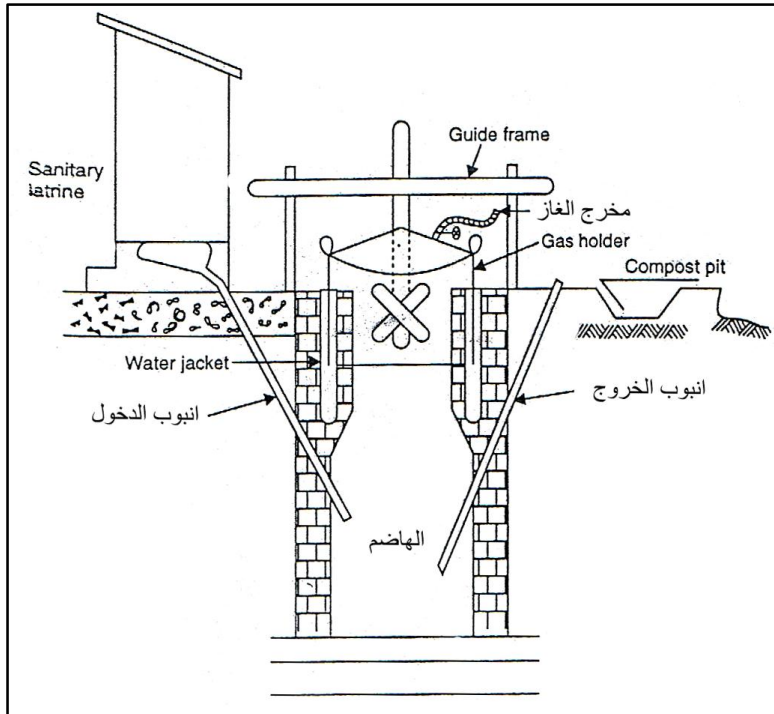
جدول (٦-٣): فترات الاستبقاء لمناطق مختلفة

Zone	Mean temperature during winter months (°C)	Recommended retention period for a biogas plant (days)
I	More than 20	30
II	15—20	40
III	10—15	55
IV	Less than 10	Not suitable

٢-٦-٦ : محطة المقعد الصحي (Sanitary Latrine)

كما موضحة في الشكل رقم (٦-١٦) وتتكون من الأجزاء الآتية:-

١. المقعد الصحي.
٢. أنبوب الدخول.
٣. الهاضم.
٤. أنبوب الخروج.
٥. حوض التجميع.
٦. خروج الغاز.
٧. بوابة الغلق.



شكل (٦-١٦): يمثل محطة الكتلة الحيوية نوع المقعد الصحي

(Sanitary latrine with biogas plant)

٦-٧: طاقة الفضلات الحيوية (Bio Waste Energy)

بعد فترة وجيزة من طمر المكونات العضوية، في أماكن الطمر، وبعد مرور فترة قصيرة على طمرها، تمر بتفاعلات كيميائية حيوية ويحدث تفاعل بوجود الهواء الجوي للطبقات القريبة من سطح موقع الدفن لنفايات المركبات العضوية الطبيعية (**Aerobically**) مما يسبب تأكسدها مشابهة لحالات الاحتراق، فينتج ثاني اوكسيد الكربون وبخار الماء وهي المخلفات الرئيسية (**Bioreaction**) الناتجة من التفاعلات لموقع الدفن للنفايات. إن تفاعل **anaerobic** يمر بثلاث مراحل:-

المرحلة الأولى:- البكتريا العضوية تبدأ المواد العضوية المعقدة بالذوبان.

المرحلة الثانية:- تتحول الجزيئات المعقدة بواسطة البكتريا الحامضة إلى جزيئات بسيطة والحوامض العضوية وثاني اوكسيد الكربون و حامض ألكليك **Prop ionic** و حامض **butyric** و حامض **ethanol**.

المرحلة الثالثة:- ينتج غاز الميثان بواسطة بكتريا **methanogen** مما تسبب تحويل الحوامض إلى غاز الميثان وثاني اوكسيد الكربون وبتخفيف غاز اوكسيد الكربون بالهيدروجين، جدول رقم (٦-٤) يبين عدد محطات الطمر الصحي في العالم لعام ٢٠٠٢.

جدول (٦-٤): يبين عدد محطات الطمر الصحي في العالم لعام ٢٠٠٢

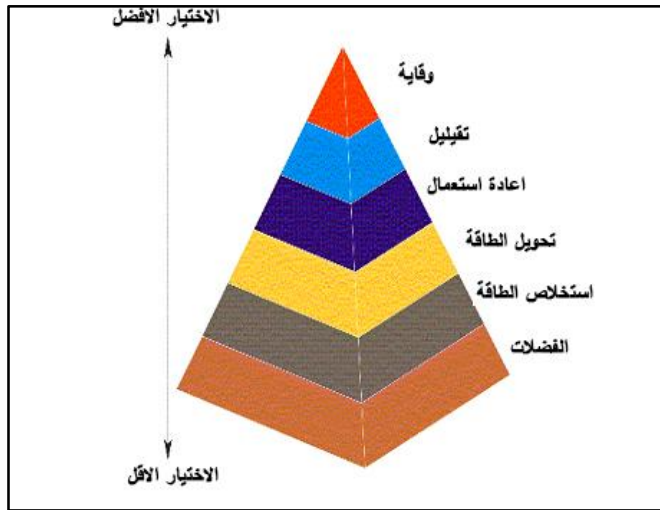
ت	اسم الدولة	عدد المحطات
١	الولايات المتحدة الامريكية	٣٢٥
٢	المانيا	١٥٠
٣	المملكة المتحدة	١٣٥
٤	السويد	٧٠
٥	هولندا	٦٠
٦	ايطاليا	٤٠
٧	كندا	٢٥
٨	استراليا	٢٥
٩	الدنمارك	٢١
١٠	النرويج	٢٠

الفصل السادس : طاقة الكتلة الحيوية

١٥	النمسا	١١
١٠	فرنسا	١٢
١٠	اسبانيا	١٣
١٠	سويسرا	١٤
١٠	فلندا	١٥
١٠	بولندا	١٦
٦	البرازيل	١٧
٥	جمهورية اليشيك	١٨
٥	هنغاريا	١٩
٣	الصين	٢٠
١٢	العراق	٢١
٩٦٧	المجموع	

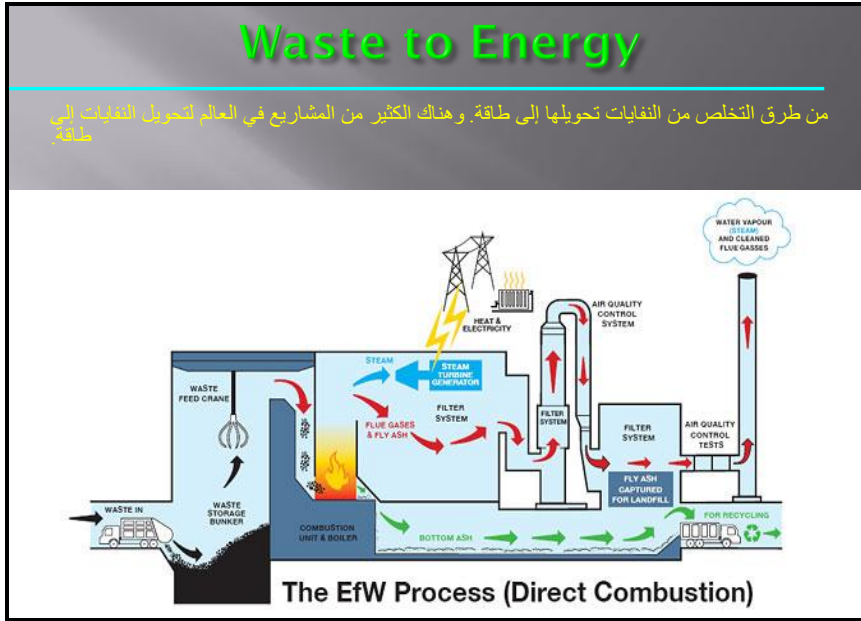
٦-٨: طرق معالجة مشكلة النفايات (Management Methods for Waste Problem)

هناك الكثير من الحلول التي يتم وضعها لمعالجة مشكلة النفايات، كتدوير النفايات، واعادة الاستخدام، او استخدام مواد صديقة للبيئة والشكل (٦-١٧) يمثل اسلوب معالجة مشكلة النفايات.



شكل (٦-١٧): يمثل اسلوب معالجة مشكلة النفايات.

أ- تحويل الفضلات الى طاقة كهربائية مباشرة. كما في الشكل (٦-١٨) (أ - ب)



شكل (٦-١٨ أ): يمثل محطة كهربائية تعمل بطاقة الفضلات.



شكل (٦-١٨ ب): يمثل مناطق تجمع النفايات غير النظامية.

٦-٩: مستقبل وتطور طاقة الكتلة الحيوية (Mass Energy Future)

١. دخل الوقود الحيوي بشكل وقود سائل من مواد نباتية في الأسواق بسبب:-

أ- ارتفاع أسعار النفط.

ب- الحاجة لضمان امن الطاقة.

ج- فتح آفاق جديدة في زيادة المنافسة في أسواق الطاقة.

د- الاعتدال في أسعار النفط.

وبالرغم من ذلك تعرضت تقنية الوقود الحيوي لانتقادات بسبب أثارها الضارة على:-

أ- البيئة الطبيعية.

ب- الامن الغذائي.

ج- كربونية التربة.

٢. إن عمليات تطوير الوقود الحيوي واستخدامه من المسائل المعقدة للأسباب الآتية:-

أ- وجود العديد من خيارات الوقود الحيوي المتوافرة لاستخراج الميثانول والديزل الحيوي

من المحاصيل الزراعية التقليدية المنتجة لنشا والسكر والزيوت النباتية ومن هذه

النباتات القمح والذرة وقصب السكر وزيت النخيل.

ب- استخدام هذه المحاصيل لإنتاج الوقود الحيوي سيكون له أثار على الغذاء الإنساني

وأعلاف الحيوانات مما سيؤدي إلى عواقب اقتصادية وخيمة.

٣. يبدأ إنتاج الجيل الثاني من الوقود الحيوي باستغلال مصادر نباتية أوسع

حاوية على السليلوز مثل الشام العصوي، الخشبة الفضية العملاقة. ونباتات حرشفية

والجاتروفا واليونغلميا الريفية والسورغم الحلو والطحالب، وإعادة تدوير لمخلفات الصناعات

الغذائية، معالجة مخلفات، الخضروات

سيطور التقدم في تقنيات الوقود الحيوي من خلال:-

أ- كفاءة أعلى.

ب- تقليل الآثار البيئية الناجمة عن استخدام الطاقة الحيوية.

ج- تركيز الاهتمام على زيادة المصادر الطاقة المستديمة التي لا تحتاج إلى تحويل الأراضي من

زراعة الغذاء إلى زراعة محاصيل طافية.

د- لاتحدث إضرار على البيئة ه-تساعد على حل مشاكل النفايات المتولدة من المجتمع.
و- خلق فرص العمل للفقراء ونتيجة الدراسات والبحوث التي اجرتها بعض الدول توصلت الى توليد

ز- الجيل الثاني من النباتات المستخدمة للوقود الحيوي المستديم وكما يلي:

١. الهند وافريقيا:- الجاتروفا لانتاج الديزل الحيوي

الايجابيات:-

- أ- يزرع في الأراضي الهامشية التي لاتنمو فيها العديد من المحاصيل ذات الإنتاجية المتدنية.
- ب- تتطلب تشغيل أيدي عاملة كثيرة لالتقاط الأثمار (توفير فرص عمل).
- ج- زراعة المحاصيل الأخرى تحت ضلال هذه الأشجار.
- د- تجنب استيراد الديزل المكلف ووجود فائض للتصدير.

٢. كمبوديا جاتروفا نوع بربادوس لانتاج الديزل الحيوي

الايجابيات:-

- أ- تخفيض كلفت الطاقة الكهربائية كون الديزل انتاج محلي كلفته اقل من المستورد.
- ب- تحسين امن الطاقة وتوفير فرص التنمية الريفية.
- ج- تحسين البيئة.

٣. المكسيك الجاتروفا لانتاج الايثانول

الايجابيات:-

الحفاظ على الامن الغذائي.

٤. استراليا البولغامها الريشية بدلا من الجاتروفا السامة لانتاج الايثانول.

٥. الهند السورغم الحلو لانتاج الايثانول

الايجابيات:-

- أ- استخدام سيقانه لانتاج الوقود الحيوي. ويزوره لتغذية الماشية.
- ب- الحفاظ على الامن الغذائي.
- ج- يزرع في الارض الجافة التي لها قدرة قليلة على الحفاظ على الكاربونية (المواد العضوية)
- د- رخص ثمنه.

هـ- لا يتطلب عمليات ري.

و- تلطيف البيئة.

٦. أمريكا وأوروبا الطحالب لإنتاج الديزل و وقود السيارات

الإيجابيات:-

أ- استخدام الطحالب لإنتاج وقود الديزل سيكون الأسلوب الاوحد القابل للتطبيق.

ب- استخدمت الطحالب سابقا لإنتاج النفط والهيدروجين وحاليا لإنتاج الوقود الحيوي.

ج- استخدام مياه الصرف الصحي لإنتاج الطحالب.

٦-٩-١: التعاون الدولي فيما يخص الوقود الحيوي المستدام

(Bio-mass International of Assistance)

يمكن ان تلعب المواقف الدولية العامة والاجراءات و القوانين التي تتخذها الجهات المعنية دورا مهما في الاستفادة من امكانيات الوقود الحيوي. ان مبادرة مائدة الوقود الحيوي المستديرة هي مبادرة دولية تهدف الى الجمع بين المزارعين والشركات والحكومات والمنظمات غير الحكومية والعلماء الذين يرغبون في انتاج الوقود الحيوي وعمليات التوزيع. ففي عام ٢٠٠٦ وضعت المائدة المستديرة سلسلة من المبادرات والمعايير لإنتاج الوقود الحيوي المستدام من خلال الاجتماعات والمؤتمرات عبر الانترنت. وقد اصدرت النسخة الصفرية وهي عبارة عن معايير مقترحة للوقود الحيوي المستدام والتي تتضمن ما يلي:-

١. يجب ان يتم انتاج الوقود الحيوي بموجب المعاهدات الدولية والقوانين الوطنية المنظمة مثل جودة الهواء ومصادر المياه والاساليب الزراعية وشروط العمل.
٢. يجب ان تصمم وتنفذ عمليات الوقود الحيوي بحيث تشمل جميع اصحاب المصالح في عمليات التخطيط والمراقبة.
٣. يجب ان يقلل الوقود الحيوي من انبعاث الغازات المنبعثة الثقيلة مقارنة بالوقود الاحفوري والسعي من حيث المبدأ بمقارنة فوائد تقليل الانبعاثات.
٤. يجب ان لا ينتهك انتاج الوقود الحيوي من حقوق الانسان او العمال والتأكيد على العمل اللائق ورفاهية العمال.

٥. يجب ان يساهم الوقود الحيوي في التطور الاقتصادي والاجتماعي للدولة والمدن والمناطق القروية والمواطنين الاصليين.
٦. يجب ان لا يؤثر انتاج الوقود الحيوي على الامن الغذائي.
٧. يجب ان يتجنب انتاج الوقود الحيوي التأثيرات السلبية على النظم البيئية والتنوع البيئي والحفاظ على المناطق ذات القيمة البيئية العالية.
٨. يجب ان يشجع انتاج الوقود الحيوي على الممارسات التي تؤدي الى تحسين التربة والتقليل من تدهورها.
٩. يجب استخدام المياه السطحية والجوفية بالشكل الامثل والحرص على عدم استنزاف المياه الجوفية.
١٠. يجب تقليل التلوث البيئي الى الحد الادنى.
١١. يجب انتاج انواع الوقود البايولوجي باكثر الطرق فعالية من حيث التكلفة مع الالتزام بتحسين كفاءة الانتاج والاداء في جميع مراحل تقييم اداء الوقود الحيوي.
١٢. يجب ان لا ينتهك انتاج الوقود الحيوي حقوق ملكية الاراضي.

٦-٩-٢: الوعي الاجتماعي والتطور التقني والعلمي (Bio-mass Fuel Development)

١. من خلال تحليل وتقييم استخدام طاقة الكتلة الحيوية تتبنى الدول المتطورة مثل الولايات المتحدة الأمريكية، فرنسا، ألمانيا، بولندا، الدنمارك، جيكوسلفاكيا استخدام طاقة الكتلة الحيوية الصلبة والسائلة والغازية بنسب جيدة.
٢. معظم الدول الباقية استخدمت طاقة الكتلة الحياتية الصلبة وبعض من الطاقة السائلة والغازية وبنسب بسيطة. مايدل هذا على ان الوعي الاجتماعي والتطور التقني والعلمي له التأثير الكبير على تقدم وانتشار هذا الصنف من الطاقة وتطوره يعتمد على تبني الدول المتطورة في خططها الاستراتيجية لاستثمار هذا النوع من الطاقة ونضوب مصادر الطاقة التقليدية. ان الكتلة الحياتية كانت وستبقى تشكل مصدراً اساسياً للتزود بالطاقة حيث تساهم بنسبة (١٠-١٢ %) من مصادر الطاقة وتعتبر مصدراً رئيسياً للتزويد بالطاقة في الدول محدودة الدخل وخاصة في اواسط افريقيا وجنوب اسيا. ان الوقود السائل الناتج

عن التخمير (الايثانول) ستزداد مساهمته كخليط وبديل للمنتجات النفطية وخاصة في البرازيل والاتحاد الاوربي ولكن دوره سيكون محدود للاسباب التالية:-
أ- ارتفاع كلف الانتاج والنقل.

ب- محدودية الاراضي الزراعية للحصول على المواد الاولية المستخدمة في الكتلة الحيوية.

٦-٩-٣: المشاكل والمعوقات (Problems and Constrctions)

هناك عدت مشاكل تلازم تنفيذ برنامج الكتلة الحيوية (Decentralized) تشارك فيها مراكز حكومية وغير حكومية ومنظمات مدنية (Commitments) لها مقترحات مختلفة بذلك ويمكن حصر هذه المعوقات تحت أربع أصناف. وكما يلي:-

أ- المشاكل الفنية:- هذه المشاكل تعتمد على التقنيات الفنية المعتمدة مثل التصميم و طرق نقل التكنولوجيا ومناطق تواجد مصادر الكتلة الحيوية و تغييرها من مكان إلى آخر ويمكن إجمالها بما يلي:-

١. المشاكل الناتجة من التغيرات في مواصفات التصميم على المستوى المحلي وفق المتطلبات البيئية والقوانين السائدة في تلك المناطق.

٢. التغيرات البيئية المؤثرة في إنتاج الوقود الغازي نتيجة للنقص في السيطرة على درجات الحرارة وضعف تشييد المحطات.

٣. تجمع المياه في خطوط النقل والحاجة إلى التخلص منه في فترة مناسبة.

٤. عدم كفاءة التصميم المستعملة لإنتاج الوقود الغازي وعدم ملائمتها للظروف البيئية والطوبو جرافية.

ب. مشاكل اجتماعية اقتصادية (Socio - Economic Problems)

إن هذه المشكلة تؤثر على تقدم البرنامج بصورة بسيطة وكما يلي:-

١. ضعف في الشعور بالحاجة إلى محطات غازية في معظم المناطق الأمية.

٢. نقصان في الوعي نتيجة الأمية.

٣. نقصان في مصادر التمويل أو القدرة.

٦-٩-٤ : مشاكل انتاجية (Productions Problems)

ان مستقبل وتطور طاقة الكتلة الحيوية ومساهمتها في مصادر الطاقة يتوقف على:

- أ- التقدم في تكنولوجيا هذه الطاقة.
- ب- تخفيض كلفها.
- ج- الدعم المالي ويتم من خلال اهتمام القائم بتطوير طرق انتاج الوقود الحيواني من حيث:-
 ١. الاستمرار بالدراسات والبحوث الخاصة في تطوير كفاءة عمليات انتاج الايثانول (ethanol) من المواد غير الغذائية للكتلة الحيوية.
 ٢. وضع إستراتيجية لتقليل الكلف وكما يلي:-
 - أ- الكلف التقديرية لإنتاج الايثانول ١٠ دولار لكل ثمانون غالون .
 - ب- مشروع الكلف ١,٣ دولار لكل ثمانون غالون لغاية عام ٢٠١٢ وذلك من خلال تطور التكنولوجيا.
 - ج- هدف البحوث والدراسات هو الوصول إلى دولار واحد لكل ثمانون غالون والعمل على اعتماده كوقود للعجلات.
 - د- تهيئة الموارد المادية والبشرية وتركيز البحوث الجديدة على تطوير طرق انتاج الايثانول من المواد غير الغذائية حيث ان عنصر مفتاح الكتلة الحياتية هو السليلوز Cellulose الذي يعطي الخلايا النباتية قوة مكوناتها تشمل عمليات تحويل السليلوز Cellulose إلى سكر ومن ثم إلى ايثانول.

٦-١٠ : استخدامات طاقة الكتلة الحيوية (Biomass Utilization)

٦-١٠-١ : من ابرز استخدامات الطاقة الحيوية في المجالات الاتية وسائط النقل

(Transportation Fields in Energy Utilities Features)

في عام ٢٠٠٨م انجزت شركة طيران نيوزلندا اول اختبار لطائرة تجارية في العالم باستخدام وقود مصنع جزئيا من الجاتروفا. وقد تم اجراء اختبار الطيران خلال اثنتي عشر ساعة طيران حيث اقلعت الطائرة من مطار اوكلاند الدولي. وقد تم استخدام مزيد من الوقود الحيوي ووقود الجاتروفا بنسبة ٥٠ : ٥٠ وزودت بها طائرة بوينغ ٤٠٠ - ٧٤٧. وفي عام ٢٠٠٩م استخدمت خطوط

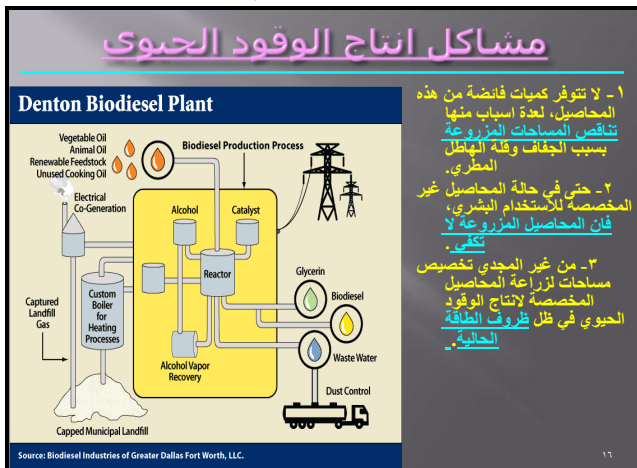
كوتنيتاك الجوية وقود حيوي لطيرانها التجاري مستخدمة في اولى رحلاتها طائرتين من نوع بوينغ ٧٣٧ - ٨٠٠ كان مزيج الوقود الحيوي المستخدم مشتق من الطحالب والجاتروفا.

٦-١٠-٢: توليد الطاقة الكهربائية (Generation of Electric Energy)

يمكن احراقها بصورة مباشرة لكي تعطي طاقة حرارية، تستخدم لتوليد بخار تحت ضغط معين ومن ثم توليد طاقة كهربائية كما موضح في الشكل رقم (٦-١٩) والذي يمثل محطة توليد الطاقة الكهربائية، ومن اهم انواع الوقود الشائع الايثانول والميثانول حيث تخلط الوقود وخاصة الميثانول بالكازولين المستعمل كوقود للسيارات.



شكل (٦-١٩): يمثل موقع نظامي لتجمع النفايات.



شكل (٦-٢٠): يمثل محطة كهربائية تعمل بالوقود الحيوي (الايثانول)

الفصل السابع

خلايا الوقود

Fuel Cells

١-٧ : المقدمة (Introduction)

تم اختراع خلايا الوقود في انجلترا في منتصف القرن التاسع عشر الميلادي على يد السير وليام روبرت جروف (William grove)، التي يمكن عن طريقها الحصول على الكهرباء من الهيدروجين أو الكحول دون أي عملية احتراق، الحصول على طاقة نظيفة وغير ملوثة للبيئة وبأقل الأسعار، إن الاتجاهات الثلاث التي يصبوها العلماء الوصول إليها في تجهيز الطاقة هي الكلفة الواظئة وعدم تلوث البيئة والخزن. طورت شركة (جنرال اليكتريك) خلايا تعمل على الطاقة الكهربائية اللازمة لإطلاق سفينتي الفضاء الشهيرتين (أبوللو) و (جيمين) بالإضافة إلى توفير مياه نقية صالحة للشرب، كانت الخلايا في تلك المركبتين كبيرة الحجم وباهظة التكلفة، لكنها أدت مهامها دون وقوع أي أخطاء، واستطاعت إن توفر تيارا كهربائيا وكذلك مصدرا للمياه النقية الصالحة للشرب، خلايا الوقود في حد ذاتها ليست سوى رقائق مسطحة تنتج كل واحدة منها فولت واحد (1volt)، وهذا يعني انه كلما زاد عدد الرقائق المستخدمة كلما زادت قوة الجهد الكهربائي. تحدد خلية الوقود درجة الاحتراق والعمليات اللاحقة الموجودة تقريبا في كل المخططات التصميمية لإنتاج الطاقة الكهربائية. من الممكن بواسطة خلية يمكن تجاوز عمليات التسخين والعمليات الميكانيكية المرتبطة بالعمليات الكهربائية. تتحول في خلية الوقود الطاقة الكيميائية مباشرة وبشكل كفوء إلى فولتية وتيار كهربائي مباشر والتجنب من الملوثات في درجة الحرارة العالية. توصف خلية الوقود أحيانا كبطارية أولية فيها وقود مخزون و تزود بالطاقة الكهربائية عند الحاجة. ان خلية الوقود هيدروجين وأوكسجين هي النوع الأكثر تقدما واستعمالا على نطاق واسع لهذه الخلايا.

٧-٢: خلية الوقود (Fuel Cell)

خلية الوقود هي عبارة عن جهاز يحول الطاقة الكيميائية في الوقود سواء كان هيدروجين (hydrogen)، غاز طبيعي (natural gas)، ميثانول (methanol)، غازولين (gasoline) هواء (air)، أكسجين (oxygen) الى كهرباء. من حيث المبدأ تعمل خلية الوقود كبطارية (Battery)، وتحتوي على قطب موجب وسالب ومادة متאיئة موصلة (conducting ion) تدعى الوسيط (electrolyte). تصنف خلايا الوقود حسب مادة الوسيط الذي تحتويه غالبا. تولد فيها الكهرباء بدون احتراق الوقود او المؤكسد oxidizer كما يحدث بالطرق التقليدية لتوليد الكهرباء. بنية خلية الوقود عادة مكونة من قطب وقود (fuel electrode) الانود (anode) وقطب التأكسد (oxidant electrode) الكاثود (cathode) مفصولين بغشاء تبادل بروتوني (ion- conducting membrane) يمر الأكسجين على احد الأقطاب ويمر الهيدروجين على القطب الآخر مولدين كهرباء وماء وحرارة. تدمج خلايا الوقود بين جزئيات الوقود والمؤكسد بدون حرق او توليد تلوث.

٧-٢-١: مكونات الخلية (Cell Components)

أ- الانود: Anode

هو القطب السالب لخلية الوقود وله عدة مهام، فهو يقود الالكترونات المحررة من جزئيات الهيدروجين لاستعمالها في تغذية دائرة كهربائية خارجية. كما انه يحتوي على مسالك وظيفتها تشتيت غاز الهيدروجين على سطح ال catalyst.

ب- الكاثود: Cathode

هو القطب الموجب لخلية الوقود، ويحتوي على مسالك لتوزيع الأكسجين على سطح. Catalyst ويقود الالكترونات بالاتجاه الخلفي من الدائرة الكهربائية الخارجية catalyst حيث يمكن أن تتوحد مع الاوكسجين وايونات الهيدروجين لتشكيل الماء.

ج- الالكتروليت: Electrolyte

هو غشاء تبادل البروتون، هذه المادة المعالجة بشكل خاص والشبيهة بالبلاستيك تقود فقط الايونات المشحونة ايجابيا وتعيق مرور الالكترونات.

د- المحفزات: Catalysts

وهي مؤلفة من مادة خاصة تسهل تفاعل الاوكسجين مع الهيدروجين. تصنع عادة من مسحوق البلاتينيوم الذي يكسو ورق الكربون او القماش بطبقة رقيقة جدا.

يوضع الجانب المطلي بالبلاتينيوم في جهة غشاء تبادل البروتون إي (Electrolyte)، ويقسم (catalyst) الهيدروجين إلى اثنين من ايونات الهيدروجين الموجبة (حيث تشغل محركا على سبيل المثال) وتعود إلى الكاتود. Cathode في هذه الأثناء ومن جهة كاتود خلية الوقود يتم ضخ غاز الأوكسجين (O_2) باتجاه catalyst حيث يشكل ذرتين من الأوكسجين (O_2)، وكل ذرة تحتوي على شحنة سالبة قوية، هذه الشحنة السالبة تجذب اثنين من ايونات الهيدروجين (H^+) عبر الغشاء (الذي يسمح بمرور الشحنات الموجبة فقط) حيث تتحد ايونات الهيدروجين مع ذرة الأوكسجين واثنين من الالكترونات من الدائرة الكهربائية الخارجية لتشكيل جزيئة الماء (H_2O).

٧-٢-٢: مبدأ عمل الخلية (Fundamentals of Electrochemistry)

أ- ينساب الوقود الهيدروجيني على صفيحة المصعد (الكاثود)، في الوقت الذي ينساب فيه الأوكسجين على الصفيحة المقابلة وهي المهبط (الانود).

ب- يسبب غشاء الفصل (catalyst)- والذي يوجد منه عدة أنواع منها ما يصنع من البلاتين- انشقاق جزيئة الهيدروجين إلى ذرتين تنشق كل منهما إلى ايون موجب، وإلكترون سالب.

ج- تسمح صفيحة المحلل (electrolyte) فقط بمرور الأيونات الموجبة عبرها في حين تمنع مرور الالكترونات، فتقوم هذه الاخيره بالحركة عبر دائرة وصل خارجية موصلة مع المهبط فتحرك الالكترونات نحو المهبط مولدة تيار كهربائي.

د- تتحد على المهبط الايونات الهيدروجينية الموجبة مع الكترونها السالبة ومع الأوكسجين ليتكون الماء الذي يتدفق خارج الخلية. أن النماذج البسيطة التي تصنع منها الخلية الهيدروجينية والمستخدمة في وسائل النقل تنتج حوالي ١,١٦ Volt فولت لذلك يتم وصل عدد من الخلايا لتوليد الطاقة الكهربائية المطلوبة. يبين الشكل (٧-١) خلية

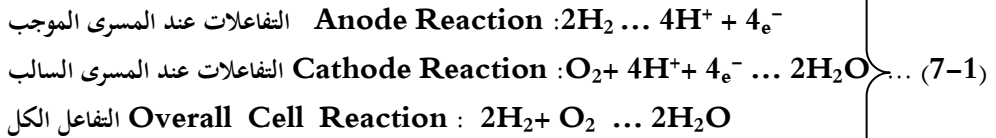
الفصل السابع : خلايا الوقود

هيدروجينية. يتنوع استخدام الخلية الهيدروجينية وتصميمها وإبعادها تبعاً للطاقة المطلوبة منها.

٧-٢-٣: وظيفة خلية الوقود (Cell Function)

تولد خلايا الوقود الكهرباء عن طريق تفاعل كهر وكيميائي بسيط بين مؤكسد (الأوكسجين من الهواء مثلاً) ووقود (الهيدروجين) يتفاعلان ليكونا الماء في خلية الوقود المثالية. لتوليد الكهرباء يمر الأوكسجين على القطب السالب (cathode) لخلية الوقود. ويمر الهيدروجين على القطب الموجب. وينتج الماء والحرارة من التفاعل الثانوي.

لا تحتوي خلية الوقود على أجزاء متحركة مما يجعلها مصدر هادئ وموثوق للطاقة. يفصل الوسيط (electrolyte) بين القطب الموجب والقطب السالب وهو مادة ناقلة للأيونات. عند القطب الموجب يتم فصل الهيدروجين عن إلكتروناته وتنتقل أيونات الهيدروجين من خلال الوسيط أما الإلكترونات فتتمر عبر دائرة كهربائية خارجية كتيار مستمر يمكن ان يغذي أجهزة كهربائية. في القطب السالب تندمج أيونات الهيدروجين مع الأوكسجين لتكون الماء. التفاعلات الجارية في الخلية موضحة كالآتي:-



٧-٢-٤: وقود الخلية (Fuel Cell)

يعتبر الهيدروجين هو الوقود الأساسي في خلايا الوقود. بعض الغازات مثل النيتروجين Nitrogen من الهواء له تأثير طفيف على أداء خلية الوقود. الغازات الأخرى مثل أول اوكسيد الكربون CO والميثان CH₄ لها تأثير مختلف على خلايا الوقود حسب نوع الخلية. مثلاً أول اوكسيد الكربون CO يعتبر ضار وملوث لخلايا الوقود ذات درجة الحرارة المنخفضة. نسيباً مثل خلية الوقود ذات غشاء التبادل البروتوني (PEMFC the proton Exchange Membrane Fuel Cell) من جهة أخرى أول اوكسيد الكربون يمكن ان

يستخدم كوقود مباشر لخلايا الوقود ذات درجة الحرارة العالية مثل خلية الوقود ذات الوسيط الصلب (the solid oxide fuel cell SOFC) تستقبل خلية الوقود وفقا لوسطها ومحفزها الخاصة غازات معينة لتكون وقود لها او ملوثات تؤثر سلبا على اداء الخلية، لذا فان نظام تغذية الغاز لا بد ان يكون مناسباً وخص لنوع خلية الوقود.

٧-٢-٥: تشكيل الوقود (Fuel Synthesis)

تعمل خلايا الوقود ذات درجة الحرارة المنخفضة (F ٢٠٠) على غاز الهيدروجين كوقود في الوقت الحاضر أذ لا يوجد مصدر متوفر وسهل للحصول على الهيدروجين بكميات كبيرة وبوقت قصير وأمان عالي. هناك طريقتين لحل هذه المشكلة، على المدى القصير يمكن استخدام الوقود التقليدي لتوليد الهيدروجين المطلوب. تحويل الوقود التقليدي لهيدروجين يدعى بإعادة تشكيل الوقود (fuel reforming)، إعادة تشكيل البخار هو مثال حيث يخلط البخار مع الوقود التقليدي إعادة التشكيل للهيدروجين من الغاز الطبيعي المكون غالبا من الميثان (CH₄) معطاة بالمعادلة التالية:



يكون أول أكسيد الكربون في خلايا الوقود ذات درجة الحرارة العالية (MCFC and SOFC) هو الوقود المستخدم، من جهة اخرى يمكن حسب التفاعل التالي، ان يتفاعل غاز اول اكسيد الكربون مع الماء مكونا الهيدروجين ليكون هو الوقود الحقيقي لخلية الوقود.



يمكن ان يحدث تشكيل الوقود بكميات وموازن مختلفة اي من الممكن ان يتم تشكيل الوقود بكميات هائلة، نتيجة هذا التفاعل يمكن ان يتشكل الهيدروجين اما بحالته الغازية النقية او كمائع ثم يوزع على المستهلكين. يمكن ايضا ان يتم انتاج وتشكيل الوقود بكميات متوسطة كما في محطات الغازولين (gasoline station) في هذه الحالة يتم تنقية الديزل والغازولين وتسلم للبنى التحتية للمحطة، ثم تتم معالجة الوقود الاحفوري للحصول على خليط اساسه غاز الهيدروجين لكنه قد يحوي بعض الجزئيات الاخرى مثل ثاني اوكسيد الكربون CO₂ والنيتروجين N₂. تعتمد درجة نقاء غاز الهيدروجين على التطوير المستمر لتقنيات فصل الهيدروجين عن

الغازات الاخرى بطريقة اقتصادية. يتم تسليم غاز الهيدروجين للمستهلك في هذه الحالة غالبا كغاز مضغوط. من مميزات عملية اعادة تشكيل الوقود انه يمكن ان تتم بكميات صغيرة حيث يتم تغذية خلية وقود بشكل مباشر من الوقود المتولد حسب حاجاتها بدون الحاجة الى نظام تخزين كما هي الحال في المركبات التي تعمل على خلايا الوقود، حيث انه يمكن ان يحمل السائق معه خزان غازولين (بنزين) وجهاز تحليل صغير على متن مركبته بحيث يمكنه ان يحصل على الهيدروجين الكافي لتشغيل خلية الوقود عن طريق معالجة الغازولين وتغذية الخلية مباشرة. لكن لا بد من الاخذ بعين الاعتبار انه من غير العلمي او الاقتصادي العمل على تنقية غاز الهيدروجين الناتج من الغازات الاخرى التي قد تكون مخلوطة معه. مستقبلا، يمكن التحول لتوليد غاز الهيدروجين من مصادر متجددة حصرا، كطاقة الشمس او طاقة الرياح. حيث تستخدم الطاقة الناتجة من مزرعة ريحية مثلا لتحليل الماء الى هيدروجين وواكسجين نقي ويمكن نقل الغاز الناتج الى المستهلك (End – users) عبر انابيب وبنى تحتية خاصة. لازالت طرق انتاج غاز الهيدروجين عن طريق المصادر المتجددة قيد البحث والدراسة ويتم تطويرها يوميا في العديد من مراكز البحث العلمي لان كفاءة هذه الطريقة الاقتصادية عالية وامكانية الانتاج واعدة.

٣-٧: استخدامات خلايا الوقود (Fuel Cell utilization)

استخدمت خلايا الوقود الهيدروجيني لأول مرة في تشغيل مكوك الفضاء و ذلك لتزويده بالقدرة الكهربائية خاصة خلال مرحلة وصوله إلى مساره المحدد في الفضاء، ففي هذه الفترة يصعب تزويده بالكهرباء الناتجة عن الطاقة الشمسية أو بأي محطة صغيرة أخرى على متنه لصعوبة التنفيذ، فوجد أن خلايا الهيدروجين هي الحل الأمثل. انتقلت بعدها الفكرة لتطبيق على وسائط النقل، وجدت أول انطلاقة واسعة لها في الدول الاسكندنافية و بريطانيا و اليابان و في مرحلة لاحقة الولايات المتحدة. ثم بدأ التفكير بتعميم التجربة على القطاع الصناعي الذي يحتاج طاقات كبيرة، فبدأت الدراسات للأنواع الموجودة من الخلايا و تطوير هذه الأنواع لزيادة قدرتها، وتطوير التقنيات المتصلة بذلك للوصول إلى القدرة المطلوبة.

(Hydrogen Fuel Cells Types and Comparison between Them)

أ. خلايا الوقود الحامضية الفوسفورية (PAFC):

وهي النموذج الأول الذي استعمله مخترع التقنية **William Grove** و درجة حرارة التشغيل فيها كانت تحت 200°C درجة مئوية و كانت الكفاءة العامة لنظام التوليد حوالي 80% و تعددت النماذج من هذا النوع لتتراوح من **KW** إلى عدد من **MW**، و من مساوئها الحاجة إلى البلاتين الغالي الثمن كمحفز بسبب انخفاض درجة حرارة التشغيل.

ب. خلية وقود الكربونات المائية (MCFC):

يصنع فيها غشاء التحلل (الفصل) من مزيج كربوني قلوي منحل موضوع في قالب مثقب مصنوع من مزيج من الألمنيوم والليثيوم، يتفاعل الأوكسجين مع ثاني أوكسيد الكربون و يطلقان الكربونات و أيونات الكربون الموجبة ثم تتفاعل هذه الأخيرة مع الهيدروجين لتشكيل بخار الماء و ثاني أوكسيد الكربون و تطلق الكترولونات في دارة وصل خارجية، و تعمل تحت درجة حرارة 650°C درجة مئوية، و هذا النوع لا يحتاج إلى أغشية فصل غالية و مردود عملية التوليد حوالي 70% و ذلك في مجال توليد من $0.25 - 1 \text{ MW}$ ، و المشاكل التي تواجهها هي التآكل لمعادن الخلية بفعل الكربونات القلوية السائلة، بالإضافة إلى التزويد الدائم بثاني أوكسيد الكربون.

ج. خلية وقود الأوكسيد الصلبة (SOFC):

وغشاء الفصل فيها مصنوع من السيراميك مع يوتيريا الزركونيوم و تعمل تحت درجة حرارة 1000°C ، مردودها يتراوح من $50 - 80\%$ ، و هي تحل مشاكل النوع السابق و لكنها لا زالت في مرحلة التطوير، وهي تحتاج إلى دقة عالية في اختيار المواد و توافقها.

د. خلية الوقود ذات غشاء استبدال البروتونات (PEMFC):

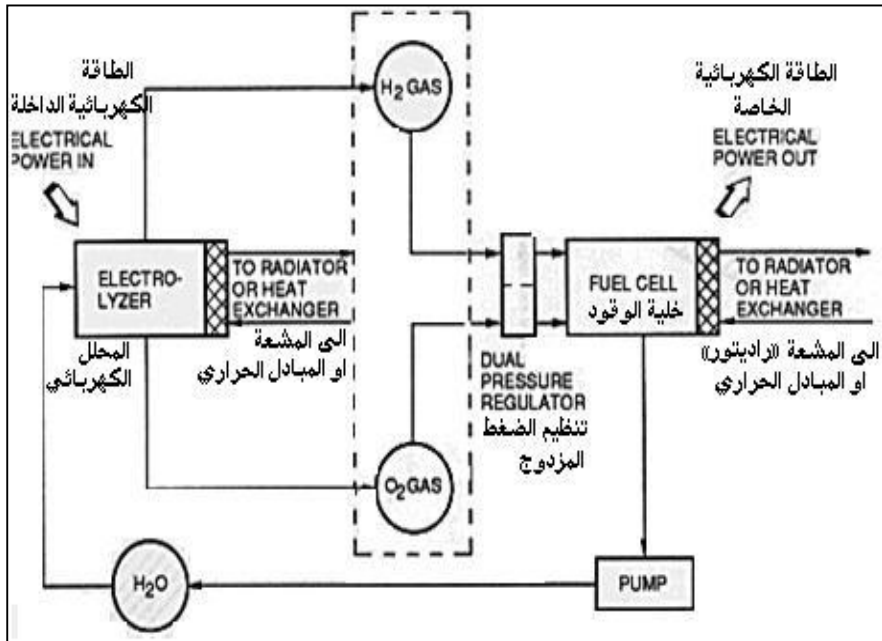
يحصر فيها غشاء الفصل البوليميري بين قطبين من البلاتين المثقب، و ليس هناك أي خطر من نشوء تلوث عنها نظراً للطبيعة الصلبة لها، يتم التفاعل فيها تحت درجة حرارة 100°C ، و هي جيدة لمجالات الاستخدام المحدودة (الصغيرة) كما في قطاع النقل.

هـ. الخلايا القلوية (AFC):

وهي الخلية التي استخدمت في سفينة الفضاء APOLO-11 ومن مشاكلها أنها تحتاج إلى الأوكسجين النقي

٧-٣-٢: مضخات الهيدروجين (Hydrogen Pumps)

لا تختلف مضخات الهيدروجين في تصميمها ومبادئ عملها عن مضخات السوائل الأخرى عموماً و لكن يتم التركيز في صناعتها على اختيار المعدن الذي سيتعرض إلى ظروف تشغيل تصل فيها درجة الحرارة إلى - 250 م°، أما أكثر أنواع مضخات الهيدروجين استخداماً فهي المضخات النابذية و من اجل التدفقات الكبيرة تستخدم المضخات التوربينية و يظهر في الشكل (٧-١) بعض أنواع المضخات المستخدمة، و تختلف درجة التعقيد و الدقة المطلوبة في تصميم و صناعة مضخات الهيدروجين تبعاً لمجال العمل الذي ستقوم به، و لعل أكثر مضخات الهيدروجين تعقيداً و كلفةً على الإطلاق تلك المستخدمة في محركات الصواريخ العاملة على الوقود الهيدروجيني أو في محطات العنفات الغازية حيث يتطلب الأمر تدفقات كبيرة لوقود الاحتراق.



شكل (٧-١): تمثل اجزاء صلبة وقود.

٧-٣-٣: إنتاج الكهرباء بالهيدروجين (Electric Generation by Hydrogen)

بالعودة إلى توليد الطاقة الكهربائية بالخلايا الهيدروجينية فإن مشكلة التكاليف الاقتصادية الكبيرة كانت و مازالت أحد أهم عوامل الرفض لاستخدام هذه التقنية نظراً للتكلفة العالية. و لكن لا تزال الشركات الصانعة تسعى بجهد لتخفيض تكاليف المشاريع سواء من حيث مرحلة البناء أو الاستثمار أو الصيانة. حتى الآن لا زالت الكلفة مرتفعة نسبياً مقارنة بالكلفة اللازمة لتوليد الكهرباء من المصادر الأخرى و لكن على الرغم من ذلك فقد شهدت تحسناً كبيراً و يمكن أن نعرف التكلفة الحالية من خلال مايلي: في أحد المشاريع المنجزة التي تنتج بلغت التكلفة الإجمالية لإنتاج حوالي ٦,٥٧٠,٠٠٠ KWh القيم التالية: كلفة 1 KW-h (cent) الغاية الكلفة الكلية \$ ٢,٧٣ من أجل أعمال الصيانة ١٧٩١٠٧ ٣,٤٢ سعر وقود ٢٢٤٦٩٤ و بالتالي كلفة 1 KW-h هي حوالي ٦,١٥ cent و نضيف إلى هذا المبلغ كلفة الخلايا نفسها و التي عمرها حوالي 7.2 million KW-h و بالتالي نضيف ٣,٥ cent و بالتالي التكلفة الإجمالية هي حوالي ٩,٦٥ cent لكل KW-h و هو ما يعادل حوالي ٣٠ سنتاً. بالتأكيد التكلفة مرتفعة و لكن مع أخذ المنحني الذي يدرس انخفاض تكاليف الإنتاج مع مرور الزمن نجد أن هذه القيمة ستصل إلى أسعار اقتصادية مرتفعة جداً و ذلك إذا استمر العمل بنفس الوتيرة في عمليات التطوير التقنية.

٧-٤: انواع خلايا الوقود (Fuel cell Type)

٧-٤-١: خلايا الوقود المتجددة (Regenerative Fuel)

خلايا الوقود المتجددة (RFC) هي نظام يعمل كدائرة مغلقة ويمكن أن تكون كعنصر اقتصادي متجدد لتوليد الهيدروجين. خلايا الوقود التي تولد كهرباء، حرارة وماء مقطر من الهيدروجين والأكسجين ممكن أن تستخدم لتوليد الطاقة للمصانع وسائل النقل والمنزل، كما يمكن توليد الهيدروجين من عملية التحليل الكهربائي للماء، عبر تحليله للهيدروجين والأكسجين باستخدام طاقة متجددة مثل طاقة الرياح أو الشمس أو حرارة جوف الأرض.

٧-٤-٢: خلايا الميثانول Direct Methanol Fuel Cells المباشرة (DMFC)

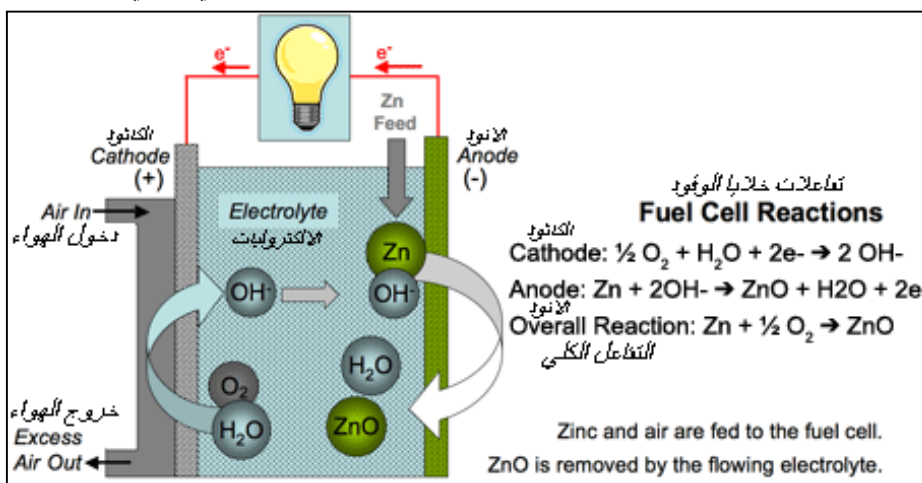
ان خلايا الميثانول (DMFC) لازالت بمراحل مبكرة من التطور، لكنها مرشحة للاستخدام بتغذية الهواتف النقالة والكمبيوترات المحمولة خلال السنوات المقبلة. ان هذه الخلايا

الفصل السابع : خلايا الوقود

مشابهة لخلايا الوقود ذات غشاء التبادل الالكتروني بأن لها وسيط بوليميري وحاملات الشحنة هي ايونات الهيدروجين (البروتونات)، لكن الميثانول السائل (CH_3OH) يؤكسد بوجود الماء في القطب الموجب ويولد ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وايونات الهيدروجين والالكترونات التي تسري بالدارة الخارجية مكونة تيار كهربائي. ايونات الهيدروجين تمر من خلال الوسيط وتتفاعل مع الأكسجين من الجو ومع الالكترون.

٧-٤-٣: خلايا الوقود هواء- زنك (Zinc-Air Fuel Cells)

خلايا الوقود ZAFc هذه تشترك بخصائصها مع عدد من خلايا الوقود الأخرى بالإضافة لبعض خصائص البطاريات. الوسيط في خلايا هواء- زنك هو خزف صلب ويكون فيه ايون الهيدروكسيل OH^- هو حامل الشحنة. للوصول إلى المردود الكهربائي العالي لخلية.



تغذى خلية الوقود بالزنك والهواء يزال اوكسيد الزنك من خلال الالكتروليت. بالوقود الهيدروكربوني hydrocarbon fuels والناقلية العالية للوسيط لا بد أن تعمل هذه الخلايا بدرجة حرارة تشغيل 700°C . القطب الموجب مكون من الزنك حيث يزود بالهيدروجين أو بالهيدروكربون. والقطب السالب منفصل عن المنبع الهوائي بواسطة قطب ناشر للغاز (gas diffusion electrode (GDE) وهو غشاء نافذ يسمح بمرور الأكسجين من الجو عبره. في القطب السالب يتفاعل الأكسجين مع الهيدروجين ليشكل ماء وايونات الهيدروكسيل hydroxyl ions. كما في المعادلة



...(7-4)

٥-٧: أثر الضغط والحرارة على أداء خلايا الوقود

(The effect of pressure and temperature on fuel cell performance)

تتأثر خلايا الوقود عامة بشكل كبير بظروف التشغيل المحيطة مثل الضغط **pressure** ودرجة الحرارة **temperature** ونسبة الرطوبة في الجو **relative humidity** حتى نستطيع الوصول الى حالة التشغيل الأفضل والأقرب للمثالية لا بد ان ندرس تأثير هذه العوامل على أداء الخلية الوقودية. علماً أن اثر هذه العوامل لازال قيد الدراسة والمناقشه ويتم حالياً العديد من هذه التجارب للوصول إلى الأداء الأفضل.

٧-٥-١: خواص خلايا الوقود (Characteristics of Fuel Cells)

الاعتبارات الأساسية لرسم منحنيات خلايا الوقود:

الطريقة الأكثر شيوعاً لقياس محددات خلايا الوقود هو رسم منحنى الاستقطاب **polarization curve** لها، وهو عبارة عن منحنى بين فرق الجهد و كثافة التيار. حيث يتم الاعتماد غالباً على منحنى (تيار- توتر) لمقارنة كفاءة خلايا الوقود مع غيرها من الأنظمة. يظهر منحنى الاستقطاب لخلايا الوقود العلاقة بين التوتر والتيار بالاعتماد على ظروف التشغيل مثل درجة الحرارة، الرطوبة، الحمل المطبق ونسبة تدفق الوقود والمؤكسد. الشكل التالي يمثل منحنى الاستقطاب لخلية وقود ذات غشاء التبادل البروتوني.

٧-٦: متطلبات الأمان (Safety requirement)

يعتبر الهيدروجين عنصراً خطيراً جداً بسبب الحادث الشهير الذي حدث في العام ١٩٣٧ في ولاية نيوجرسي الأمريكية و هو احتراق المنطاد **Hindenburg** والذي كان يعتمد على الهيدروجين كعنصر ملء نظراً لخفة وزنه و أدى الحادث إلى مقتل ٣٥ شخصاً في مشهد حريق هائل. ولكن أثبتت التحقيقات لاحقاً أن الهيدروجين لم يكن المسبب الرئيس للوفاة بل إن ٢٧ شخصاً من القتلى مات بسبب القفز من المنطاد، و ٨ بسبب الدخان و الباقون و عددهم ٦٢ شخص بقوا في المنطاد و نجوا، علماً أن الهيدروجين حينها لم يكن المسبب في الحادث بل كان طلاء المنطاد الذي اشتعل. و تعتبر تعليمات الأمان التي تعطيها وكالة **NASA** و هي أكثر هيئة تستخدم الهيدروجين في العالم أساساً في الوقاية من أخطاره:

١. إن الهيدروجين يشتعل بلهب غير مرئي ذو درجة حرارة عالية لذلك يجب الحذر الشديد من أن يمس الجلد، و أبسط طرق الكشف عنه عند الشك بوجوده هو استخدام مكنتسة من القش ذات ذراع طويلة لتفحص بها مكان التسرب.

٢. إن الهيدروجين المسال و بسبب الحرارة المنخفضة جداً له يؤدي إلى حدوث ما يسمى بالحرق البارد و هو أشد تأثيراً من الحرق المعروف و يؤدي إلى حدوث تقرحات تتضخم بشكل كبير و سريع، و علاجها سهل طبيًا و لكن شريطة أن لا يمسها المصاب بتاتاً.

٣. إن الهيدروجين من أكثر العناصر نفوذاً على الإطلاق لذلك يجب ارتدا الملابس الواقية و القفازات واقيات الوجه عند عمليات التعبئة و التفريغ أو عند صيانة الشبكة و الصمامات و جميع قنوات مرور الهيدروجين.

٤. تنشق الهيدروجين خطير و يسبب حروقاً في الجهاز التنفسي. و بالتالي نجد ضرورة الحذر عند التعامل مع الهيدروجين مع العلم أن الالتزام التام بتعليمات الأمان يضمن بشكل كامل سلامة الشخص فالهيدروجين عنصر أمين بمدى إدراكنا لكيفية التعامل معه.

٧-٧: مقارنة بين خلايا الوقود والمصادر التقليدية للطاقة

(The fuel cells and other normal resources)

في الطرق التقليدية لتوليد الكهرباء يتم حرق الوقود والهواء ليولدا غازات ذات درجة حرارة عالية، ففي حال محطة طاقة حرارية تستخدم الوقود الاحفوري، فالحرارة الناتجة من الاحتراق تؤدي الى تبخر الماء تحت ضغط عالي من خلال تورباين (turbine) مما يؤدي الى تدوير مولد كهربائي لانتاج الطاقة الكهربائية. في خلية الوقود تحدث نفس التفاعلات الكيميائية الاساسية لكنها تولد الكهرباء كعنصر كهروكيميائي وبالتالي لاتدخل مرحلة وجود غاز بدرجة حرارة عالية كما هو الحال في الحرق الطبيعي، هذا التحويل المباشر للطاقة الكيميائية الى طاقة كهربائية اكثر كفاءة ولا تلوث ملحوظ مقارنة مع طرق التوليد التي تعتمد على الحرق التقليدي.

٧-٨: مشاكل ومزايا خلايا الوقود (Features and troubles of fuel cells)

٧-٨-١: المشاكل (Troubles)

أ- خزن ونقل غاز الهيدروجين:-

ان خلايا الوقود تستخدم الاوكسجين والهيدروجين لانتاج الكهرباء. وتوفر هذين الغازين يصبح لدينا مصدر مستمر للطاقة نحصل عليه من الهواء حيث يتم سحب الهواء الى الكاثود لتوفير الاكسجين مباشرة ولكن المشكلة تكمن في غاز الهيدروجين الذي يصعب الاحتفاظ به ولا توجد محطات توزيع لغاز الهيدروجين فهناك مشكلة في تخزينه وتوزيعه. وقد تم التغلب على هذه المشكلة باستخدام طريقة تحويل المواد الهيدروكربونية او الكحول الى هيدروجين بواسطة وسائل تسمى (reformers) ولكن هذه ايضا لها مشكلة في توليد طاقة حرارية تنتج عن عملية التحويل.

ب- تلوث خلية الوقود:-

خلايا الوقود عرضة لما يسمى بتلوث خلية الوقود، أي أن خلية الوقود قد تتأثر سلبا بالعديد من المواد والجزيئات المختلفة بصورة متفاوتة حسب نوع الخلية ونوع المادة الدخيلة عليها. قد تلوث خلايا الوقود بسبب عملها لفترات طويلة ويقل أداءها، أو بسبب درجة حرارة العمل الغير نظامية، أو بسبب المحفز أو أي من العوامل الأخرى. الملوث السيئ لخلايا الوقود هو مركبات الكبريت مثل كبريتات الهيدروجين (hydrogen sulfide (H₂S) وكربونات الكبريت (carbonyl sulfide (CS). مركبات الكبريت موجودة في الوقود التقليدي بشكل طبيعي ويبقى كميات منها بعد معالجة الوقود المستخرج ويجب ان تزال بالكامل قبل دخول خلية الوقود.

٧-٨-٢: المزايا (Features)

تتميز خلايا الوقود بالمزايا الآتية:-

- أ- ينتج الهيدروجين من الماء ويعود إليه مرة أخرى بالتأكسد فلا يوجد اي مظهر من مظاهر التلوث أو أية عوادم جانبية ضارة.
- ب- تكنولوجيا الهيدروجين غير خطيرة ولا تحتوي على مواد قابلة للانفجار أو مواد حامضية.
- ج- تتحول الطاقة الكيميائية إلى كهربائية بصورة مباشرة دون أي ضياعات في الطاقة.
- د- لا تسبب أي ضوضاء ويمكن التحكم بالطاقة الكهربائية وفق الحاجة.

الفصل الثامن

طاقة الحرارة الجوفية

Geothermal Energy

٨-١ : المقدمة (Introduction)

تعتبر طاقة الحرارة الجوفية من مصادر الطاقة المتجددة التي استخدمت منذ فترة طويلة باستثمار مياه الينابيع الحارة. حيث يرجع تاريخ استثمارها الى أكثر من ١٠٠٠ سنة عندما استخدم الهنود الحمر الينابيع الساخنة لطهي الطعام. لا تتوفر طاقة الحرارة الجوفية بصورة مباشرة في الطبيعة الا في ما يصل الارض من حرارة الشمس والحرارة الجوفية للأرض. وهذا ما يجعل الحرارة الجوفية سهلة الاستغلال فهي طاقة مستدامة وواسعة الانتشار. يقدر احتياطي طاقة الحرارة الجوفية في حزام عمقه ٢٠٠٠ م تحت سطح الارض. يعادل ما ينتجة ٢٥٠ مليار طن من طاقة الفحم. هذه الطاقة المتجددة نظريا يمكن ان تكفي لتغطية حاجة العالم من الطاقة لمدة ١٠٠٠٠ سنة قادمة الا ان تحويلها الى طاقة كهربائية هي عملية باهظة التكاليف بسبب عمليات الحفر الى اعماق سحيقة والحاجة الى انابيب كثيرة باستخراج الماء الساخن بكميات وفيرة وذلك رغم ان المادة الاولية للطاقة مجانية وهي متوفرة بكثرة. لكن الحصول عليها صعب. ان الطاقة الحرارية الجوفية (Geothermal Power) هي مصدر طاقة بديل نظيف ومتجدد وهي طاقة حرارية منتفعة ذات منشأ طبيعي مخزونة في باطن الارض بصهاريج. حيث يقدر ان اكثر من ٩٩% من كتلة الكرة الجوفية عبارة عن صخور تتجاوز حرارتها ١٠٠٠ درجة مئوية. وترتفع درجة الحرارة بزيادة العمق في جوف الارض بمعدل ٢٧ درجة مئوية في عمق (١ كم) أو ٥٤ درجة مئوية على عمق (٢ كم). ويستفاد من هذه الطاقة الحرارية في توليد الكهرباء. ويتطلب ذلك حفر انابيب كثيرة الى اعماق سحيقة قد تصل الى نحو (٥ كم). وتستخدم ايضا المياه الساخنة المستخرجة

من باطن الأرض عندما تكون الحرارة قريبة من سطح الأرض وتوجد على عمق (١٥٠ م) في مناطق معينة على صورة ينابيع حارة تصل إلى سطح الأرض .

٢-٨ : مصادر الحرارة الجوفية (Geothermal Resources)

تنتشر الحرارة الباطنية للأرض من الداخل إلى سطح الأرض عن طريق الحمل الحراري بمعدل ٤٤،٢ تيرا وات. ويعتبر النشاط الإشعاعي لقلب الأرض أهم مصادرها التي تصل إلى معدل ٣٠ تيرا وات وكمية الطاقة المخزونة في الأرض أثناء تكون الكرة الأرضية من الغبار الكوني تحت فعل الجاذبية منذ نحو ٤،٥ مليار سنة . ويقدر معدل الطاقة الحرارية الجيولوجية بنحو ضعف كل ما يحتاجه الإنسان الحديث من الطاقة من المصادر المختلفة. وعلاوة على تلك الطاقة الآتية من الأعماق الجيولوجية للأرض فإن سطح الأرض يستقبل طاقة الشمس ويخزنها في الطبقة السطحية. ويقدر سمكها ١٠ متر خلال أشهر الصيف ويطلقها خلال أشهر الشتاء. وتبدأ درجة الحرارة تحت تلك الطبقة السطحية في الارتفاع بمعدل ٢٧ درجة مئوية لكل ألف متر ويقدر الفيض الحراري أو المجال الحراري بنحو ٠،١ مليون وات لكل كيلو متر مربع وتزداد تلك القيم عند تقاطع الصفائح التكتونية حيث تكون القشرة الأرضية رقيقة نسبياً. وقد تزداد درجة الحرارة بفعل حركة السوائل الساخنة مثل الصهاريح أو الينابيع الحارة أو تجمعاتها. وتستطيع مضخات المياه الجوفية الحرارية إن تستخرج حرارة للتدفئة من أعماق قليلة نسبياً ١٥٠ متر أما المشروعات الصناعية فهي تتطلب الحفر على أعماق سحيقة تبلغ عدة كيلو متر تحت الأرض وتعتبر كفاءة استغلال الطاقة الحرارية الباطنية في توليد الطاقة الكهربائية معتمدة على درجة الحرارة ووجود الينابيع الحارة التي تكون كلفة استغلالها زهيدة وإذا لم توجد الينابيع الحارة فيمكن الحفر بالأنابيب بحيث يضخ الماء من الأعلى في أنابيب فيكتسب الماء الحرارة من الصخور والطبقات الأرضية الساخنة وتسمى تلك الطريقة المتبعة في بعض المناطق الأوربية الطاقة الحرارية للصخور الجيولوجية الساخنة (hot dry rock geothermal energy) أو تسمى في أمريكا

الفصل الثامن : طاقة الحرارة الجوفية

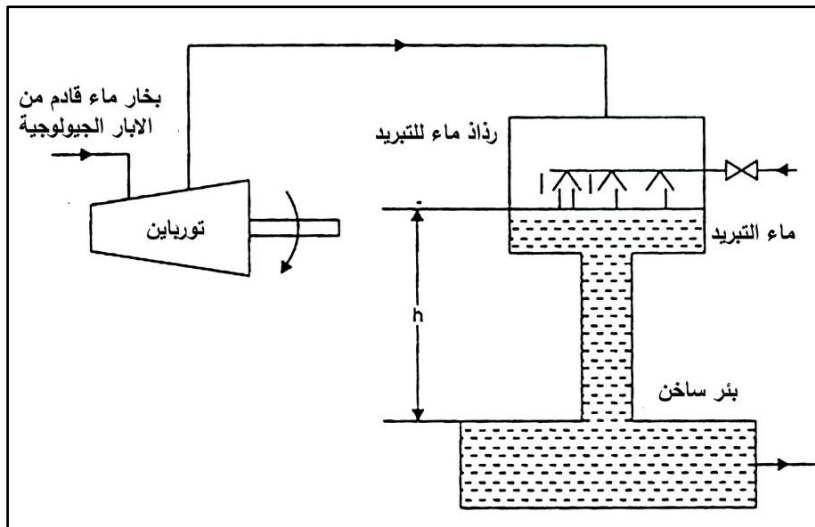
الشمالية أنظمة حرارة الطبقات الجيولوجية المحفزة. وتتيح فرص استغلال تلك الطرق استفادة وفيرة عن مجرد استغلال الينابيع الحارة الطبيعية.

٣-٨: استخدام الطاقة الحرارية الجوفية في توليد الكهرباء

(Use of Geothermal Energy in Electric Generation)

١-٣-٨: محطات الحرارة الجوفية (Geothermal Stations)

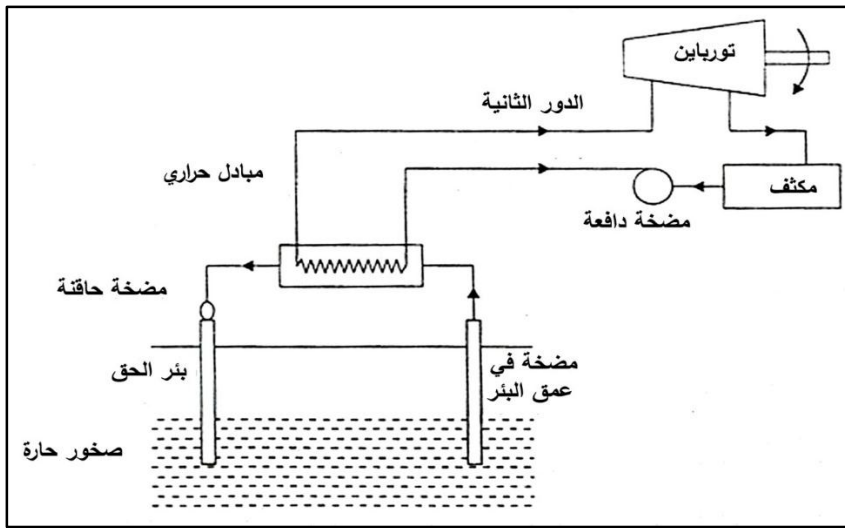
تستخدم الطاقة الحرارية بتحويلها إلى طاقة كهربائية بواسطة محطات توليد الكهرباء كما موضحة في الشكل (١-٨). والطاقة الحرارية الجوفية (Geothermal Power) هي مصدر طاقة بديل نظيف ومتجدد وهي طاقة حرارية مرتفعة ذات منشأ طبيعي مخزونة في باطن الأرض. إن ٩٩% من كتلة الكرة الأرضية عبارة عن صخور تتجاوز حرارتها ١٠٠٠ درجة مئوية ويستفاد من هذه الطاقة الحرارية في توليد الكهرباء. هذه الطاقة المتجددة يمكن ان تكفي لتغطية حاجة العالم من الطاقة لمدة ١٠٠٠٠٠٠ سنة إلا إن تحويلها إلى طاقة كهربائية عملية باهظة التكاليف رغم إن المادة الأولية مجانية ومتوفرة بكثرة ولكن يصعب الحصول عليها. هناك ثلاث أنواع من محطات توليد الكهرباء باستخدام الحرارة الجوفية:-



شكل (١-٨): يبين آلية توليد الكهرباء من الحرارة الجوفية.

٢-٣-٨ : محطات البخار الجاف (Dry Steam Stations)

هذه الطريقة هي أقدم الطرق وأكثرها انتشاراً، وهي نفس الطريقة التي استخدمت في إيطاليا سنة ١٩٠٤م. تستخدم هذه المحطات الماء الموجود بشكل طبيعي في الطبقات الأرضية العميقة والموجودة تحت تأثير ضغط وحرارة عاليين، فيتم استخراجها بواسطة حفر أبار عميقة فيخرج على شكل بخار ماء بسبب حرارته العالية وفرق الضغط. يمر هذا البخار في أنابيب يسלט على توربين يقوم بتدوير المولدات الكهربائية التي تنتج الطاقة الكهربائية. ثم يضخ الماء المتكاثف إلى الأرض عبر بئر آخر يسمى بئر الحقن.

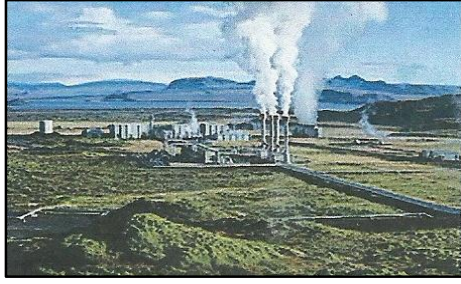


شكل (٢-٨): يبين مخطط لمحطة طاقة حرارة جوفية.

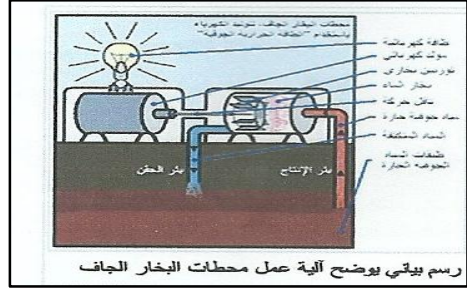
٣-٣-٨ : محطات التبخير (Evaporation Stations)

تستخدم هذه المحطات السوائل الموجودة بضغط عالي تحت الأرض حيث يتم تركيزها في وعاء ذي ثقب صغير يؤدي إلى حوض آخر ذي ضغط معتدل، فعند حركة السائل من الخزان الأول إلى الثاني عبر الثقب يتبخر بسبب السرعة وفرق الضغط العالي. يحرك البخار التوربين وبدوره يشغل المولدات الكهربائية التي تنتج الكهرباء كما موضحة في الشكل (٣-٨). يضخ الماء المتكاثف إلى الأرض عبر بئر الحقن.

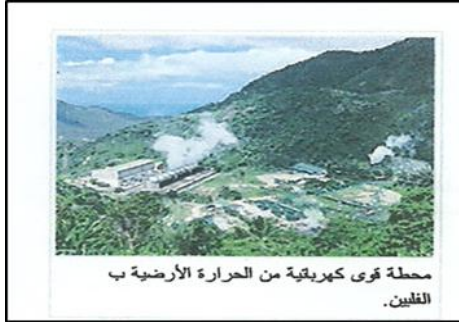
الفصل الثامن : طاقة الحرارة الجوفية



ب

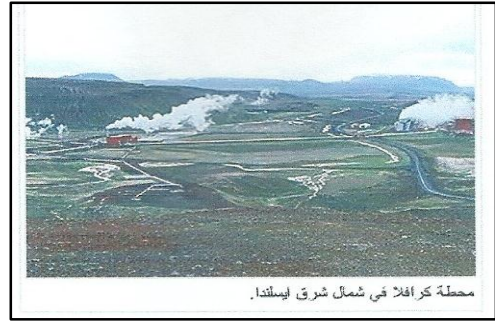


أ



محطة قوى كهربائية من الحرارة الأرضية ب
الفلبين.

د



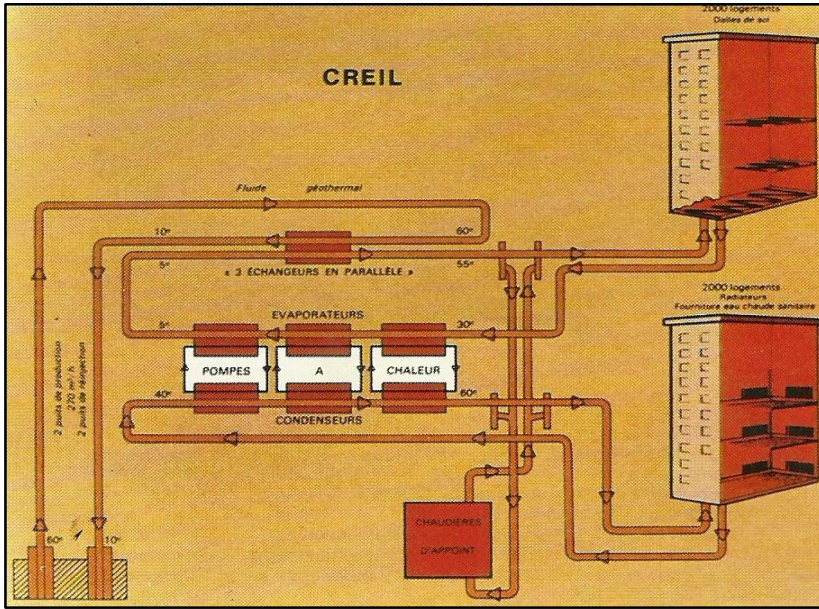
محطة كرافلا في شمال شرق آيسلندا.

ج

شكل (٣-٨) يبين محطة بخارية (أ) مخطط لأجزاء المحطة، (ب) محطة تنتج طاقة كهربائية.

٣-٨-٤ : محطات الدائرة المزدوجة (Double Cycle station)

تستخدم هذه المحطات السوائل الموجودة تحت الأرض ذات درجة غليان مرتفعة (حوالي ٢٠٠ م) في أنبوب آخر يمر بمحاذاة الأنبوب الساخن. يتبخر الماء الذي تم تسخينه بسبب درجة الحرارة المرتفعة للسائل في الأنبوب الآخر. يحرك البخار توربين المولد الكهربائي ويتكثف فيعود مجدداً إلى محاذاة الأنبوب الساخن، ويتحرك بهذه الطريقة في دوران مستمر. يضخ الماء المستخرج مجدداً إلى الأرض عبر بئر الحقن. كما في الشكل (٤-٨).



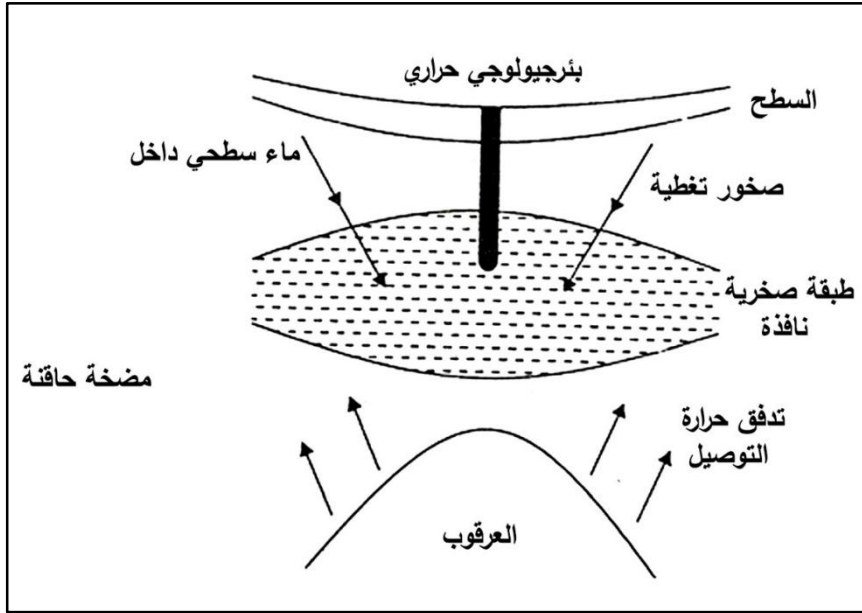
شكل (٨-٤): يبين مخطط لمحطة طاقة جوفية.

٨ - ٤ : التدفئة والتبريد (Heating and Cooling)

لا يلزم لاستغلال الطاقة الحرارية الجوفية في التدفئة والتكييف درجات حرارة عالية وبالتالي فهي تستخدم آباراً متوسطة العمق كما موضح في الشكل (٨-٥) و يسهل جريانها وعلى سبيل المثال فقد بدأت شركة ايكيا السويدية الشهيرة بتدفئة محلاتها الواسعة في الشتاء بالماء الساخن المستخرج من باطن الأرض على عمق ١٥٠ متر. كما تستغل تلك الحرارة أيضا بالصيف لتشغيل أجهزة تكييف الهواء. وتعمل ايكيا بالتعاون مع المعمل الوطني لاستغلال الطاقة المتجددة وتقدر مساحتها بنحو ٣٩,٠٠٠ متر مربع والموجودة في مدينة دنفر وكولورادو. وهناك سوف تقوم بحفر ١٣٠ بئر يصل عمق كل منها إلى ١٥٠ متر وذلك في محيط مواقف السيارات حول الصالة. وتمد أنابيب فيها لحقن المياه إلى أسفل وتقوم بضخ المياه الساخنة إلى أعلى. ويستخدم الماء الساخن أما للتدفئة أو يحوله صمام إلى نظام لتكييف الهواء وإنتاج الهواء البارد بحسب الحاجة وبالمثل يمكن إنشاء مثل هذا النظام لأمداد المساكن بالماء الساخن، وذلك عن طريق إنشاء الأنابيب حول المنزل أو تحت موقف السيارات. وتقدر تكاليف مثل هذا النظام لبيت عائلة واحد بنحو

الفصل الثامن : طاقة الحرارة الجوفية

٧,٥٠٠ دولار أمريكي. ومن ميزتها أنها تنتج طاقة رخيصة، وتوفر من استهلاك الكهرباء. تشجع الولايات الأمريكية المواطن على بناء مثل تلك المحطات في بيوتهم وتدعمهم عن طريق خصومات ضرائبية. ويزيد الطلب في الولايات المتحدة الأمريكية على أنظمة استغلال الحرارة الباطنية الجوفية. والجدول (٨-١) يبين استثمار بعض الدول لطاقة الحرارة الجوفية لتوليد الكهرباء.



شكل (٨-٥): يوضح نظام الحمل بواسطة الحرارة المائية.

الفصل الثامن : طاقة الحرارة الجوفية

جدول (٨-١): يبين مقدار القدرة الكهربائية المتولدة من طاقة الحرارة الجوفية بالميكرووات.

ت	دولة	الطاقة ميكرواواط	ت	دولة	الطاقة ميكرواواط	ت	دولة	الطاقة ميكرواواط
١	الأرجنتين	٢٠	١٥	اثيوبيا	١٥٥	٢٩	المغرب	٢٠
٢	بوليفيا	٦٣	١٦	اليونان	٣٨٧	٣٠	نيوزلندا	٣١
٣	كامرون	١٥،١٥٠	١٧	ايرلندا	٢٣	٣١	بيرو	٣٠٢
٤	كندا	٤٤٧	١٨	الهند	١٥	٣٢	فنزولا	٤٠
٥	شيلي	٣٠	١٩	اندونيسيا	٤٣٧	٣٣	فيتنام	٣٧
٦	الصين	٥٣٧	٢٠	إيران	٧٦	٣٤	المكسيك	٢٥٧
٧	كولومبيا	٧٨	٢١	ايطاليا	٣٤			
٨	كوستاريكا	١٣	٢٢	اليابان	٧٩			
٩	الإكوادور	١٠٠	٢٣	كينيا	٧٩			
١٠	السلفادور	٥	٢٤	الكوريتين	٧٩			
١١	الفلبين	٦٨	٢٥	تاوان	٨			
١٢	البرتغال	١	٢٦	تنزانيا	٦			
١٣	السعودية	١٦	٢٧	تركيا	٨٧			
١٤	اسبانيا	٦	٢٨	أمريكا	٥٠١			

٨-٥: ايجابيات طاقة الحرارة الجوفية (Advantages of Geothermal Energy)

يعتبر مصدر طاقة الحرارة الجوفية محط أنظار الدول المتقدمة، ويرتب عليها خطط وأمال

مستقبلية كبيرة، وذلك لايجابيات هذه الطاقة المتجددة. ومنها:-

- ١- إنها طاقة متجددة و مستديمة.
- ٢- طاقة نظيفة ولا تسبب اي تلوث.
- ٣- توفرها بكميات كبيرة جدا وفي مساحات شاسعة و في اغلب بلدان العالم.
- ٤- تكاليف إنتاجها غير باهظة.

(Disadvantage and Troubles of Geothermal Energy)

رغم مميزات الطاقة الحرارية الجوفية، والتي جعلتها في طليعة مصادر الطاقة البديلية المستقبلية هناك بعض المعوقات التي تمنع انتشارها. ومن أهم هذه المعوقات:-

١- ارتفاع تكلفة إقامة محطات توليد الكهرباء.

٢- صعوبة حفر آبار بأعماق سحيقة قد تصل إلى عمق ٥ كيلومترات.

(Effects of Geothermal Energy on Environment)

تحتوي السوائل المستخرجة من باطن الأرض على خليط غازات، منها ثاني اوكسيد الكربون وسلفيد الكبريت (S_2H) و الميثان والامونيا. وتشارك تلك الغازات في مشكلة الانحباس الحراري والمطر الحمضي وتبلغ مقدار ما ينطلق من محطات الحرارة الأرضية من غاز ثاني وكسيد الكربون نحو ١٢٢ كيلو جرام لكل ميجاوات ساعة من الكهرباء، وهي نسبة صغيرة بالمقارنة بما تنتجته محطات الوقود الاحفوري. لهذا تزود محطات القوى التي تتسم بإصدار كميات كبيرة من تلك الغازات التي تسبب المطر الحمضي بوحدات لضبط وفصل تلك الغازات لخفض تأثيراتها السلبية للبيئة. وبالإضافة إلى الغازات الذائبة فقد يحتوي الماء الساخن المستخرج من أعماق الأرض على أملاح ذائبة ومواد سامة مثل الزئبق و الزرنيخ والانتيمون. وتترسب تلك الكيماويات عند تبريد الماء وقد تتسبب في أضرار بالبيئة إذا أطلقت على الأرض. وتعمل سياسة إعادة استخدام الماء الساخن لمستخرج وضخة إلى أعماق الأرض ثانيا من العوامل التي تقلل من التأثير السيئ على البيئة عند استغلال الطاقة.

الفصل التاسع

محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار

والمحيطات

٩-١ : المقدمة (Introduction)

يستلم البحر ويخزن وينقل الطاقة الموجودة بشكل مد وجزر وموجات عبر عمليات طبيعية مختلفة، إن طاقة المد والجزر يمكن استثمارها تجاريا وفق التقنية المتوفرة وهي خاضعة للتطور والتحسين. من الصعب التنبؤ فيما إذا كان يمكن استخدامها بصورة توفيره ومتناسبة مع طلبات الاستثمار. تختلف طاقة المد والجزر والموجات بصورة عملية عن الأشكال الأخرى بالعمليات الطبيعية. إن ظاهرة المد والجزر ظاهرة طبيعية تحدث في سطح البحار والمحيطات، وتحمل حركة مياه المحيط الطاقة على شكل مد وجزر وموجات وتيارات مائية. إن العالم يعتمد على ٩٠٪ من طاقته الكهربائية على المصادر التقليدية ولكن بعض الدول تستعمل هذه التقنية الحديثة مثل فرنسا وانكلترا والولايات المتحدة الأمريكية، تهتم في تسخير قدرة المد والجزر و التركيز على مصبات الأنهار، حيث تنتقل كميات كبيرة من الماء خلال قنوات ضيقة مما يزيد من سرعة الجريان. إن التقنيات الصناعية لتجهيزات الطاقة المدية والجزرية في بدايتها وتحتاج إلى وقت طويل لاستثمار هذه المنابع، ومساهمتها في توليد الطاقة أو دخولها في الاستثمار التجاري. إن توليد الطاقة باستخدام تدفق الماء ليس فكرة جديدة فقد سجل الفرنسي **GIRARD** أول براءة اختراع باستخدامه طاقة الموجة في توليد الطاقة الكهربائية.

٩-٢ : طاقة المد والجزر (Tidal Energy)

المد والجزر يتولد بواسطة قوة الجذب والطرء المركزي بين القمر والشمس المؤثرة على بحار الأرض الدوارة. ان الحركة النسبية لهذه الأجسام تسبب ارتفاع وانخفاض سطح الماء دوريا

الفصل التاسع : محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات

وفقا إلى عدد الدورات المتقاطعة. ويتولد عن قوة الجذب والطرْد المركزي للأرض بسبب دورانها حول محورها و قوة الجذب المتبادلة بين الأرض والقمر والشمس ظاهرة المد والجزر وهناك أنواع مختلفة منهما:-

أ. المد العالي (Spring Tide)

ويحدث عندما يكون القمر محاق (هلال) (new moon) وفيها يكون القمر والأرض والشمس على استقامة واحدة أي يقع القمر بين الأرض والشمس وكذلك يحدث عندما يكون القمر بدر (full moon) ويكون الثلاثة على خط واحد ولكن الأرض تقع بين الشمس والقمر.

ب. المد ألمحافي (Neap Tide)

ويحدث عندما تكون الأرض والشمس على خط واحد والقمر عمودي على الأرض ويقل فيه ارتفاع الماء بسبب تشتت القوى. إن طاقة المد والجزر هي طاقة حركية مخزونة في التيارات الناتجة عن المد والجزر.

٣-٩: توليد الكهرباء بواسطة المد والجزر (Electric Generation by Tidal)

يمكن توليد الكهرباء من ظاهرة المد والجزر بواسطة الطرق الآتية:-

١-٣-٩: الطريقة الشاطئية (Beach Methods)

وهي عبارة عن بناء سد عند مصب النهر للتحكم في توجيه تيارات المد والجزر وجعلها تمر خلال فتحات التوربين الشبيهة بالمراوح الموجودة تحت سطح المياه وتدار بفعل التيارات المائية ونقل الحركة ومضاعفة عزم الدوران المستخدم بتحريك المولد الكهربائي وبمساندة الحقل المغناطيسي يقوم بتوليد الكهرباء. أو يمكن تحريك التوربين من الطاقة الفائضة من المحطات الأخرى ساعة الطلب الخفيف على الكهرباء لإعادة مليء الأحواض بالماء وإعادة استخدامه عند الطلب الملح على الطاقة.

٩-٣-٢: الطريقة البعيدة عن الشاطئ (Faraway Beach Methods)

هو عبارة عن نصب عنفات في البحر بعيدا عن اليابسة وتكون أما بتثبيت مروحة أو أكثر على أبراج صلبة، أو بتثبيتها في وسط البحر تحت سطح الماء ويتم تحويل طاقة حركة المراوح بواسطة المولد الكهربائي إلى الكهرباء. طاقة المد والجزر والطاقة الموحية (Tidal and wave energy) عبارة عن ارتفاع وانخفاض دوري لكل مياه المحيطات بما في ذلك مياه البحار المفتوحة والخلجان وينتج المد والجزر بتأثير من جاذبية كل من القمر والشمس على الأرض ذاتها وبصفة خاصة على الماء، ويعتبر القمر هو السبب الرئيسي الذي يؤدي إلى المد والجزر نظرا لقربه من الأرض أكثر من الشمس وعندما يكون القمر فوق نقطه معينه من سطح الأرض مباشرة فانه يؤثر تأثيرا كبير على كتله الماء التي ترتفع تبعا لذلك فوق مستواها المعتاد، وعادة توجد موجتان متضادتان من المد والجزر تعاقبان في دورة مستمرة في كل يوم قمري ويبلغ متوسط طول اليوم القمري ٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة و ٢٨ ثانية، كما تؤدي الشمس أيضا إلى ارتفاع موجتين متضادتين من المد والجزر ولكن بما أنه الشمس أكثر بعدا عن الأرض من القمر فان قوة الجزر الشمسي تبلغ ٤٦% من الجزر القمري وتؤدي مجموع القوى التي يبذلها كل من الشمس والقمر إلى موجة تتكون من قمتين من المد والجزر. يعتمد موقعها على المواقع النسبية لكل من الشمس والقمر في ذلك الحين. وأثناء فترة الهلال والبدر عندما يكون كل من الشمس والقمر والأرض على خط مستقيم فأن الموجات الشمسية والقمرية تتزامن مع بعضها البعض وهذا بدوره يؤدي إلى حالة تعرف الجزر الربيعي، حيث تكون هناك أعلى قيمة للمد وأعلى قيمة للجزر، وفي القرن الثالث الهجري/التاسع الميلادي انفرد العالم العربي الكندي برسالة مستقلة في عملية المد والجزر ذكر فيها أسبابه وأنواعه فعرف نوعين من المد احدهما المد الطبيعي وعرفه بأنه "استحالة الماء من صغر الجسم إلى عظمه" والثاني المد العرضي وعرفه بأنه "زيادة الماء بانصباب مواد فيه" كما في الأنهار والأودية والفيوض التي أصلها من الأنهار وأشار إلى إن مثل هذا المد لا تظهر فيه زيادة وذلك لصغر قدر المياه المضافة إليه من الأنهار وغيرها

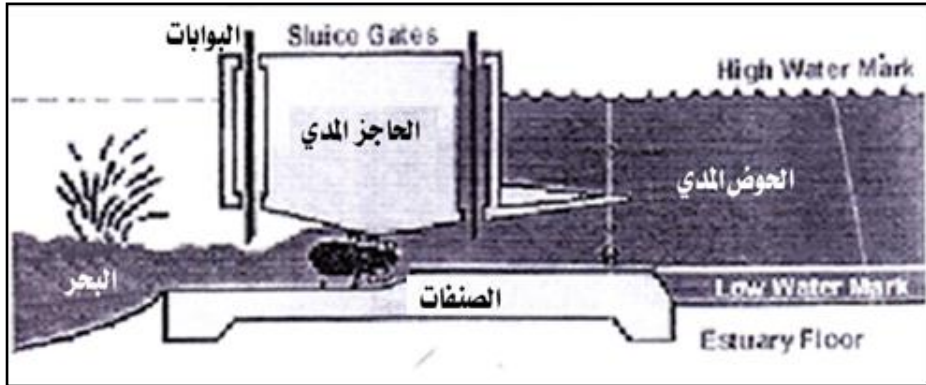
الفصل التاسع : محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات

بالمقارنة مع مياه البحار وكذلك بسبب التبخر الواقع لها. ولقد قسم الكندي المد الطبيعي على ثلاث أنواع: الأول: المد السنوي وهو الزيادة في مياه البحار في وقت محدد من السنة في موضع دون موضع حسب حركة الأجرام السماوية. الثاني: المد الشهري وهو يحدث حسب تغير أوضاع القمر في دورانه حول الأرض. الثالث: المد اليومي وهو واقع لتأثير ضوء القمر عليه فيبتدئ مده مع طلوع القمر عليه ويبتدئ جزره حين يبتدئ زوال القمر عن سمت رؤوس أهله وفي منتصف القرن العشرين بدأ استخدام الطاقة المنبعثة من المد والجزر في إنتاج الكهرباء. وفي هذه الحالة يتم بناء محطة توليد الطاقة عند مصبات الأنهار وعند تدفق الجزر القادم من النهر يمر عبر سد وعندما يمتد الجزر ينطلق الماء المحبوس ويتدفق عبر السد فيدفع التوربينان مرة أخرى. وتعمل مثل هذه المحطات بكفاءة إذا كان الفارق بين اعلى قيمة للجزر وأقل قيمة له حوالي ٨,٥ متر.

٩-٤ : أجزاء ومكونات محطات المد الجزرية (Parts of Tidal Stations)

أن مبدأ عمل محطات المد والجزر يشبه إلى حد ما المحطات الكهرومائية. وتتكون من

المكونات الرئيسية كما مبيته في شكل (٩-١)



شكل (٩-١): يمثّل المكونات الرئيسية لمحطة المد والجزر.

٩-٤-١ : الحوض المدي (Basin)

هو الحوض المدي (السد) أو المصب. إن إيجاد المكان المناسب الذي يحتوي على المصب ضروري لنجاح هذه المحطة، وهذا المصب يكون طبيعياً وهو ميزة جغرافية وليس من

الفصل التاسع : محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات

السهولة إيجاداه أو تصنيعه فالمصب المناسب يجب إن يكون مجسما ضخما من الماء المحاط كليا بالأرض مع فتحة صغيرة إلى البحر. إن كمية الطاقة المتولدة من هذه المحطة تتبع حجم المصب فعند زيادة حجم المصب تزيد كمية الطاقة.

٩-٤-٢: الحاجز ألمدي (Barrage)

ينفذ عبر مصب ويجهز بسلسلة من البوابات تسمح بدخول الماء إلى الحوض وهو يفصل الحوض ألمدي عند باقي البحر ويصل إليه الماء من المد الاعظمي ويؤدي إلى قطع مياه البحر عن الماء في مصب النهر لذا فالماء يمكن إن يحصر بطريقة أو اسلوب مفيد من اجل أحداث الطاقة المدية.

٩-٤-٣: البوابات (Sluice gates)

إن بوابات التحكم وهي مناطق حجز يستطيع الماء إن يتدفق منها بحرية من والى خارج المصب، هذه البوابات يتم التحكم بها بواسطة مشغلي مركز الطاقة للغلق والفتح ولتحديد التدفق المناسب من الماء إلى العنفات المدية وهذه البوابات ليس لها موقع محدد على الحاجز، البعض منها يكون محدد بشكل مباشر إمام وخلف العنفات المدية ويسمح للماء بالتدفق خلال العنفات وتوليد الكهرباء والبعض الأخر يكون بعيدا عن العنفة للسماح لمشغلي المركز بملا أو إفراغ المصب عند الرغبة.

٩-٤-٤: العنفات (Turbine)

هذه العنفات مرتبة ضمن الحاجز ألمدي وتستقر بالقرب من قاع أرضية البحر ومصممة بأسلوب مماثل للعنفة البخارية. تقع العنفات بين موضع بوابات التحكم على كلا من المصب وجانب البحر من الحاجز ألمدي عندما تفتح هذه البوابات يتدفق الماء خلالها إلى العنفات ليسرع الشفرات وتوليد الكهرباء.

٩-٥ : عنفات المد الجزري (Tidal Turbines)

يوجد تصميمين مختلفين للعنفات وهما:-

٩-٥-١ : وحيدة التأثير (Single Effective)

حيث يكون تولد الطاقة من تدفق الماء عبر العنفات في اتجاه واحد فقط وشأنها شأن العنفات البخارية وتعمل فقط عند مرور الماء في اتجاه واحد، عندما ينخفض مستوى الماء في البحر بشكل مناسب تفتح بوابات التحكم المتمركزة أمام وخلف العنفات حتى يجبر الماء على التدفق من خلال العنفة وتتسارع الشفرات لتوليد الكهرباء وتغلق بوابات التحكم عندما يصل مستوى الماء في المصب الى مستوى الماء المدي المنخفض في البحر للارتفاع بالمد العالي وتبدأ دورة ثانية وهكذا.

٩-٥-٢ : ثنائية التأثير (Double Effective)

حيث تعمل العنفات ثنائية بنفس مبدأ الوحيدة التأثير تقريبا تبدأ الدورة كدورة وحيدة التأثير مع أن مستوى الماء في المصب، ينخفض ويرتفع مستوى الماء في البحر بالشروط المدي تفتح بوابات التحكم أمام وخلف العنفات لذلك يندفع الماء خلال العنفات لتوليد الكهرباء، عندما يصبح مستوى الماء في البحر تغلق بوابات التحكم. يبقى مستوى الماء في المصب مرتفع والماء في البحر سوف يصل لحالة المد المنخفض.

عندما ينخفض مستوى مياه البحر بما فيه الكفاية يعاد فتح البوابات أمام وخلف العنفة ويتدفق الماء خارج المصب من خلال العنفات حيث تولد الكهرباء عند مرور الماء على الشفرات في الاتجاهين وهذا ابتكار جديد في تقنية الطاقة الحديثة حيث تصمم الشفرات للتسريع بنفس الاتجاه بغض النظر من اتجاه تدفق الماء عليها. العنفات ثنائية التأثير وبالمقارنة بين هذين النوعين نجد انه من البديهي بأن العنفات ثنائية التأثير سوف تولد كمية من الطاقة ضعف من الطاقة التي تولدها العنفات أحادية التأثير ولكن عمليا لا يمكن للعنفات ثنائية التأثير أن تولد هذه الكمية بسبب ضياعات بسبب اغلاق وفتح بوابات التحكم ثنائية التأثير.

٩-٦: طاقة الموجة (Wave Energy)

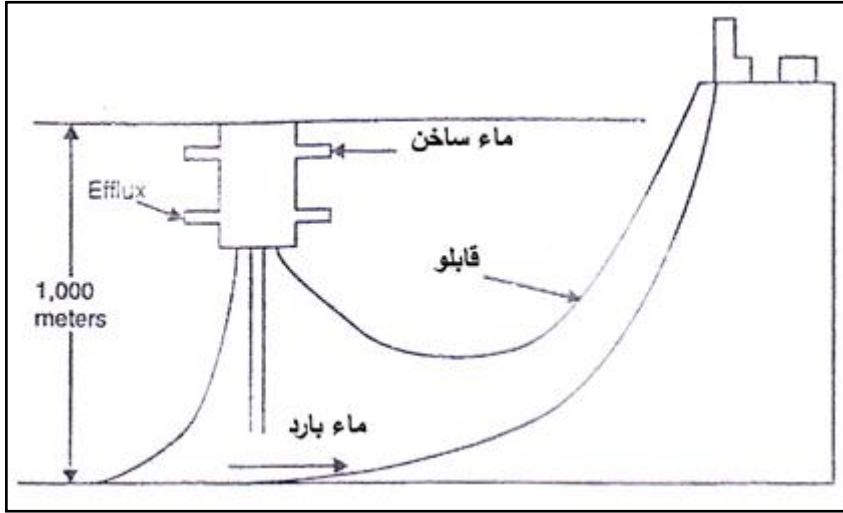
ان امواج البحار والمحيطات تنشأ من تفاعلات الرياح مع سطح البحر والتي تتضمن كل من الطاقة الحركية التي توصف بسرعة حركة جزيئات الماء والطاقة الكامنة والتي هي دالة لكمية الماء المزاحة من معدل مستوى البحر. ان سرعة الموجة تعتمد على طول الموجه وبهذا تتحرك الموجه. ان الطاقة المنتقلة من الريح تعتمد على طول الموجة. تقاس طاقة الموجه من خلال معدل الطاقة المنتقلة خلال المتر الواحد العمودي على اتجاه الموجه، وتقاس بوحدت كيلو واط بالمتر لكل موجه. تستخرج طاقة الموجات والتي تزداد مع زيادة دوران السرعة الميكانيكية المنتقلة. ومن اجل الحصول على الطاقة من الموجه فان طاقة الموجه تتفاعل مع الامواج بطرق عديدة وتحدها الظروف المحيطة والبيئة. ويمكن الحصول على نسبة عالية من الطاقة عند اتباع الطرق الاتية:-

- اعتماد طريقة النمط المهني عند سلوك خط الوسط بنسبة ٩٠ درجة من اتجاه الموجه، وفي هذه المرحلة تمتص الطاقة من خلال انتهاء الامواج، حيث تنتزع الطاقة من مقدمة الموجه لاحتوائها على نفس مقدار طول الموجه.
- اما النمط الاخر فيدعى بالمخفف، وفي هذه الحالة يكون موازي الى اتجاه الموجه وبدرجة ٦٢ درجة من مقدار طول الموجه. وبهذا فان تطور محطات طاقة موجات المد والجزر يعتمد على خطط النشاطات البحثية المستقبلية لايجاد تقنيات حديثة لكيفية التعامل مع تحويل طاقة الموجات الى طاقة كهربائية بنوعية جيدة وبكلفة مقبولة وتفي بطلبات الجهات المستفيدة. وهناك العديد من الدول شهدت اعتمادها على استخدام طاقة الموجه من طاقة المخزونة في المياه نتيجة التغيرات البيئية وبالتالي يمكن تحويل طاقة الموجه الى الطاقة الكهربائية. وليس من السهل الحصول على هذه الطاقة لصعوبة تتبع صعود و انخفاض الموجة.

(Electrical Power Generation)

إن المحيطات أو البحار الاستوائية أو المجاورة من الخط الاستوائي في العالم، تتعرض الى تغيرات مختلفة في درجات الحرارة بين سطح الماء وأعماقه المختلفة. إن درجة الحرارة المتحررة يمكن إن تستثمر كطاقة وفقا للقوانين الأساسية عن الديناميكا. إن تحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات إلى طاقة كهربائية تعتمد على التغيرات الحاصلة في درجات الحرارة والتي تستمر إلى ٢٤ ساعة يوميا. ان مياه البحار والمحيطات تمتص الطاقة الشمسية، وان الجزء الأكبر يخزن كطاقة حرارية على سطح المياه الدافئة ويتراوح مقدار الطاقة الممتصة بين $1,7 \times 10^{17}$ واط والتي تمتص من خلال ماء البحر من الطاقة. ان تحويلات الطاقة الحرارية في البحار تصل تقريبا إلى ٢,٥ %، بسبب انخفاض الكفاءة والتي تتطلب الى تدفقات هائلة من المياه السطحية الدافئة ومياه عميقة بارده. ان محطات تحويل الطاقة الحرارية قادرة على توليد ١٠٠ ميكا واط من الكهرباء والتي يجب ان تضح نحو ٤٥٠ م^٣ من كلا المياه الدافئة والباردة خلال التغيرات المستمرة للحرارة الحاصلة في الدقيقة الواحدة. ان محطات الطاقة الحرارية مشيدة على منصات عائمة او على سفينة في المياه كما في شكل (٩-٢)، وتحتوي على انابيب كبيرة الحجم لحمل الماء البارد الى السطح، ويتوقع ان يصل قطر الانبوب الى ٢٠ م وطوله يتراوح بين ٦٠٠-١٠٠٠ م لكل ١٠٠ ميكا واط بالنسبة للمحطة الخاصة بتحويل الطاقة الحرارية.

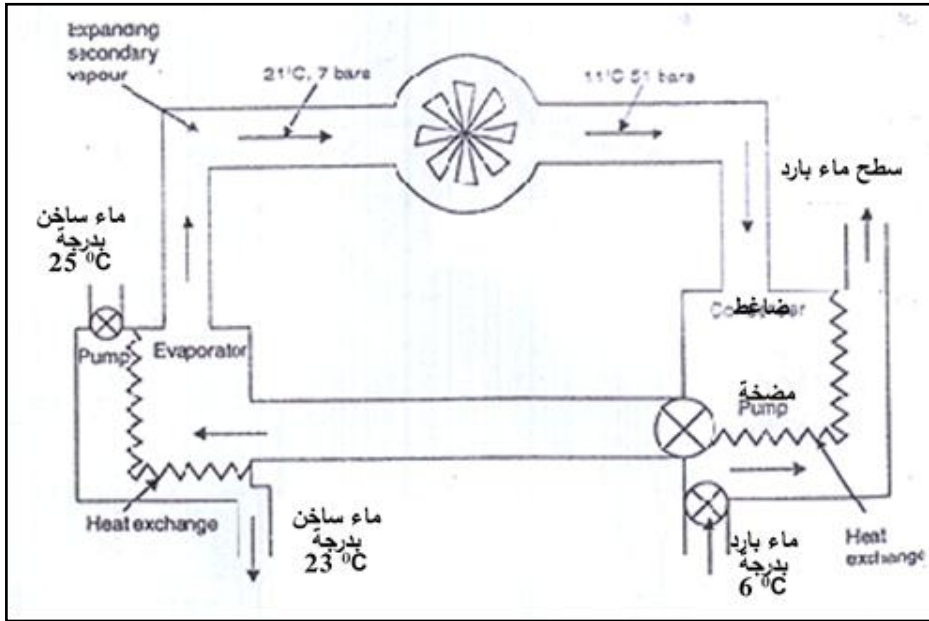
الفصل التاسع : محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات



شكل (٩-٢): مخطط يبين محطة عائمة لتوليد الكهرباء من طاقة المحيطات والبحار.

ومن اجل تحويل الحرارة الى طاقة كهربائية، فان المياه الدافئة يمكن ان تستخدم كسائل حراري ويتغيرات درجة الحرارة مع عملية التبخر الواطئة ويتعامل بهذه الطرق فقط السوائل مثل الامونيا و الفريون والبروبان. قسم من محطات الطاقة الحرارية تعمل في دائرة مغلقة كما في شكل (٩-٣) او دائرة مفتوحة كما في شكل (٩-٤)، ففي الدائرة المغلقة يضخ الماء الدافئ خلال عملية التبخر ومن هذه السوائل هي الامونيا المتبخرة وان السوائل الداخلة في الدائرة المغلقة تبرد وتتبخر عندما تمر في الماء الساخن او الدافئ وتتكاثف عندما تمر في الماء البارد.

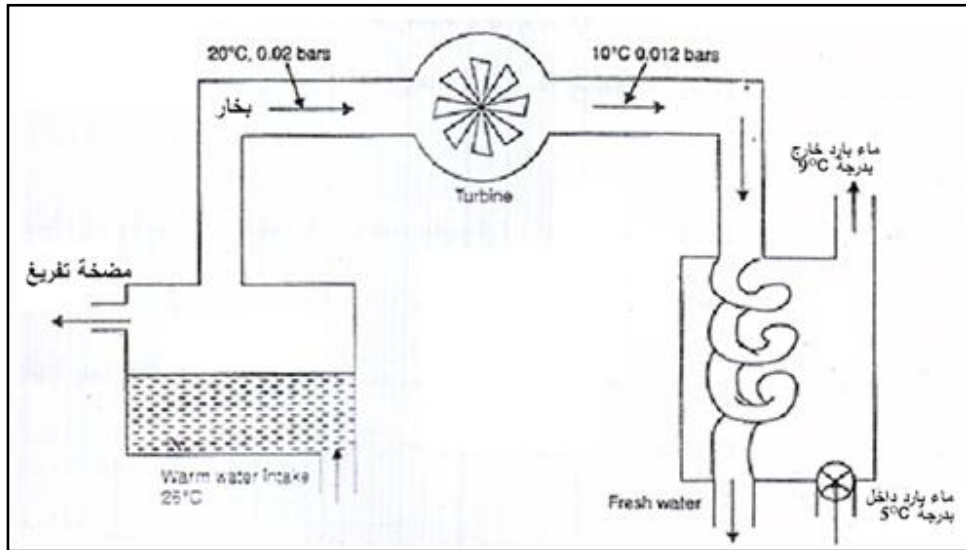
الفصل التاسع : محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات



شكل (٩-٣): يمثل نموذج لمحطة تعمل بالدائرة المغلقة لتحويل الطاقة الحرارية لمياه البحار والمحيطات.

ان ماء المحيط او البحر يمكن ان يستخدم كسائل ضمن عملية تحويلات الطاقة الحرارية الداخلة في نظام الدائرة المفتوحة وفي هذه الحالة لا يمكن اعادة تدوير السائل . وان ماء البحر الساخن سيتبخّر تحت الضغط الواطيء وبالنتيجة سوف نحصل على البخار والذي سوف يمر خلال محرك يعمل بقوة البخار او الماء ويكثف اما من خلال الاتصال المباشر بالماء البارد او سطح الماء المكثف.

الفصل التاسع : محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات



شكل (٩-٤): يمثل نموذج لمحطة مفتوحة الدائرة لتحويل الطاقة الحرارية لمياه المحيطات والبحار الى طاقة كهربائية.

ان كلا الحالتين للدائرة المغلقة والمفتوحة لعملية تكاثف البخار تسببان اختلاف في ضغط المحرك الذي يعمل بقوة البخار او الماء. وان للدائرة المغلقة مميزات عن الدائرة المفتوحة باستخدامها محرك يعمل بقوة البخار او الماء صغير الحجم ولا يحتاج الى طاقة كبيرة لتعزيز الفراغ الموجود لعملية الضخ. بعض الدول والاقطار تعتمد على طاقة البحار والمحيطات كمصدر للطاقة الحرارية ومنها:

- فرنسا بناء محطة بمقدار ٥ ميكاواط على الشاطيء في مدينة تاهاتي.
- انشات اليابان محطة عائمة بمقدار ١٠ ميكاواط، والتخطيط لبناء محطة حرارية طاقتها بمقدار ٢٠ ميكاواط.
- انشات المملكة المتحدة محطة الدائرة المغلقة بمقدار ١٠ ميكاواط.
- هولندا: هنالك دراسات وتطبيقات عديدة بخصوص محطات توليد الطاقة الحرارية بمقدار ١٠ ميكاواط.
- الهند كذلك كان لها دور مميز بالنسبة لتوليد الطاقة الحرارية قرب الساحل.

٩-٨: التأثيرات البيئية (Environmental Effects)

ان عملية تشغيل محطات توليد الطاقة الحرارية لها تأثيرات بيئية كما موضح كالآتي:

- أ- التدفقات الكبيرة للماء الساخن او البارد وتأثيرها على المناخ المتغير.
- ب- تحتوي مياه البحر العميقة على ثاني اوكسيد الكربون والذي يتحرر الى الغلاف الجوي عندما يضخ الى الهواء ويسخن بعملية التكاثف. وان عملية تحرر ثاني اوكسيد الكربون تدخل ضمن الدائرة المفتوحة بسبب الماء الساخن.
- ج- ان مصانع توليد الطاقة الحرارية تؤثر على الحياة البحرية مثل الاسماك وبيوض الكائنات البحرية واليرقات المتشكلة والتي تتاثر بدرجات الحرارة المسلطة عليها. ان الطاقة الناتجة عن ظاهرة المد والجزر هي عملية ليس لها علاقة بالتلوث ويمكن استبدالها بوقود الفحم والكاربوهيدروكسيد. وعند استبداله بالفحم، فان السدود المصممة لاستغلال المد والجزر يمكن ان تمنع خروج مليون طن من الكاربوهيدروكسيد. مع هذا ان الظروف المناخية لها تأثير كبير على ظاهرة المد والجزر وان الحصول على الطاقة له تأثير على الاسماك والطيور والكائنات الحية.

٩-٩: التطور المستقبلي (Future Development)

اعتمدت بعض الدول كما موضح في الجدول (٩-١) على محطات كبيرة مقامة على الشواطئ لتزويدها بالطاقة الكهربائية رغم تأثرها بالظروف المناخية والصناعية.

الفصل التاسع : محطات طاقة المد والجزر وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات

جدول (٩-١): يبين محطات المد والجزر المستخدمة في بعض الدول لتوليد الطاقة الكهربائية.

الدولة	الارتفاع السطحي للمد والجزر (M)	مساحة المد والجزر (KM ²)	الطاقة القصوى (MW)
الارجنتين	5.5		6300
استراليا	4.9- 12.10	90-240	6738
كندا	5.3- 10	115-170	2700
الهند	8.7-6.4	100- 170	7480
المكسيك	8.5- 7.6	61- 450	9390
الولايات المتحدة	1.5- 9.7	2300	28610
روسيا	6	20500	87000
نيوزلندا	10.2	947	2000

ولهذا فان تطور محطات طاقة المد والجزر والموجات وتحويل الطاقة الحرارية للبحار والمحيطات يعتمد على النشاطات البحثية والخطط المستقبلية لتطوير تقنيات كيفية التعامل مع تحويل طاقة هذه المجالات الى طاقة كهربائية بكلفة مقبولة وبمقدار يفي بالمتطلبات اللازمة لتوفيرها بالوقت المناسب.

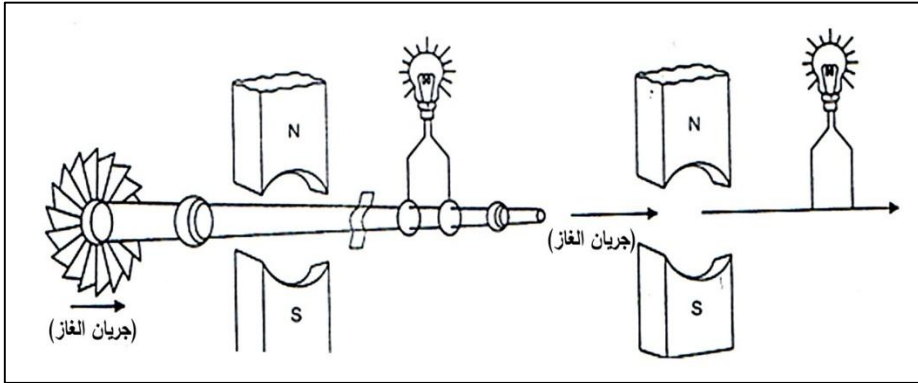
الفصل العاشر

مولد الطاقة الهيدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)

Magneto Hydro Dynamic Power Generator

١٠-١ : المقدمة (Introduction)

في مولد القدرة الهيدروليكي المغناطيسي MHD يحل جريان سيل من الغاز الحار المتأين محل حافة المغناطيس النحاسية الدوارة للمولد التوربيني الاعتيادي. كما في شكل (١٠-١). الممثل للتوربينين مما يؤدي الى حركة الموصل الكهربائي الجيد عبر المجال المغناطيسي محدثا (مولدا) مجال كهربائي في الموصل. وبهذا يمكن اخذ الطاقة من المجال الكهربائي الحاصل بواسطة عدد من الطرق. إن تحول الطاقة الحركية لمجرى الغاز مباشرةً إلى طاقة كهربائية يجعل المولد MHD ابسط أداة من نظائرها التقليدية. إن اغلب الأجهزة الخاصة بتوليد الطاقة تهتم بتحويل طاقة الغاز الحرارية إلى طاقة كهربائية. وسبب ذلك يرجع إلى إن الموصل الغازي يعتبر كمادة عاملة. في عام ١٩٣٠ بدأ لانكيمور (Langmuir) باستخدام البلازما لشرح طبيعة الغازات المتأينة. وبالاعتماد على درجة التأين، تعرض الغازات خواص مشابهة إلى خواص المعادن، أشباه الموصلات، الالكتروليتات القلوية والغازات الاعتيادية. البلازما هي غاز متأين جزئياته المشحونة لها تأثير ملحوظ على خواصها ولاسيما الكهربائية. وتعتبر البلازما متعادلة كهربائياً ماعدا في المناطق الميكروسكوبية (الدقيقة).



الشكل (١٠-١): مقارنة بين المولد التوربيني الاعتيادي والمولد MHD.

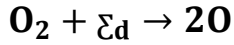
١٠-٢: تأين الغاز (Ionization of a gas)

التأين هو عملية الامتصاص الحراري، التي تحرك إلكترونات واحدا أو عدة الكترونات من الذرة تصنف تقنيات التأين إلى:

- عمليات التأين الحراري التي يرجع سببها إلى تصادم الجزيئات المثارة التي تشكل تايين الغاز والمتسبب بواسطة إشعاع الغاز بجزيئات عالية الطاقة. التأين التراكمي الذي يسمى في بعض الأحيان التأين المرحلي. نأخذ في الاعتبار عدة خطوات التي يمكن إن تحدث في التأين الحراري لذرة الغاز الثنائية. فمثلاً يعتبر الغاز عند بعض درجة الحرارة القريبة من الصفر المطلق. ويمكن تمثيل جزيئة هذا الغاز "بجرس صامت" أو دوار صلب كما هو مبين في (شكل ١٠-٢). وبالاعتماد على كيفية التقرب من الصفر المطلق، فان الجزيئة ستكون قادرة على الاشتراك في الحركة الانتقالية في أي اتجاه، وبازدياد درجة الحرارة زيادة طفيفة فسوف يبدأ الجرس الصامت بالدوران وهكذا يكون له ثلاث درجات من الحرية. إن الدرجة الاهتزازية الحرة لا تبدأ إلا إذا ازدادت درجة الحرارة إلى ما يقارب 1000 (درجة مطلقة) (لاحظ شكل ١٠-٣). بازدياد درجة الحرارة فأن التأثيرات الجزيئية تحوي طاقة كافية وبذلك ينكسر الترابط ما بين الذرتين مسببة بذلك الانحلال كما هو مبين في (شكل ١٠-٤). عند الضغط الجوي يبدأ الأوكسجين بالتفكك عند حوالي ٣٠٠٠ °C (درجة

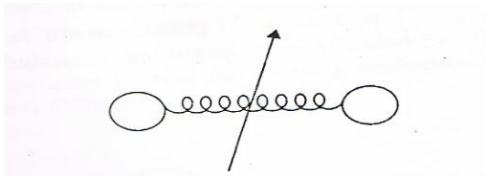
الفصل العاشر : مولد الطاقة الهيدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)

مطلقة)، في حين يبدأ التروجين بالتفكك عند حوالي ٤٥٠٠ (درجة مطلقة). ويمكن كتابة التفاعل بالمعادلة الآتية:-

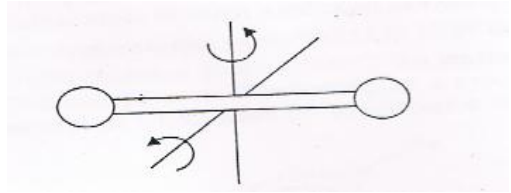


... (10-1)

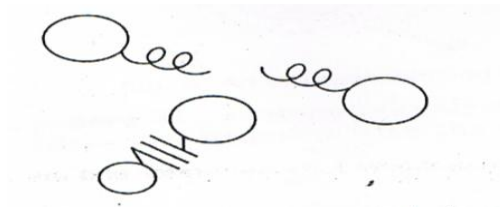
حيث Σd هي طاقة التفكك



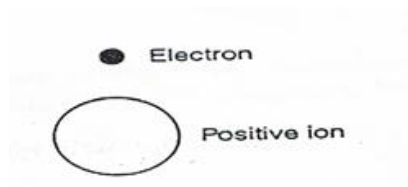
الشكل (١٠-٣) جزيئه ثنائية لها انتقالية دوارنية ودرجات اهتزازية حرة.



الشكل (١٠-٢): دوار صلب متنقل له درجات دوارنية حرة.



شكل (١٠-٤): انفصال جزيئه الى ذرات متعادلة.



الشكل (١٠-٥): تأين الذرة.

وتعطي طاقة التفكك ϵ_d غالباً في الكترون- فولت (eV) لكل جزيئة. اذا ازدادت درجة الحرارة، فعند ذلك تصبح الالكترونات في المدار حول نواة الذرة مثارة الى الحالات الكمية فوق الاشباع الاساسي (ground state)، هذا النوع من الاثارة يساهم في زيادة الطاقة الكلية ولكن يفترض ان يكون مؤهلاً عند درجة 5000 (درجة مطلقة). اذا ارتفعت درجة حرارة الغاز اكثر من حالة الانهيار، فعند ذلك يصبح الغاز متأيناً كما هو مبين في شكل (10-5). والان تترك الالكترونات الذرة وتجعلها ذو شحنة موجبة ويمكن كتابتها كما في المعادلة الاتية:-



حيث ان E_1 هي الطاقة الايونية (الكترون - فولت) لكل ذرة. وهكذا فإن الطاقة الايونية او قدرة جهد التاين، هي الطاقة المعتمدة في تحريك الالكترون من مدار ذرته ووضعها مستقر عن مسافة محددة عن نواة الذرة. ان انخفاض الضغط على الغاز يمكن ان يسبب انخفاض ملحوظ في درجة الحرارة التي عندها سيتاين الغاز.

١٠-٣: طريقة تأين الغاز (Methods of Ionization of Gas)

من اهم طرق التأين المستخدمة في تصميم مولدات MHD هي التي تشمل تصادمات بين مكونات الغاز الحار. عند تأين الالكترون التصادمي فإن الطاقة المستلمة تكون مسؤولة عن تصادم الكترون مع ذرة غاز أخرى مجردة من الكترون. ان فكرة المقطع العرضي تلعب دوراً اساسياً في دراسة التأين. يعتبر المقطع العرضي الايوني هو مقياس احتمالية تأين الذرة من قبل الالكترونات ذات الطاقة العالية. بشكل عام يعتبر المقطع دالة لطاقة الالكترون الساقط وحالة الطاقة للذرة المراد تأينها. اذا كان التصادم المنفرد يؤين ذرة، فيجب ان تكون طاقة الالكترون الحاصل على الاقل تساوي طاقة تأين الذرة. هذه القيمة هي الحد الادنى للطاقة او طاقة شروع التأين. اذا كان الالكترون الذي يصطدم بذرة له طاقة تتجاوز الحد الادنى المطلوب لتأين الذرة، فان الطاقة الزائدة قد تخزن بواسطة الالكترون وتقل الى الكترون متحرر في العملية التأينية او يستخدم لاثارة تأين الذرة بشكل اكبر. ان الشكل الاخر للتأين التصادمي يسمى التأين الحراري.

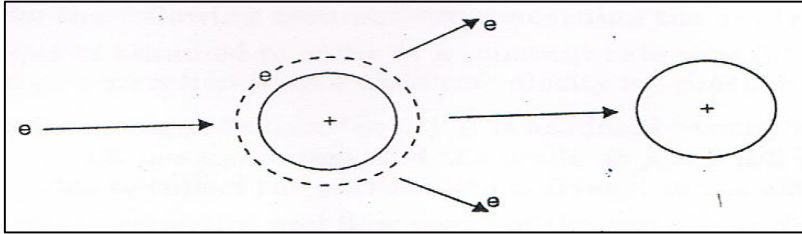
الفصل العاشر : مولد الطاقة الهيدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)

يحدث التأين الحراري عندما يكون معدل الطاقة الحركية للجزيئات عالي بشكل كافي يجعل الطاقة تنتقل بالتصادم بين جزيئتين متعادلتين تكون كافية لتأين جزيئة واحدة منها ويمكن ان يحدث ذلك عند درجة حرارة عالية جداً.

١٠-٤ : مولد القدرة الهيدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)

(Magneto hydrodynamic Power Generator)

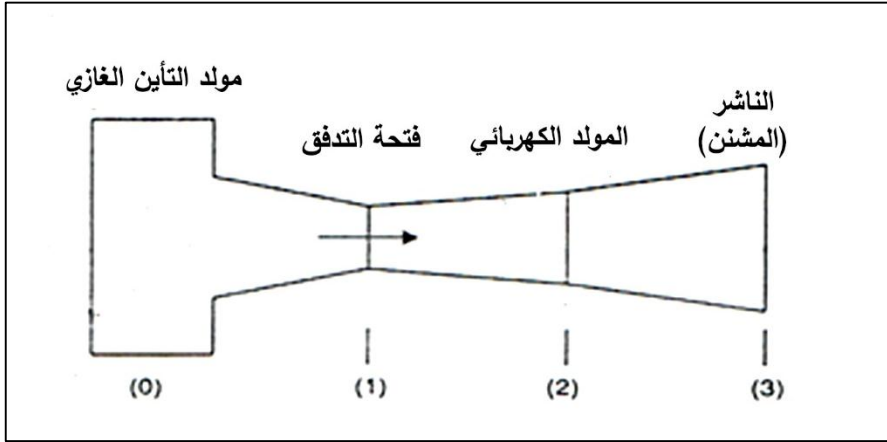
في مولد MHD، يستخدم الغاز المتأين او البلازما كموصل متحرك. بما ان الغاز يعتبر ناتج مباشر للاحتراق فسوف يحدد الترابط الميكانيكي للنقل الدوار. عند درجات الحرارة العالية، سوف يكون لعدد قليل من الالكترونات الحرة للغاز طاقة حركية كافية لتؤين ذرة متعادلة من خلال التصادم كما هو مبين في (شكل ١٠-٦). بالنسبة لعناصر او مكونات الاحتراق الطبيعية، تكون طاقة الالكترون من $\frac{1}{2}mv^2$ (الالكترون فولت) ضرورية للتأين. حتى عند درجات الحرارة التي تتراوح ما بين (٢٥٠٠-٣٠٠٠) (درجة مطلقة) يكون التأين المتحقق غير كافي للمولد المفيد.



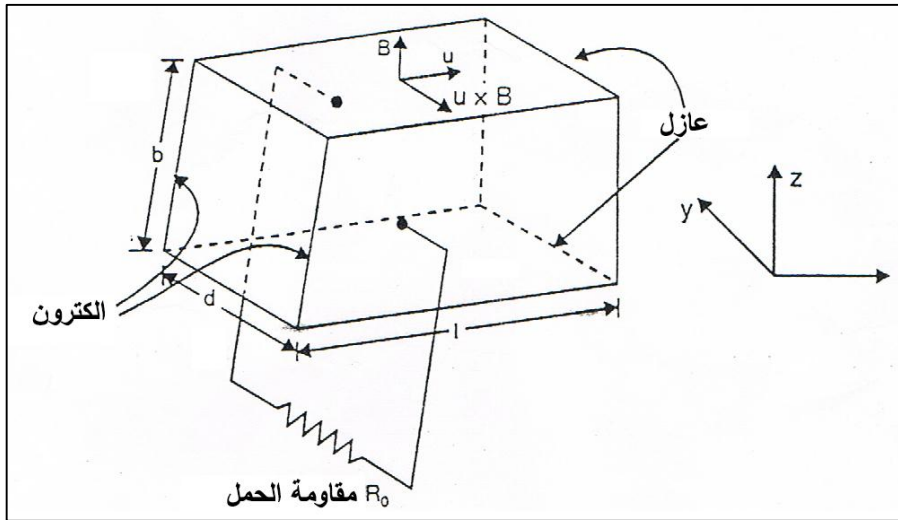
الشكل (١٠-٦): التصادم الأيوني للالكترون.

يوضح المخطط (١٠-٧) أجزاء المولد عندما يكون عرض مدخل انبوب المولد d والارتفاع h مع سرعة محورية ثابتة و طاقة كهربائية ثابتة مستخرجة فقط من الطاقة الحرارية للغاز. يمكن ان نعتبر ذلك عملية ذات مرحلتين يقوم احداثي فرايدي بازالة الطاقة الكهربائية فقط من الطاقة الحركية للتدفق او الجريان مثل قطع الغاز التوصيلي للخطوط المغناطيسية الخاصة بالقوة، يتم تسريع الغاز بعد ذلك ليعيد السرعة لكن في هذه العملية الخاصة بالتسريع، تقل درجة الحرارة المستقرة (الساكنة).

الفصل العاشر : مولد الطاقة الهيدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)



الشكل (١٠ - ٧ أ): يمثل مخطط لمولد غازي النازل، المولد الكهربائي ونظام الناشر.



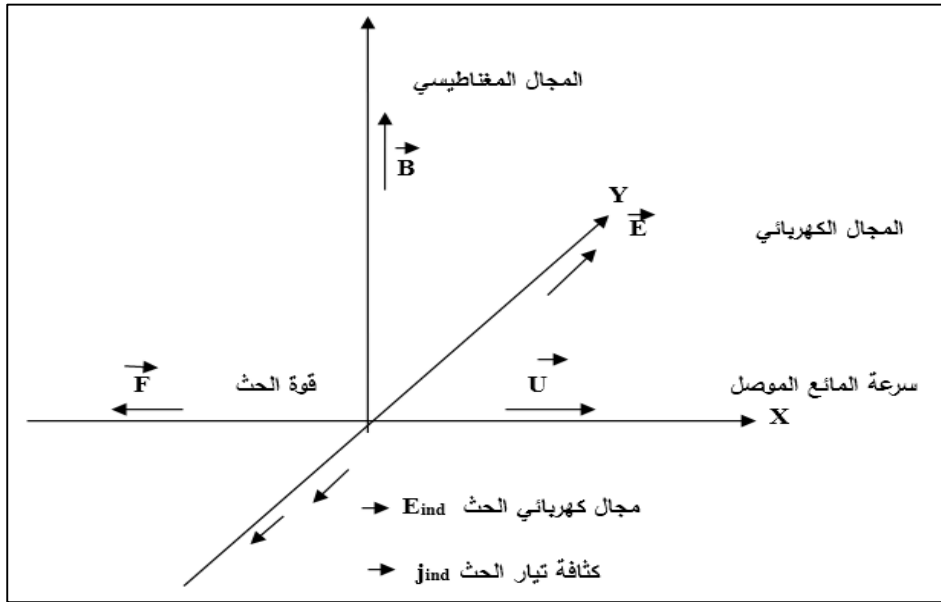
الشكل (١٠ - ٧ ب): يمثل المولد الكهربائي ونظام الاحداثيات.

الفصل العاشر : مولد الطاقة الهيدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)

تعتمد الفرضيات الاتية لتحليل المولدات: -

١. الغاز يدخل عند معدل ثابت الى المولد في محطة ١ في اتجاه \mathbf{X} الموجب مع سرعة منتظمة \mathbf{u}_1 ، ضغط P_1 ودرجة حرارة T_1 .
٢. ان تكون كثافة الفيض المغناطيسي المنتظم $\vec{\mathbf{B}}$ موجوداً في اتجاه Z الموجب. وتعتبر الجدران عند $z = \pm 2/b$ معزولة والجدران عند $y = \pm 2/d$ تعتبر موصلات تعمل كأقطاب (Electrodes) لجمع التيار وتسليمه الى الحمل الخارجي R_0 .
٣. تعتبر خواص الحالة وجريان الغاز منتظمة عند أي مقطع.
٤. يفترض ان يكون المانع غير احتكاكي أو غاز تام الانكباس.
٥. يهمل اضطراب المجال المغناطيسي الناتج بواسطة التيار. ونضوح التيارات في نهايات الالكتروليت.
٦. تحدد قيمة الموصلية الكهربائية بواسطة الحرارة والضغط في هيكل المولد وهي كمية مقدارية.
٧. اهمال انتقال الحرارة من الهيكل.
٨. الشكل (١٠-٨) يوضح نظام الاحداثيات في المولد والمستخدمة في وصف الظاهرة التي تحدث في المولد بافتراض الموصلية الكهربائية للمائع بسرعة \mathbf{u} وبالاتجاه الموجب (\mathbf{x}) والمجال المغناطيسي ($\vec{\mathbf{B}}$) وبزاوية قائمة على الاتجاه الموجب الى (\mathbf{x}) وتقاطع مجال السرعة مع المجال المغناطيسي. حيث ان المجال الكهربائي \mathbf{E}_{Ind} والعمودي على كل من $(\vec{\mathbf{B}}, \vec{\mathbf{u}}^r)$.

الفصل العاشر : مولد الطاقة الهيدرو ديناميكي المغناطيسي (MHD)



الشكل (١٠-٨): نظام الاحداثيات.

ويحسب مقدار هذا المجال بالمعادلة الآتية:-

$$\mathbf{E} = \vec{U} \times \vec{B} \quad \dots (10-3)$$

وبفرض ان الموصلية كمية مقدارية فان كثافة تيار الحث يحسب بالمعادلة الآتية:-

$$\vec{J}_{ind} = \vec{\sigma}_{ind}$$

المجال المغناطيسي محدثا قوة لورنس التي تساوي $\vec{F}_{ind} = \vec{J}_{ind} \times \vec{B}$ وهذه هي نفس القوة

التي تحدث عند المولد الكهربائي كتيار محتث عندما يقطع الدوار خطوط مجال المولد ان هذه

القوة المحثثة عمودية على كل من \mathbf{B} و \mathbf{J}_{ind} وتكون متوازية الى متجهة السرعة \vec{U} ولكن

عكس الاتجاه.

وكما في المعادلة الآتية:-

$$\vec{J} = \sigma(\vec{E} + \vec{U} \times \vec{B}) = \sigma(\vec{E} + \vec{E}_{ind}) = \sigma E \quad \dots (10-4)$$

ان تأثير قوة لورنس نتيجة كلا التيارين هي:-

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B} = \sigma(\vec{E} + \vec{U} \times \vec{B}) = \vec{X} \vec{B} \quad \dots (10-5)$$

وعند استعمال مجال كهربائي E اكبر من المجال الكهربائي المحتث ($\vec{U} \times \vec{B}$) ينتج لنا جهاز دفع وعند عكس قطبية الجهد المستخدم فان قوة لورنس تؤدي الى تأخير الجريان.

١٠-٥: المعوقات (المشاكل) (Troubles)

هنالك عدة مشاكل تلازم مولد الطاقة الهيدرو مغناطيسي الديناميكي (D.M.H.E) من

اهمها:-

أ- المواد الحرارية:- المشكلة الاساسية في تصميم المولد هو اعتماد المواد التي تتحمل درجات حرارة عالية والمواد عالية العزل تتحمل درجات الحرارة بين (٢٠٠٠ - ٣٢٠٠) k (درجة مطلقة) ولفترة طويلة من الزمن في الظروف الحالية مثل غاز المعادن القلوية لرفع توصيلية الغاز ومعدن التيتانيوم والتنكستين.

ب- الانتقال الحراري:- ان مشاكل انتقال الحرارة في المعادن يمكن تحسينها من خلال تبريد الجدران مع الاخذ بنظر الاعتبار قابلية الاقطاب على التبريد الذي يسبب اتحاد الالكترود مع الايون المجاور له ويسبب قلة كفاءة توصيلية الغاز.

ج- الخسارة المغناطيسية:- وجود مجال مغناطيسي ملائم لقدرة المولد يتم من خلال ايجاد الكترومغناطيسي ذو القلب الحديدي او المغناطيس المبرد فائق الموصلية.

وعند التوليد يطبق مجال كهربائي \vec{E} وبزاوية قائمة على كل من المجال المغناطيسي \vec{B} والسرعة \vec{U} ولكن باتجاه معاكس الى كثافة التيار المحدث \vec{J}_{ind} . ان كثافة التيار الخالصة \vec{J} خلال المانع الموصل.

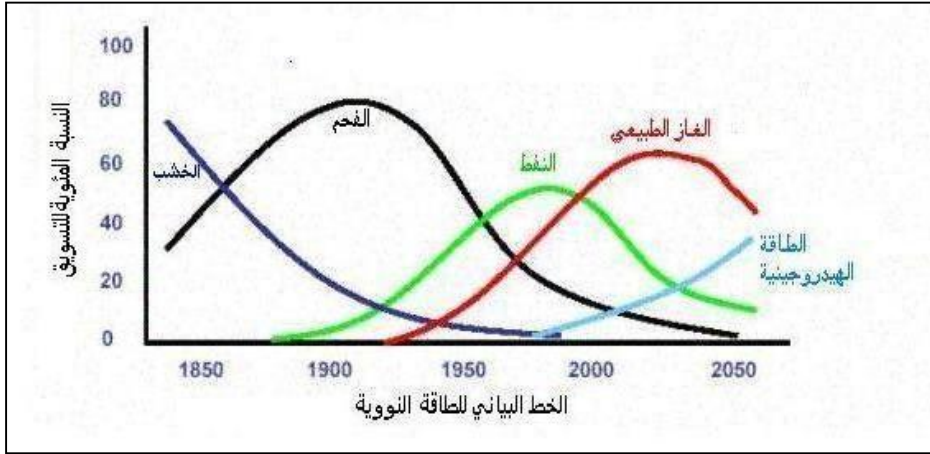
الفصل الحادي عشر

الطاقة الهيدروجينية

Hydrogen Energy

١-١١ : المقدمة Introduction

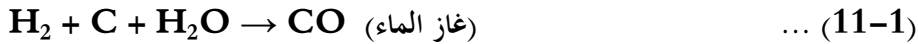
يعتبر الهيدروجين وقود المستقبل لسهولة نقله ونظافة احتراقه. ان مشاكل التلوث البيئي ناتج عن احتراق الوقود الاحفوري. ويظهر الهيدروجين كوقود بديل عنه سيساهم في تخفيف ظاهرة التلوث البيئي. ينتج الهيدروجين من تحلل الماء واحتراقه. ينقل غاز الهيدروجين بسهولة بأنايب لمسافات طويلة وبكلفة قليلة، وعند نقاط الاستخدام تربط مكائن الاحتراق الداخلي، وخلايا الوقود والتطبيقات المختلفة والمناسبة لاستخدامه. اكتشف الكيماوي البريطاني هنري كافندش (Hennery Cavendish) الهيدروجين كغاز ملتهب. وتم إعادة اكتشافه من قبل الكيماوي الفرنسي أتين لافوازو (Adenine Lavoisier) كعنصر. وفي عام ١٧٨٣ اقترح هادر (Hal dare) فكرة استخدام طاقة الرياح لإنتاج الطاقة الكهربائية والتي تستخدم مركب الالكتروليت للماء لإنتاج الهيدروجين، وفي عام ١٩٣٢ استخدم أئين باتند (Mennen patented) الهيدروجين كوقود للطائرات وفي عام ١٩٥٦ نجحت فكرة الهيدروجين كوقود للطائرات من قبل ناسا. يبين الشكل (١-١١) المخطط الزمني لنمو واستهلاك أنواع الوقود و الفترة التي بلغ فيها معدل الاستهلاك الأعظم في أسواق الوقود ويظهر فيه النمو المتصاعد لطاقة الهيدروجين. إن الهيدروجين سيحقق فكرة المستهلك المنتج عندما يقوم معظم الناس بتوصيل خلايا الوقود المستخدمة من قبلهم بشبكات الطاقة الهيدروجينية المحلية.



شكل (١١-١): يمثل مخطط زمني لنمو مصادر الطاقة.

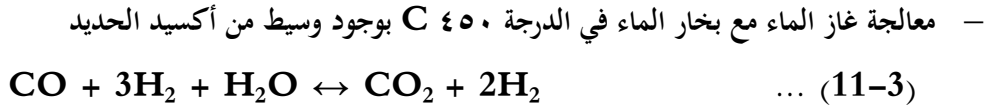
١١-٢: إنتاج الهيدروجين (Hydrogen Production)

إن الخاصية التي يتميز بها الهيدروجين هو استحالة توفره في الطبيعة بصورة منفردة، ويمكن إنتاجه من مواد أخرى مثل الماء والمكونات الهيدروكربونية، إن الهيدروجين المستخدم حالياً يتم إنتاجه من الغاز الطبيعي من خلال تفاعل بين الغاز الطبيعي وبخار الماء وتعرضه لعوامل أخرى محفزة، يتم فصل ذرات الهيدروجين عن ثاني أكسيد الكربون، ومن الممكن أيضاً الحصول على الهيدروجين صناعياً، من خلال تحويل الفحم الحجري إلى الحالة الغازية (طريقة بوش): تتم هذه الطريقة على عدة خطوات: إدخال البخار على فحم الكوك المسخن حتى 1200°C (درجة مئوية) يتم التفاعل الماص للحرارة:



خفض درجة الحرارة إلى حوالي 800°C وتفاعل الهواء ($\text{N}_2 + \text{O}_2$) مع الكربون و يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة ثانية إلى حوالي 1200°C لأنه تفاعل ناشر للحرارة.





لهاتين الطريقتين عيوب كثيرة، أهمها التكلفة الباهظة وزيادة انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون. وقد ركزت التطبيقات الصناعية على الطريقة الأولى و هي طريقة بوش

٣-١١: استخدامات الهيدروجين (Hydrogen utilization)

يستخدم الهيدروجيني كوقود في المجالات الآتية:-

أ- وقود لوسائط النقل (سيارات، طائرات) العاملة على خلايا وقود الهيدروجيني وتطبيقاتها الأوسع وصولاً لاستخدامها مستقبلاً في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

ب- بطاريات بسعات تتدرج من الصغيرة المستخدمة في الحواسيب الشخصية المحمولة وصولاً إلى بواخر النقل التي تنقل الهيدروجين الى محطات الطاقة المتجددة و أماكن توليد الكهرباء البعيدة لحل مشاكل و تكاليف الشبكات الطويلة و الضياعات الطاقية عبرها ووقود للمولدات الكهربائية المنزلية كما في شكل (١١-٢).

ج- وقوداً مولداً للطاقة الحرارية باحتراقه المباشر في المراحل في محطات الطاقة، إضافة لاستخدامه كوقود دفعي في الصواريخ.

د- وقوداً عاملاً في المفاعلات النووية، و نخص بالذكر منها تقنية مفاعل (ITER) الذي يعمل على مبدأ توليد الطاقة على سطح الشمس.

هـ- توليد الطاقة الكهربائية:

وضعت دراسات لمحطة توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الهيدروجين، هذه المحطة موجودة في إحدى الجزر في اتيلندا وتقوم بتأمين احتياجات هذه الجزيرة الصغيرة من الطاقة الكهربائية، حيث بلغت قدرة هذه المحطة (8 MW) صغيرة نوعاً ما مقارنة بمحطات الطاقة

الفصل الحادي عشر : الطاقة الهيدروجينية

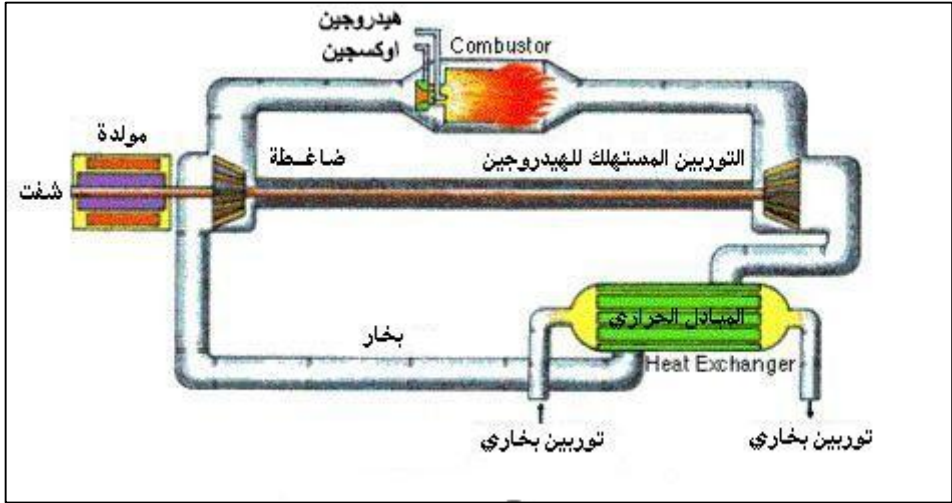
المتجددة (شمسية، ريحية، مائية....)، ومحطات التوليد التقليدية (البخارية و الغازية) كما موضح في شكل (٣-١١) وشكل (٤-١١).



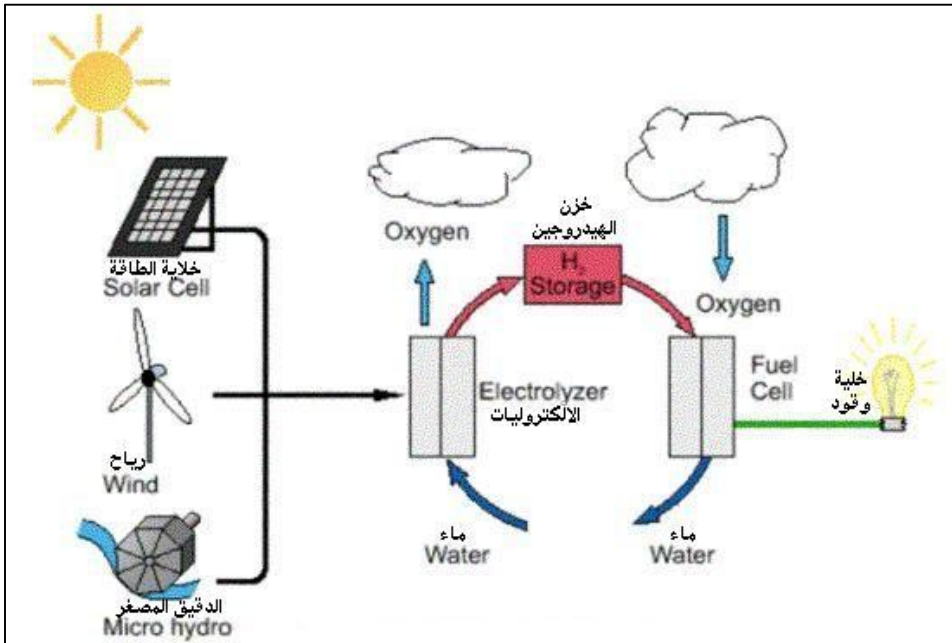
شكل (٢-١١): يمثل مولدة منزلية للكهرباء تعمل بالهيدروجين.

ووضعت مخططات و تصاميم لمحطات توليد الكهرباء بالهيدروجين و شرعت بعض الدول في تنفيذ بعض هذه المشاريع وفي مقدمتها اليابان التي كانت دائماً من الدول الطامحة إلى ضرورة إيجاد وقود يلبي الاحتياجات الصناعية دون أن تعيقه مشاكل الاحتياطات الإستراتيجية أو البيئة أو انخفاض القدرة الناتجة عنه. حتى وقتنا الحالي لا زالت عملية الحصول على الكهرباء بواسطة خلايا الهيدروجين تتم في منظومة مجمعة تضم جميع الوحدات، و تقوم الشركات الصانعة بدراسة إمكانية إنشاء محطة ذات وحدات منفصلة عن بعضها البعض، و لكن الأمر مرتبط بالوصول إلى استطاعت كبيرة، و بشكل عام سواء كان توليد الكهرباء يتم في هذه المنظومة أو في محطة كبيرة فإن الأجزاء تقريباً هي نفسها مع اختلاف في القياسات.

الفصل الحادي عشر : الطاقة الهيدروجينية



شكل (١١-٣): دائرة توضح استخدام الهيدروجين.



شكل (١١-٤): مخطط يوضح استخدام الهيدروجين لنقل الكهرباء بدلاً من الشبكة الكهربائية.

١١-٤ : خزن ونقل الهيدروجين (Tanks Hydrogen)

أن الهيدروجين من أخف العناصر ووزنه الجزيئي صغير وتسربه من الخزانات و الأنابيب يعتبر أسهل بكثير من نقل الوقود التقليدي، ويمكن استخدام الهيدروجين كوقود للنقل أو لتوليد الطاقة لسهولة نقله و قلت التكلفة لتخزينه، إضافة إلى توافر وسيلة نقل من مناطق الإنتاج إلى أماكن الاستخدام. يمكن أن نقسم طرق تخزين الهيدروجين إلى الطرق الآتية:

١١-٤-١ : الهيدروجين المضغوط (Compressed Hydrogen)

أن عملية ضغط الهيدروجين مشابهة لعملية ضغط الغاز، ولكن بما أن الهيدروجين أقل كثافة فإن الضواغط يجب أن تزود بموانع تسرب أكثر إحكاماً بقيم تتراوح بين (٢٥-٢٠٠) بار وعند تخزينه في خزانات اسطوانية الشكل ذات سعات صغيرة بحدود ٥٠ لتر، مصنوعة من الألمنيوم أو من مركبات الكربون - الغرافيت وعند استخدامه في المشاريع الصناعية الصغيرة و النقل على حد سواء. أما في حال كان استخدام الهيدروجين سيتم على نطاق أوسع فإن ضغوطاً بقيم تتراوح بين ٥٠٠-٦٠٠ بار.

١١-٤-٢ : الهيدروجين السائل (Hydrogen Liquid)

يتمتع الهيدروجين من أجل تقليل الحجم عند تخزين كمية كبيرة منه خصوصاً في حالة المركبات، أن الهيدروجين لا يتميع الا في درجة-٢٥٣°C (درجة مئوية) أي أعلى من الصفر المطلق ب ٢٠ °C هذه العملية تسبب، بفقدان الطاقة المخزونة إلى ٤٠%، و لكنها تؤدي إلى زيادة نسبة الطاقة مع ذلك فإن أفضلية الهيدروجين السائل تنبع من ارتفاع نسبة الطاقة الناتجة عن زيادة الكتلة. و هذا ما دفع إلى استخدامه في كل برامج الفضاء، و في حال تخزين الهيدروجين السائل يجب إن تكون الخزانات ذات عازليه كبيرة.

١١-٤-٣: الهيدروجين ذو الترابط الكيميائي (Bonded Hydrogen)

استخدام الهيدريدات المعدنية الصلبة والسائلة ومركبات الكربون الماصة هي الطرق الرئيسية المتبعة في عملية ربط الهيدروجين كيميائياً، ولضمان إمكانية تخزين حجوم كبيرة من الهيدروجين، يتم استخدام حبيبات من المادة الأساس لزيادة سطوح الارتباط، ثم يتم شحن المادة عن طريق حقن الهيدروجين بضغط عالية داخل الخزان المملوء بالجزئيات الدقيقة من المادة.

١١-٥: متطلبات الأمان (Safety Requirements)

بسبب الانتشار العالي والاحتراق السريع للهيدروجين يتطلب عند التعامل معه إجراءات ومعدات سلامة كفوءة عند إنتاجه ونقله وخزنه متضمنة:-

- ١- منظومات تحسس للنضوح.
- ٢- كاتمات اللهب.
- ٣- مصيدة أو مانعة لمنع التبخر إلى الخارج.
- ٤- أنابيب وخزانات تتحمل الضغط العالي ومقاومة للتآكل.

١١-٦: مخطط محطة إنتاج الهيدروجين (Hydrogen Production Station Plan)

تعتمد هذه المحطة على خطة فصل الهيدروجين من بخار الماء ثم تفاعلة مع غازات الجسم العامل ومن ثم توزيع الهيدروجين النقي من تيار الغاز العامل الذاهب إلى العنفات: خطة الفصل الغشائية مبنية بينياً في الشكل (١١-٥) تتكون المحطة من الأجزاء الرئيسية التالية:

- ١- وحدة فصل الهواء.
- ٢- وحدة تحويل الكربون إلى الحالة الغازية.
- ٣- مفاعل WGS منخفض درجة الحرارة.
- ٤- وحدة فصل الهيدروجين (HSMR).
- ٥- وحدات امتصاص تأرجحات الضغط (PSA).
- ٦- دائرة عنفة غازية لتوليد الكهرباء (GTCC).

لنفادي تشكل أية مركبات للكربون في مفاعل WGS باتجاه الجريان (وذلك وفقاً للمرحلة الأولى لطريقة بوش). ثم يمر بعد ذلك غاز Syngas على درجة حرارة عالية 450°C في عملية أديباتية في وحدة WGS التي تحول 87% من مركبات غاز Syngas إلى H_2 و CO_2 (و ذلك وفقاً للمرحلة الثانية لطريقة بوش) و ذلك وفق النسب التالية: ($3,0\% \text{CO}$ ، 23.3% CO_2 ، $34.2\% \text{H}_2$) مما يؤدي إلى رفع درجة الحرارة بحدود 200°C . تستخدم كل مفاعلات WGS الكبريتيد والأملاح الحامضية للكوبالت كمادة محفزة على شكل حاجر فصل، حيث يجتاز H_2S هذا الحاجر دون أن يتأثر بينما يتم تحويل COS إلى H_2S .

١١-٦-٢: قاعدة فصل الغاز (Gas Separation Method)

تتم هذه العملية باستخدام غشاء فصل هيدروجيني و هو ما يرمز له بالرمز (HSMR) وهو اختصار ل: (reactor H_2 separation membrane) و الذي يقوم بمهمة تغيير التركيب الكيميائي لغاز (Syngas) إضافة لعملية فصل الهيدروجين. إن درجة الحرارة القصوى التي تتم تحتها العملية 450°C تضمن حصول حركة كيميائية سريعة و أداء متوازن دائم من خلال تيار الهيدروجين المستمر الذي يتم انتزاعه في نفس الوحدة. التصنيفات الرئيسية الثلاثة للأغشية النفوذة للهيدروجين: الخزف النفوذ، والخزف الكثيف الناقل للأيونات الموجبة، والمعدن الكثيف، ونحن سوف نركز هنا على النوع الثالث والذي يكون على شكل أنابيب، والتي تتم فيها العملية بشكل أديباتي وبجريان منتظم للجسم العامل. يتكون الغشاء من الكبريتيد وفيلم رقيق من عنصر البلاديوم (Pd) سماكته ($10 \mu\text{m}$) مخلوط بنسبة 40% بالنحاس (Cu)، تحيط به قناة معدنية مسامية داعمة له، مع وجود طبقة من الأوكسيد لمنع الامتزاج بين الفيلم الرقيق (Pd+Cu) و الركيزة، و يتم اختبار هذه الأغلفة بظروف هي (تحت درجة حرارة $300-600^{\circ}\text{C}$ و ضغط 35 bar ، وبتركيز لغاز H_2S أعلى ب 10% من تركيز الهيدروجين). يمكن استخدام و وحدات فصل (HSMR) بسيطة التصميم و ذات كلفة غير عالية نسبياً. إن القسم

الفصل الحادي عشر : الطاقة الهيدروجينية

الأكبر من العملية يتم بسرعة في حدود ٢٠% الأولم من طول المفاعل و يتم فيها نفاذ القسم الأكبر من الهيدروجين. ثم يمرر الهيدروجين التالية الموجودة مع مخطط المحطة. بعدها على مبادل حراري ليخرج منه بدرجة حرارة ٣٠ C إلى ضاغط الهيدروجين ليرفع ضغطه إلى 60 bar و منه إلى أنابيب الهيدروجين. طبعاً تقوم دارة العنفة الغازية بتوليد الكهرباء كنتاج آخر عن هذه المحطة (إضافة للهيدروجين) و ذلك وفقاً للأرقام.

١١-٦-٣: خلايا الوقود (Fuel Cells)

في عام ١٨٣٩ اختراع خلايا الوقود الهيدروجينية في إنجلترا وليام روبرت جروف، لعدم جدوى استخدامه في تلك الفترة ظل لأكثر من ١٣٠ سنة تقريباً مجمداً، وعادت للحياة في عقد الستينيات، وذلك عندما طورت شركة «جنرال إلكتريك» خلايا تعمل على توليد الطاقة الكهربائية اللازمة لإطلاق سفيني الفضاء الشهيرتين «أبوللو» و«جيمني»، بالإضافة إلى توفير مياه نقية صالحة للشرب، كانت الخلايا في تلك المركبتين كبيرة الحجم وباهظة التكلفة، لكنها أدت مهامها دون وقوع أي أخطاء. ومن الممكن أن نعقد مقارنة بين تقنية خلايا الوقود الهيدروجينية وبطارية السيارة، من حيث فكرة دمج عنصري الهيدروجين والأكسجين لإنتاج الكهرباء، لكن في حين أن البطاريات تتولى تخزين الوقود والعامل المؤكسد بداخلها مما يستوجب إعادة شحنها من حين لآخر، فإن خلايا الوقود تعمل بصفة مستمرة لأن وقودها والأكسجين يأتيان من مصادر خارجية، كما أن خلايا الوقود في حد ذاتها ليست سوى رقائق مسطحة تنتج كل واحدة منها فولطاً كهربائياً واحداً، وهذا يعني أنه كلما زاد عدد الرقائق المستخدمة كلما زادت قوة الجهد الكهربائي. مبدأ عمل الخلية :

١. ينساب الوقود الهيدروجيني على صفيحة المصعد، في الوقت الذي ينساب فيه الأوكسجين على الصفيحة المقابلة و هي المهبط.

الفصل الحادي عشر : الطاقة الهيدروجينية

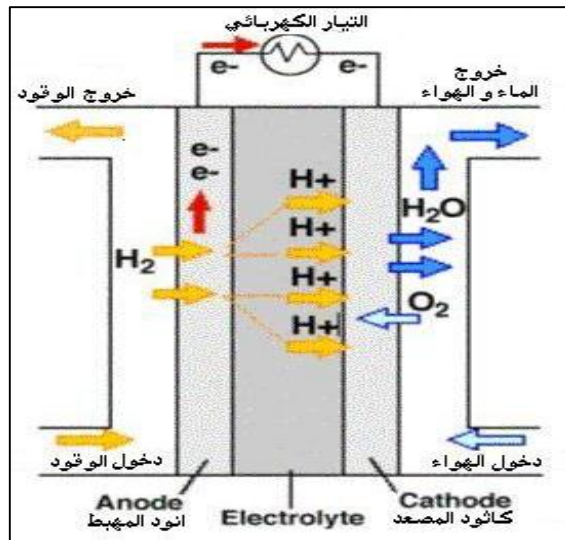
٢. يسبب غشاء الفصل (catalyst) والذي يوجد منها عدة أنواع منها ما يصنع من البلاتين انشقاق جزيء الهيدروجين إلى ذرتين تنشق كل منهما إلى أيون موجب، و الكترول سالب.

٣. تسمح صفيحة المحلل (electrolyte) فقط بمرور الأيونات (البروتونات) حاملة الشحنات الموجبة عبرها في حين تمنع مرور الاكترونات، فتقوم هذه الأخيرة بالحركة عبر دائرة وصل.

٤. على المهبط تتحد الأيونات الهيدروجينية الموجبة مع الكترولناتها السالبة ومع الأوكسجين ليتشكل الماء الذي يتدفق خارج الخلية.

إن النماذج البسيطة التي تصنع منها الخلية الهيدروجينية و المستخدمة في وسائط النقل تنتج حوالي Volt 1.16 لذلك يتم وصل عدد كبير من الخلايا لتوليد الطاقة الكهربائية المطلوبة. يبين الشكل (١١-٦) خلية هيدروجينية:

لقد تنوعت أماكن استخدام الخلية الهيدروجينية واختلفت التصميمم والأبعاد الموضوعه لها تبعاً للطاقة المطلوبة منها.



شكل (١١-٦) خلية الوقود الهيدروجينية الدائمة.

الفصل الثاني عشر

التأين الحراري والمولدات الكهروحرارية

Thermionic and Thermoelectric Generators

١-١٢ : المقدمة (Introduction)

قَبْلَ حوالي مائتي سنة لاحظ دوفاي (Du Fay)، إن الفراغ المحيط بالجسم الحار المحمر هو موصل للكهربائية. وفي عام ١٨٥٣ نشر ادم وند بيكول (Edmond Becquerel) في إحدى مشاهداته حول إمكانية بضعة فولتات كافية لتوليد تيار يمكن قياسه بكلفانوميتر عبر الهواء المسخن بين أقطاب للبلاتين وفقا لدرجات الاحمرار. عمل اليستر وجي تال (Lester and Geisel) خلال عام ١٨٨٢ الى ١٨٨٩ على أجهزة معزولة تحتوي على قطبي الكهرباء في درجة حرارة واطئة نسبيا، و لاحظ سريان التيار بسهولة اكبر إذا كان السلك الحار موجب الشحنة. في سنة ١٨٨٣ حدد توماس ألفا أدسن Thomas Edison Alva (Edison) ميكرا انبعاث التأين الحراري. وفي عام ١٨٩٩ وجد ثوم سون (J.J. Thomson) إن طبيعة قياس حاملات الشحنات يعادل نسبة الشحنة إلى الكتلة محددًا القيمة التقريبية للإلكترون تجريبيًا. وخلال ١٩٣٣ توصل لانغمير (Langmuir) إلى تفسير فيزيائي كفو لبناء عدّة أنواع من المحولات ذات التأين الحراري.

٢-١٢ : المبادئ الفيزيائية الأساسية لمحول التأين الحراري

(Basic Physical Principles of a Thermionic Converter)

يتكون محول طاقة التأين الحراري من سطحي قطب كهربائي، احدهما يسمى (الباعث) يحتفظ بدرجة حرارة عالية، بينما الآخر يسمى (الجامع) و يحتفظ بدرجة حرارة واطئة، وينفصلان بواسطة الفراغ أو البلازما كما في شكل (١-١٢). تكتسب الإلكترونات طاقة حرارية كافية من الباعث لتحصل على نوع من حركة التدافع العشوائية والتي تحفز البعض منهم على الهروب من

الفصل الثاني عشر : التآين الحراري والمولدات الكهروحرارية

سطح الباعث لاجتياز الفراغ أو البلازما الذي يفصلان الباعث عن الجامع، يدخلان الجامع ويعودا من خلال حمل خارجي إلى الباعث وهكذا تنتج الطاقة الكهربائية، في كل خطوة من الخطوات. هناك تعقيدات تُعيق انتقال الإلكترونات. إن أي دراسة على دالة عمل الأقطاب الكهربائية و السيطرة على شحنة الفراغ تعالج تلك المشاكل بالتفصيل.

٣-١٢: دالة الشغل أو الشغل السطحي (Work Function)

يمكن تصور ان تركيب الالكترود (Electrode) مثل ترتيب الذرات بعض الأنماط الهندسية، (وتسمى النظام الشبكي)، والمهنة حول مواقع اتزانها. تتحرك الالكترونات في المدارات الخارجية للذرة، وتمسك من قبل الذرة إلام بواسطة قوة ضعيفة وربما تترك مداراتها لدخول مدارات أخرى حول نويات أخرى. الالكترونات في المدارات الخارجية الأبعد التي لا تعود إلى ذرات معينة تسمى الالكترونات الحرة. عندما تفقد ذرة إلكترون، تُصبح موجبة الشحنة. ان القطب الكهربائي يشمل على ذرات موجبة الشحنة، عند درجة الصفر المطلق، ان الطاقة الحركية للالكترونات الحرة تحتل الحالات الواطنة الصفرية بعض الحدود القصوى لقيمة مستوى المنع (Fermi - level) وتسمى المستوى المانع. يحتفظ المعدن بالالكترونات الحرة بواسطة قوى التجاذب بين الشحنات المختلفة. إن مقدار قوة التجاذب يُمكن أن تُحسب باستعمال طريقة الصور. إن الحقل (الجانب) في الجهة اليمين من $x = 0$ متماثل في كلا الشكلين (٢-١٢) (a) و (٢-١٢) (b). إن القوة المسلطة على الإلكترون على بعد مسافة x من السطح تماماً مثل القوة التي تسلط على السطح المعدني عند استبدالها بشحنة موجبة مقدارها (e) على بعد (-x). إن مقدار القوة على الإلكترون تعادل:-

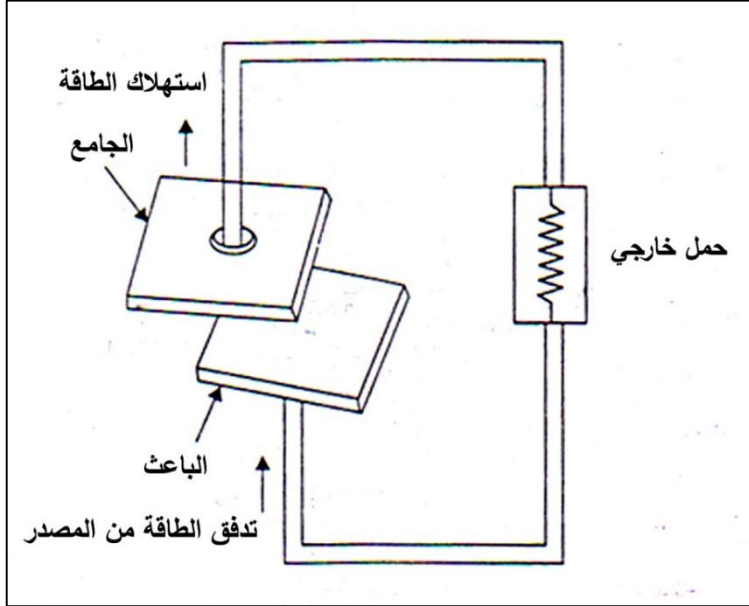
$$(e^2 \cdot 16\pi n e_0 x^2)$$

العمل. حيث ان: t: تمثل السمك.

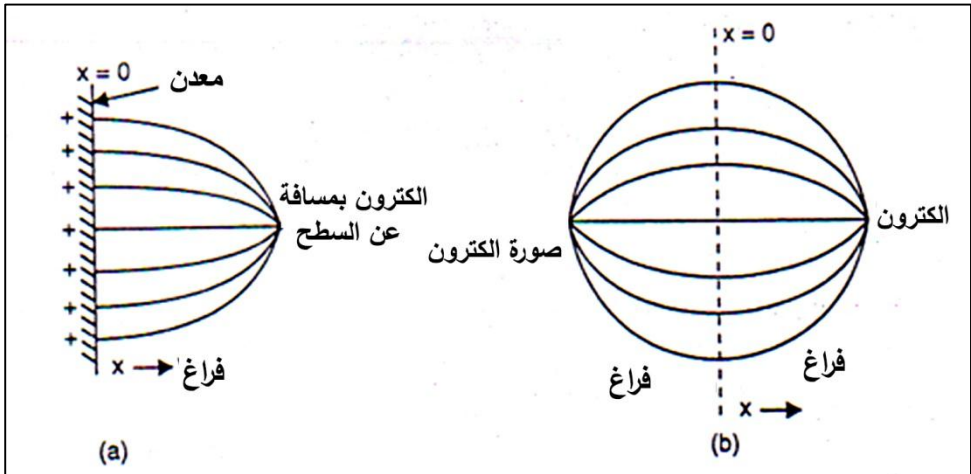
eo: تمثل النفاذية.

x: تمثل المسافة.

الفصل الثاني عشر : التآين الحراري والمولدات الكهروحرارية



شكل (١٢-١): محول طاقة التآين الحراري على شكل محرك حراري.



شكل (١٢-٢): أ- يمثل ضغوط المجال الكهربائي لالكترن قرب سطح المعدن.

ب- خطوط المجال الكهربائي لصورة الكترن موجب والكترن آخر سالب وعلى مسافة متساوية.

تحتوي الالكتروودات في محول طاقة التأين الحراري على مستويات طاقة (level- Fermi) مختلفة. الباعث يحتوي على مستوى منع (Fermi-level) منخفض بينما يمتلك الجامع مستوى منع (Fermi-level) عالي نسبياً، لكي يترك الالكترون سطح الباعث، يتطلب الالكترون كمية أكبر من الطاقة لكي يتمكن من ترك الجامع. تكون دالة عمل الباعث أكبر من دالة عمل الجامع. عند تجهز حرارة كافية من مصدر ذو درجة حرارة عالية إلى الباعث، بعض من الالكترونات الحرة عالية الطاقة في مستوى المنع (Fermi-level) ستحصل على الطاقة الكافية للهروب من سطح الباعث. إن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من قبل الالكترون في الباعث تعادل دالة عمل الباعث. في الحالات المثالية، الالكترونات تجتاز الفجوة بين الأقطاب المتداخلة بين الباعث والجامع بدون فقدان أي نوع من الطاقة. عندما تصطدم الالكترونات بالجامع ستتحلى عن طاقتها الحركية زائداً طاقة تساوي دالة عمل الجامع، عندما يتطلب كمية مساوية الى طاقة وظيفه عمل الجامع تجعل الالكترون يتمكن من عبور سطح الجامع. هذه الطاقة يجب أن تطلق حرارة من الجامع ذو درجة منخفضة. عندما يصل الالكترون الى مستوى طاقة المنع (Fermi) للجامع. تبقى في طاقة عالية أكثر من الالكترون في مستوى طاقة المنع في الباعث. إن طاقة الالكترون الكامنة العالية ربما تسبب مرور التيار خلال أحمال خارجية.

١٢-٤: السيطرة على شحنة الفراغ (الفضاء) (Space Charge Control)

تشكل الكتروونات المائع العامل لمحول التأين الحراري (Thermionic) والمولدة لشحنة الفراغ في المنطقة بين الباعث والجامع. مالم تكن هناك خطوات تم اتخاذها للحد من هذا البناء للشحنة التي سوف تعمل لتحديد كفاءة محول التأين الحراري. الأيونات الموجبة المتقدمة في حدود الفراغ بين الأقطاب المتداخلة في شحنات الفراغ للقيمة المرغوبة ويعطي زيادة لتغيرات توزيعات الجهد. العوامل التي تُعقّد هذه الظاهرة هما التأين السطحي وتبعثر الالكترونات والطبقات المكتنظة للسطح. تصور وسط غيمة الالكترون المتعادل الأكثر شيوعاً هي

الفصل الثاني عشر : التأين الحراري والمولدات الكهروحرارية

السيزيوم. ضغط السيزيوم في مولد التأين الحراري يُزداد عند ثبوت درجة حرارة الباعث، إن تيار الأيون المنبعث حالياً سيزداد بشكل طردي في بادئ الأمر، عندما يزداد السيزيوم على السطح التخفيض المطابق لدالة العمل السطحية وسيطى نسبة زيادة انبعاث الأيون؛ في الحقيقة، مع يُواصل الارتفاع في الضغط وبعبارة أخرى، يزداد انبعاث الالكترتون بزيادة ضغط السيزيوم بصورة معينة والتي قد تؤدي الى نقصان في انبعاث الأيون. من الناحية الأخرى، انبعاث ألكترتون سيزداد بزيادة ضغط السيزيوم. وهناك قيمة ضغط السيزيوم. التي تنتج ايونات كافية لتحديد شحنة الحيز. ان دالة العمل (Q_{nn}) السطحي لذلك الضغط تدعى دالة العمل المحايد. قيمة (Q_{nn}) للمعدن المعطى هي دالة ضعيفة لدرجة الحرارة السطحية ولان المدى العملي لدرجات حرارة الباعث يُستخدم في الحقيقة في محولات التأين الحراري قليلة (1200°C إلى 1800°C درجة مئوية) لأغراض عملية قيمة (Q_{nn})، لكل معدن تكون ملائمة. بسبب طبيعة حالة الغاز المُؤَيَّن بين الأقطاب الكهربائية، إقترح همكوست ثلاثة أنماط رئيسية من محولات السيزيوم التأين الحراري وهي:

أ. نمط بلازما (Plasma Mode):-

هذا النمط يتميز بضغط السيزيوم المنخفض ودرجة حرارة عالية للباعث نتيجة لباعث السيزيوم الحر.

ب. نمط الضغط العالي (High Pressure Mode):-

في هذه الحالة، ضغط السيزيوم قد يكون في معدل قليل من ($1 \text{ mm of Hg} = 1 \text{ torr}$) بسبب للباعث إن يكون السيزيوم مغطى ويتطلب حيز اقطاب صغيرة لتحديد الفقدان والضياع بسبب اصطدام الالكترتون.

ج. نمط القوس (The Arc Mode):-

يحدث في درجة الحرارة الأوطاً من نمط الضغط العالي.

١٢-٥: مواد محول التآين الحراري (Thermionic Converter Materials)

يجب ان توفر الخواص الاتية في مواد محول التآين الحرارة، إنَّ الخواص الأكثر أهميةً في الباعث الجيد تتطلب المواد الآتية:-

- أ. قابلية انبعاث الكتروني عالية مع معدل منخفض من التدهور.
 - ب. انبعاثية منخفضة، لتقليل نقل الحرارة بالإشعاع من الباعث.
 - ج. المادة يجب أن تكون في بعض الحوادث مثل التبخّر وتكاثف متتالي على الجامع، وان لا تؤثر أو تغير خواص الجامع وتجعلها اقل فعالية.
- جدول (١٢-١): يعطي بعض القيم التقريبية لدالة الشغل لبعض المواد المستخدمة في الباعث.

Material	ϕ_{nn} Volts
Polycrystalline Tungsten	2.65
Polycrystalline Rhenium	2.80
Polycrystalline Niobium	2.55

إنَّ المعايير الرئيسية لإختيار مادة الجامع هي التي تملك دالة شغل منخفضة قدر الإمكان. لأن درجة حرارة الجامع تبقى تحت أي درجة حرارة التي ستسبب إشعاع إلكترون. ان الخواص الإشعاعية الفعلية لدالة عمل الجامع تبقى في كل الأحوال واطئة. أقل من الطاقة التي يمتلكها الإلكترون يجب أن يتخلّى عن سطح الجامع. في الممارسة، القيمة الأوطأ لدالة عمل الجامع التي يُمكن أن تُبقي بشكل ثابت حوالي ١,٥ إلكترون فولت (eV). لدرجة حرارة جامع الدرجة المثالية $1273k$. إن القيه المثلّي إلى ϕ_c تساوي ١,٦ إلكترون فولت (eV). يستعمل الموليبدنوم على نحو واسع كجامع؛ على فرض ان تكون قيمة دالة العمل 1.7 إلكترون فولت (eV).

٦-١٢: مولدات الكهروحرارية (Thermo Electric Generators)

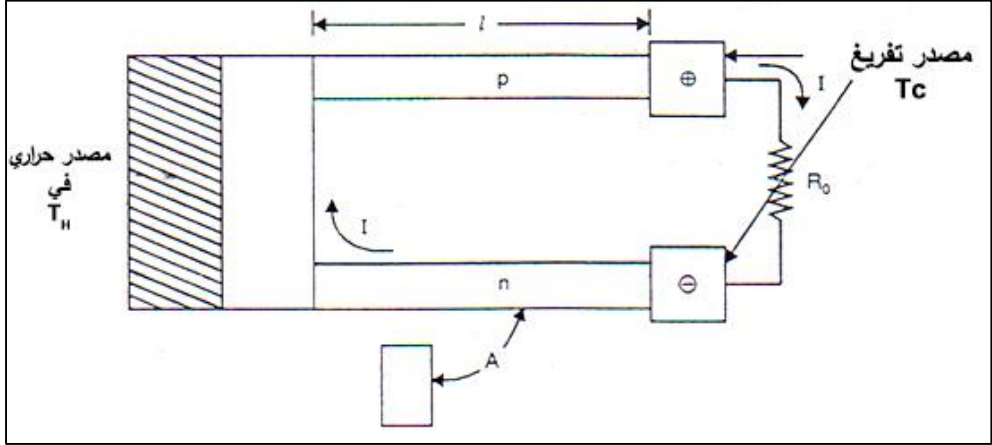
ان محول الطاقة المتمثل بالشكل (٣-١٢) يتكون من أجزاء غير متحركة تُحوّل الحرارة إلى قدرة كهربائية وانه مصدر موثوق للتجهيز بالطاقة مما دفع المهندسين للإعادة النظر في مجموعة ظواهر التأثيرات الكهروحرارية. هذه التأثيرات، عرفت منذ أكثر من مائة سنة. بالمبادئ الأساسية لمولدات الكهروحرارية وضعت في عام ١٩٥٣ من قبل العالم التنكيرج (Altenkirch) أشار بأن المواد التي تملك معاملات $see\ beck$ عالية، فإنها تقلل الضياع الحراري للمعدات، مع ذلك فقد حددت الخواص المرغوب بها في تصنيع المعدات الحرارية. أصبحت هذه الأدوات معروفة وموجودة بشكل واسع بعد إجراء عدد من التصحيحات المرغوب بها. أن تلك المواد أصبحت معروفاً ومتوفرة جداً بعد فترة قليلة من إيجاد أشباه الموصلات خلال الثورة التقنية للخمسينات واستخدامها في صناعة المعدات الكهروحرارية.

٧-١٢: تحليل المولد الكهروحرارية

(Analysis of a Thermoelectric Generator)

إن الفرضيات الأساسية المعتمدة لتحليل ظاهرة المولد الكهروحرارية بنيت على عدت افتراضات. هذا التحليل مستند على النموذج الموضح في شكل (٣-١٢). يتكون من عنصري لشبه موصل، واحد من مادة p -type والأخر من مادة نوع n -type إن الفرضيات البسيطة اعتمدت في تحليل مولد الكهروحرارية:-

- يَعْمَلُ المولّد بين درجتَي الحرارة T_H و T_C درجات الحرارة الفعلية في الملتقيات بين مواد أشباه الموصلات النشيطة وخزانات مرتبطة بها.
- ليس هناك انتقال حرارة بين منطقة الحمل في T_H و T_C ماعدا انتقال حرارة داخلية بين أجزاء المولد (ذراعي الجهاز).
- إن المقاومة الكهربائية للملتقى تهمل عنده مُقَارَنتها بمقاومة الأذرع.



شكل (١٢-٣): نموذج مولد كهروحرارية.

د. إن حدود مساحة المقطع العرضي ثابتة .

هـ. المقاومة النوعية الكهربائية \mathcal{P} والموصلية الحرارية λ ومعامل seebeck للمادة غير معتمدة على درجة الحرارة.

و. مقاومة الإنصال الحرارية بين المصدر واتصال (bus bar) بين n-type و p-type يُمكن جعلهما صغيران لتقديم عزل كهربائي جيد. وتستعمل فرضيات مماثلة لتحليل التصريف.

١٢-٨: القدرة الخارجة من المولد (Power output of a Generator)

إن القدرة الناتجة من المولد = مربع التيار \times المقاومة الحمل

$$P_0 = I^2 R_0 \quad \dots (12-1)$$

حيث إن: P_0 - الفولتية الناتجة، I = التيار R_0 = مقاومة الحمل

إن فولتية الدائرة المفتوحة $= \Delta \alpha T$ حيث إن:-

α = معامل سيبيك للملتقى (Combined Seebeck Coefficient)

$$\text{And } \Delta \alpha = |\alpha_n| + |\alpha_p| \text{ and}$$

إن التيار المسحوب من المولد يمكن حسابه بالمعادلة الآتية :-

$$I = \alpha \Delta T \setminus R + R_0 \quad \dots (12-2)$$

$$\gamma = \frac{A}{L} \quad \text{مساحة المقطع العرضي / الطول}$$

$$R = p_n \setminus \gamma_n + p_p \setminus \gamma_p \quad R_0 \quad \dots (12-3)$$

ولغرض الحصول على أقصى قدرة للمولد يتم عرض القدرة الناتجة من المولد بواسطة نسبة المقاومة 'm' والتيار في المعادلة (12-4) الآتية :-

$$P_0 = \frac{(\alpha \Delta T)^2 m'}{(1+m')^2 R} \quad \dots (12-4)$$

ان افضل تصميم للمولد هو ان تكون قدرته الناتجة أقصى ما يمكن وان يكون حجمه ووزنه اقل ما يمكن. للحصول على هذه الأهداف من الضروري:-

- زيادة القدرة الناتجة لكل وحدة مساحة المقطع العرضي الكلي $P_0 \setminus A_{tot}$.

- ان طول الاجزاء قصيرة قدر الإمكان.

وعندما تكون 'm' تساوي واحد في المعادلة (12-4) ويُقسّم على مساحة العناصر (A_n) و $A_p =$ تصبح المعادلة كالآتي:-

$$\frac{P_0}{P_{tot}} = \frac{(\alpha \Delta T)^2}{4e \left[\left(\frac{\rho_n}{A_n} \right) + \left(\frac{\rho_p}{A_p} \right) \right] [A_n + A_p]} \quad \dots (12-5)$$

حيث إن $A_{tot} = A_n + A_p$ وهي بافتراض أنّ (n -Type) و (P-Type) من نفس

نوع العنصر. هذه الكمية ستكُون أقصى ما يمكن عندما يكون المقام اقل ما يمكن. نأخذ اشتقاق

مقام الكسر نسبة إلى $A_n \setminus A_p$ نحصل على أقصى نسبة مساحة وفق المعادلة:-

$$A_n \setminus A_p = [p_n \setminus p_p]^{1/2} \quad \dots (12-6)$$

الفصل الثالث عشر

الطاقة النووية

Nuclear Energy

١-١٣ : المقدمة (Introduction)

عبر العالم اينشتاين عن العلاقة بين الكتلة والطاقة بمعادلته التالية:

$E = M C^2$ حيث أن E تمثل الطاقة و m تمثل الكتلة، و C تمثل سرعة الضوء في الفراغ (3×10^{10} كم/ثا. توضح معادلة اينشتاين، إن كتلة الجسم، هي مقياس لطاقته الفعلية، وكل جسم يملك طاقة هائلة حتى في حالة السكون، وتزداد أثناء الحركة. تبين هذه المعادلة إمكانية تحرير كميات هائلة من الطاقة عند التعامل مع المواد تتحرر من التفاعلات النووية طاقة أكثر من ١٠ مرة من تلك الطاقة المتولدة في التفاعلات الكيماوية. من هذا المبدأ تبنى مصممو محطات توليد الطاقة الكهربائية، باعتماد الوقود النووي مصدر لتشغيل المحطات الكهرونووية بدلا من الأنواع الأخرى من الوقود المستخدم في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

٢-١٣ : أنواع المفاعلات (Reactors Types)

توجد عدة أنواع من المفاعلات النووية وكما يأتي:-

أ. مفاعلات ثابتة، كمحطات توليد الطاقة الكهربائية، ويبين الشكل (١-١٣) مخطط لهذا النوع من المفاعلات (أ) يمثل مفاعل نووي، (ب) يمثل مفاعل الماء المغلي و(ج) يمثل مفاعل الاندماج النووي.

ب. مفاعلات تُسيّر وسائل النقل مثل الطائرات والقطارات والغواصات والبواخر الحربية وغيرها.
ج. المفاعلات المتنقلة والتي يمكن فك أجزاءها إلى قطع صغيرة يمكن حملها بالطائرات، وإعادة نصبها في الأماكن كالقواعد أول مفاعلات توليد الطاقة تم إنتاجها تجاريا في الولايات

المتحدة الأمريكية وهي المفاعلات الحرارية واستخدم فيها الماء الاعتيادي كمهدئ للنيوترونات والتبريد ولعكس النيوترونات التي تحاول ترك قلب المفاعل ويستخدم في الوقت الحاضر نوعان من المفاعلات التي يستخدم فيها الماء الاعتيادي.

١. الماء المضغوط.

٢. الماء المغلي.

١٣-٣: استخدامات المفاعلات (Reactors Utilization)

تستخدم مفاعلات الطاقة في إنتاج الكهرباء وإنتاج الحرارة فالمفاعل النووي هو جهاز تتم فيه السيطرة على التفاعل النووي لأنشطاري المتسلسل. عند انشطار نواة وقود نووي قابل للاحتراق مثل (اليورانيوم والبلوتونيوم - الخ) لتوليد نيوترونات جديدة حرة تسبب انشطارات في نويات جديدة وهكذا تستمر عملية التفاعل المتسلسل مولدة حرارة عالية مما يجعل المفاعل له مجال أساسي في إنتاج الطاقة. تستغل المفاعلات حالياً بصورة رئيسية لإنتاج الكهرباء والمواد القابلة لانشطار ففي المفاعلات النووية تنشطر إحدى المواد النووية كنظير اليورانيوم (٢٣٥) أو نظير البلوتونيوم (٢٣٩) أو نظير اليورانيوم (٢٣٣) بواسطة نيوترونات وتكرر هذه العملية بفعل انشطار نووي آخر من النظير المستخدم بواسطة النيوترونات المتولدة أثناء الانشطار مكونة التفاعلات المتسلسلة ونتيجة لذلك تنتج كمية كبيرة من الحرارة ومن ثم تنتقل بواسطة مادة مبردة إلى مبادلات حرارية يتم خلالها تبادل حرارة على جانبي المبادل بين الوسط البارد لأخذ الحرارة من الوقود وبين الماء تحت ظروف معينة من ضغط وحرارة وبهذا تتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة كامنة في الماء أو البخار ومن ثم ينقل البخار إلى توربينات تحرك مولدات كهربائية تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية. يتكون مفاعلات الطاقة من المكونات الأساسية كما في الشكل (١٣-٢) أ، ب، ج، د الآتية:-

الفصل الثالث عشر : الطاقة النووية

١. قلب المفاعل المتكون من الوقود وقضبان السيطرة.
 ٢. الدورة الأولى وتحتوي على المادة المبردة والناقلة للحرارة المتولدة في الوقود.
 ٣. الدورة الثانية التي تكسب الحرارة من الدورة الأولى خلال المبادلات الحرارية.
 ٤. وتربينات بخارية، مولدات كهربائية ومجموعة كبيرة ومتطورة من المضخات والأنابيب ذات المواصفات العالية.
 ٥. منظومة سيطرة تتحكم بجميع فعاليات المحطة.
- إن وقود المفاعلات النووية، عبارة عن مواد نووية قابلة للانفجار، لذا تعطى أهمية خاصة لكيفية إيقاف عمل الوقود، أو السيطرة عليه عند الحاجة، بحيث يمنع في أي لحظة ارتفاع درجة حرارة الوقود أعلى من الحرارة التصميمية اعتمادا على متطلبات أمان خاصة وعالية الدقة في هذا المجال. إن الاختلاف بين المحطات الحرارية والغازية والنووية هو فقط مصدر الحرارة المستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية كما موضح في الشكل رقم (١٣-٢) حيث (أ) يمثل محطة نووية و(ب) يمثل محطة حرارية و(ج) يمثل نوع اخر لمحطة نووية.
- جدول رقم (١٣-١): يوضح عدد المفاعلات النووية وطاقاتها ميكائوات لبعض دول العالم لعام ١٩٨٠.

الملاحظات	مجموع المفاعلات		ألدوله	ت
	الطاقة بالميكائوات	العدد		
	١٠١١٩٩	١١٦	أمريكا	١
	٩٣٢٥	١٩	روسيا	٢
	١٤٦٢٥	٢١	اليابان	٣
	١٠٥٢٠	٢٧	المملكة المتحدة	٤
	١٠٧٢٢	٢١	ألمانيا	٥
	١٦٥٢٣	٢٥	فرنسا	٦
	٧٣٤٩	١٠	السويد	٧
	٦٦٩٦	١٢	كندا	٨
	٦٥١٣	٩	اسبانيا	٩

الفصل الثالث عشر : الطاقة النووية

١٠	سويسرا	٤	١٩٦٢
١١	بلغاريا	٤	١٧٦
١٢	بلجيكا	٥	٣٥٦٠
١٣	الهند	٨	١٦٨٤
١٤	ايطاليا	٤	١٣٨٧
١٥	هولندا	٢	٥٠٣
١٦	الأرجنتين	٢	٩١٩
١٧	كسلوفاكيا	٤	١٤٣٠
١٨	فلنده	٣	١٥٠٠
١٩	كوريا	٣	١٧٩٨
٢٠	تايوان	٦	٤٩٢٤
٢١	باكستان	١	١٢٥
٢٢	النمسا	١	٦٩٢
٢٣	البرازيل	٢	١٨٧١
٢٤	هنكاري	٤	١٧٦٠
٢٥	إيران	٢	٢٤٠٠

١٣-٤ : كيف تعمل محطات توليد الكهرباء من الطاقة النووية

(How the Electric-Nuclear Power stations doing)

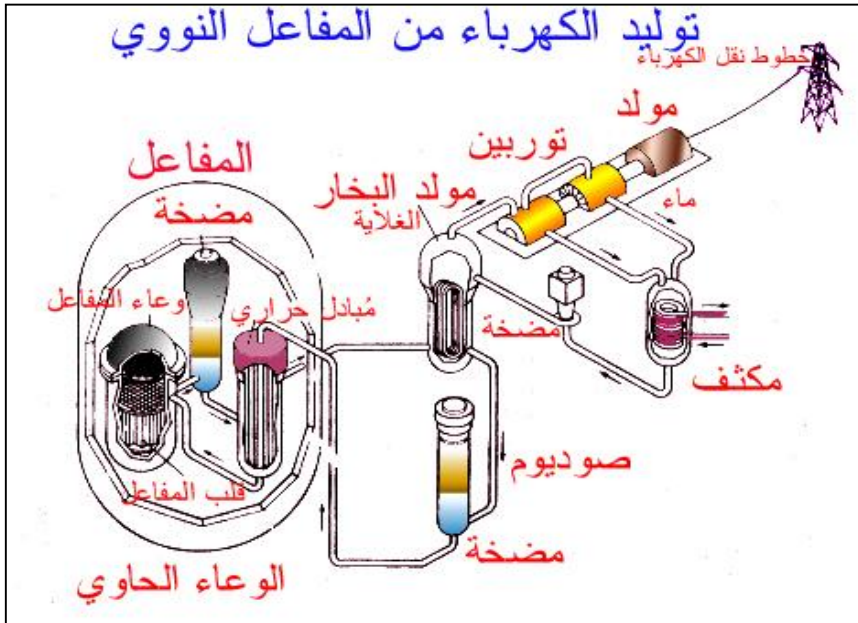
تشبه المحطة النووية، في الكثير من مكوناتها، المحطات البخارية التقليدية، التي تنتج

الطاقة من حرق أنواع الوقود الحفري، ولكن الاختلاف الأساسي في الآتي:-

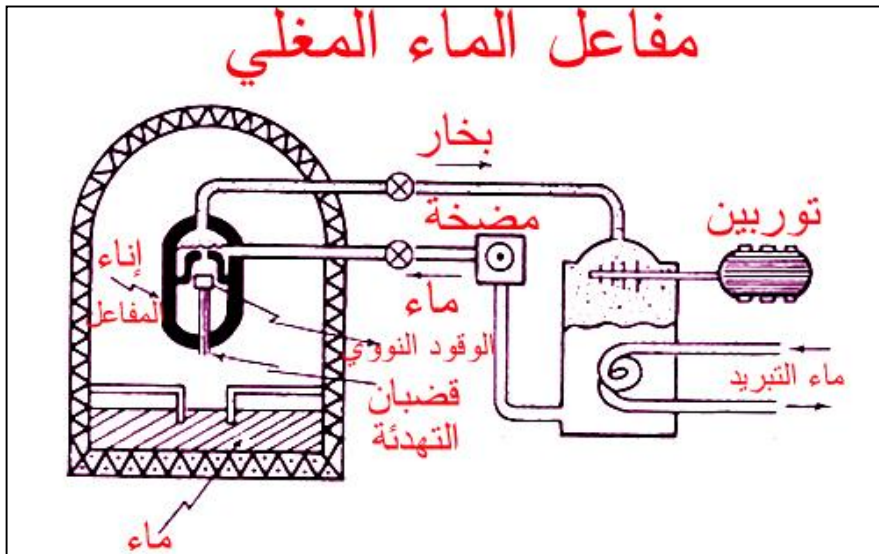
١. طريقة توليد الحرارة اللازمة لتكوين البخار.

٢. التحكم في توليد الحرارة.

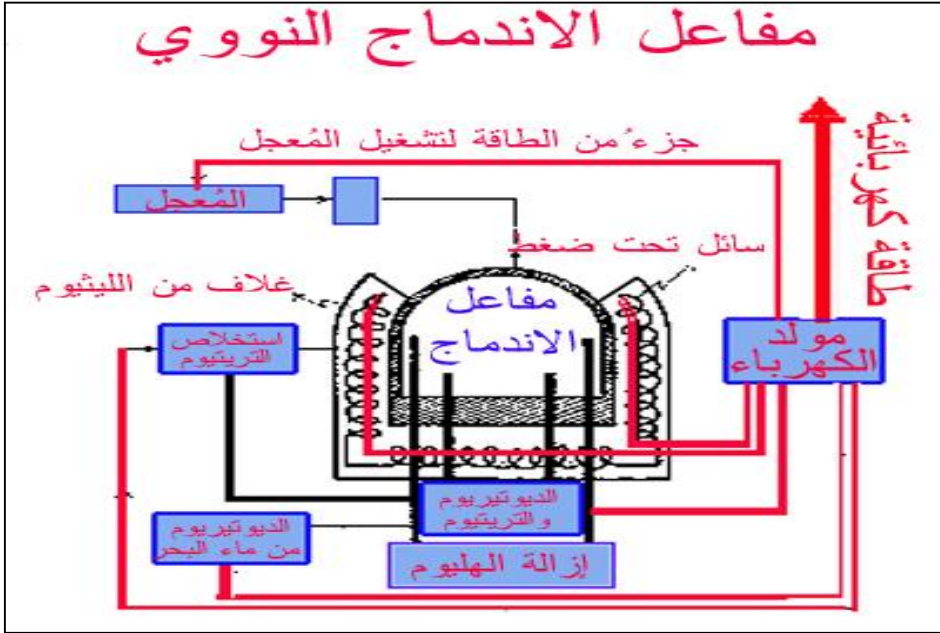
٣. إجراءات الأمن ضد الإشعاعات.



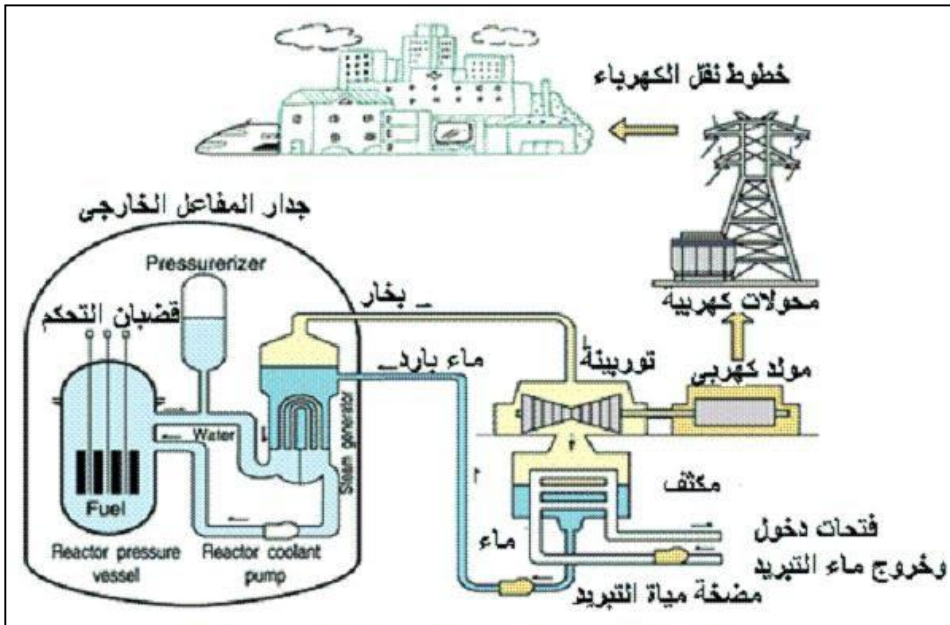
شكل (١٣ - أ): يبين توليد الكهرباء من المفاعل النووي.



شكل (١٣ - ب): يمثل مفاعل الماء المغلي.

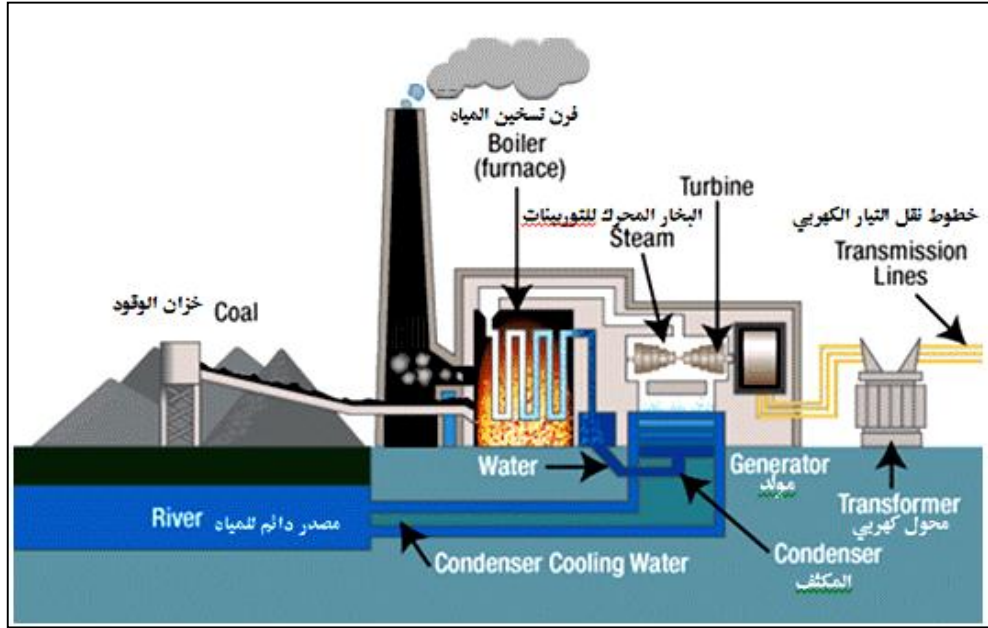


شكل (١٣-١ ج): يمثل مفاعل الاندماج النووي.

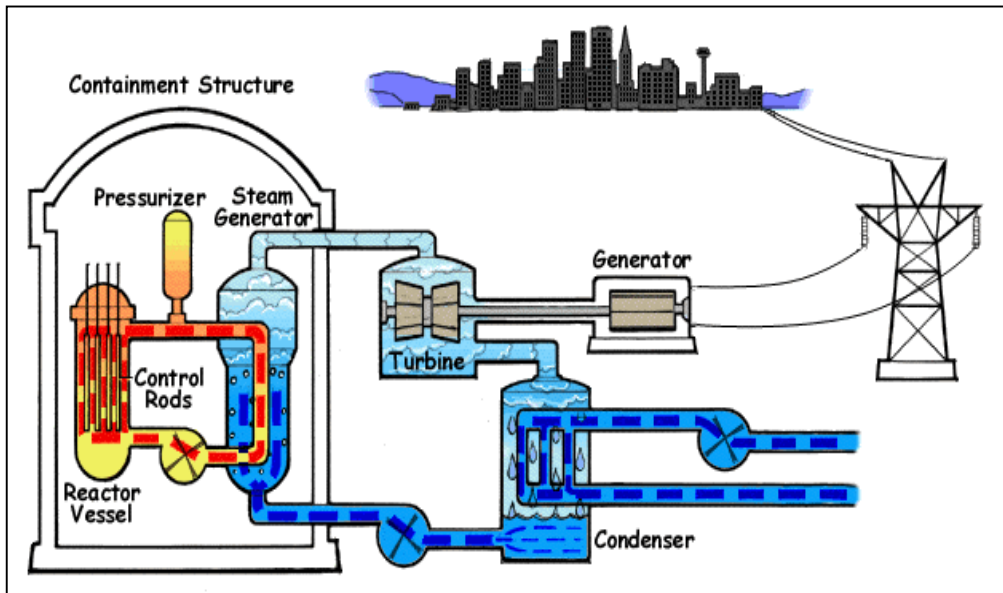


شكل (١٣-٢ أ): يمثل مكونات المحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية.

الفصل الثالث عشر : الطاقة النووية

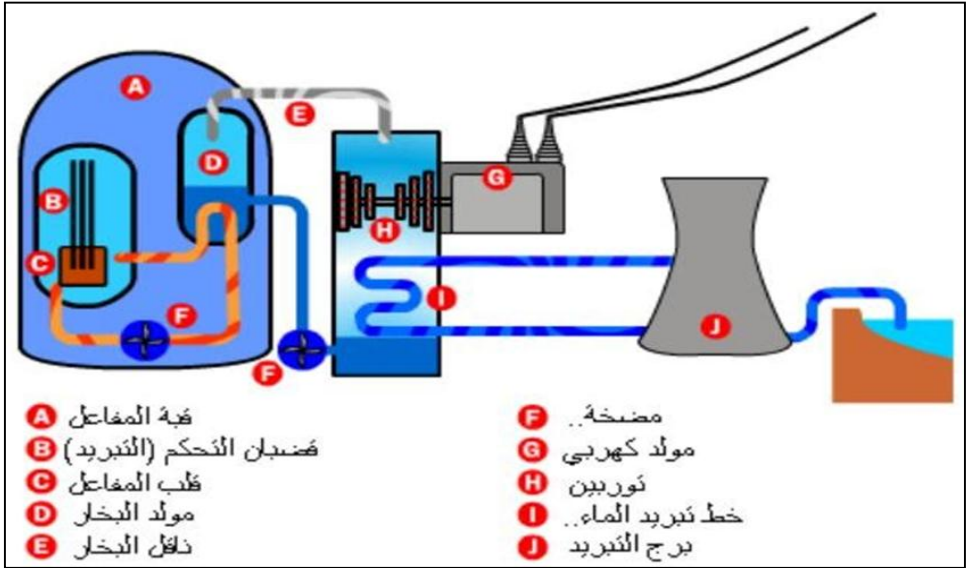


شكل (١٣-٢ ب): يمثل مكونات المحطات البخارية لتوليد الطاقة الكهربائية.

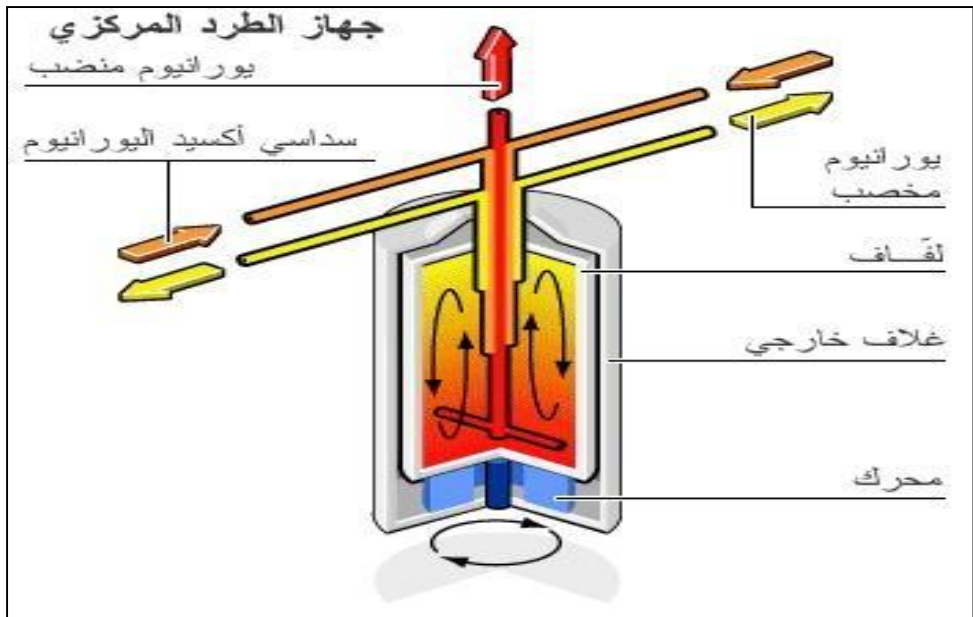


شكل (١٣-٢ ج): يمثل محطة نووية لتوليد الطاقة الكهربائية.

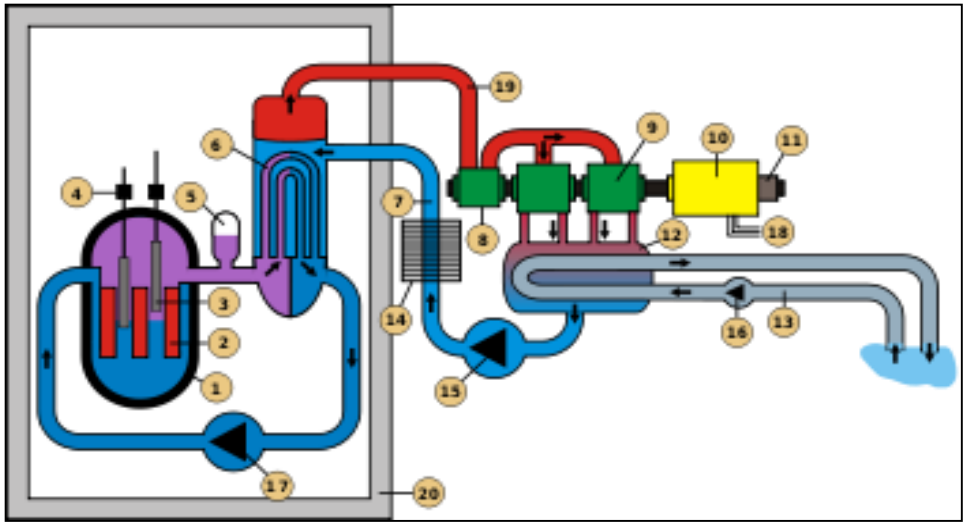
الفصل الثالث عشر : الطاقة النووية



شكل (١٣-٢ د): يمثل محطة نووية لتوليد الطاقة الكهربائية.



الفصل الثالث عشر : الطاقة النووية



1. Bent Sorensen Ansterdan New York 2004
2. Baader W.Dohne and Brendorfer 1978 "Biogas" in theory and practice .Land Wirt chaffs verlag Darmstadt.
3. Beckman W. Schofferp 1966. Solar energy. Ind. Energ. Chem.44:1998.
4. Biomass Energy Institute 1978 "Biogas production from Animal manure ".Winnipeg–Manitoba.
5. Brof. D. S.Chauhan S. K. Srivastava non- conventional energy resources New Delhi 2004
6. R.G.Van Overstrasten and R.P.Mertens. Phys. Technology and use of Photovoltaic's Published by Adam Higher Ltd 2006
7. F.S Johnson journal of Meteorology The Solar Constant 1954
8. S.P.Sukhatme Solargy Principles of Thermal Collection and Storage New Delhi 1989
9. Bent Sorensen Renewable Anergy St. Louis London 2004
١٠. محاضرة الخبير نزار بديع وزارة الصناعة في شركة الغاز في ندوة الخلايا الشمسية المقامة في كلية المامون في ٤-٣-٢٠١٢.
11. Department of Energy Report DOECH 10093-7 (Solar Energy Research Institute Golden, CO1987).

12. J.A. Duffie, W.A. Beckman Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York.
13. M. P. Thekaekara, Solar Energy 18 309 (1976) Solar Radiation Measurement: Techniques and Instrumentation.
14. A. Whillier, Solar Energy 9 164 (1965), Solar Radiation Graphs.
15. Solar Thermal Power, Solar Technical Information Program, Solar Energy Research Institute, SERI\ SP-273-3047, February, 1987.
16. S.P. Sukhatme, Solar Energy Principles of Thermal Collection and Storage, Tata Mc Graw- Hill, New Delhi (1989).
17. S.W. Angrist Direct Energy Conversion Allyn and Bacon Inc. Boston (1976).
١٨. د. فياض عبد الطيف، د. حميد مجول/فيزياء الجو والفضاء - الجزء الاول - الانواء الجوية - مطبعة بغداد ١٩٨٢.
19. Syrian Meteorological Dep, Wind Atlas in Syrian Arabic Republic, Damascus. 1998.
20. UNDD, practical Guidebook for development of Renewable energy systems for village, China. UNDD, 2002.

21. Hugh Piggott, Lts ABreeze. A Guide to Choosing Wind Power, Cente for Alternative Technology. 1998.
22. E. W. Golding, The Generation of Eleedctricity by Wind power. Red Burn Limited, Trowbridge, 1976.
23. Republic of China, Project profile, Development of 100MW offshore wind farm in Hong Kong, The Hong Kong Electricity Co. Ltd, 2000.
24. David, A S pera, Wind Turbine Technolohy, Fundamental Concepts of WindTurbine Engineering, ASME Press, 1994
25. L.A.Kristoferson, and V. Bokalders, Renewable Energy Technologies. Their Application in Develping Countries, LTDG Publishing, 1991.
26. Non. Con ventional Energy Resourles .praf.D.S chauhan. S.K srivastava. Newdeltti 2004
27. T. Kovarik C. popher and aerodgnami. Hurst wind energy Northbrook, Illinois 1979.
28. J. H. Dwinnell (priniple of aeradynamies. Mecraw. Hil New .york 1949.
29. P C. Put non power from the wind van Nostrand Rein hold. new York (1948)
30. DR. Smith optinum rotor diameter for horifon tad axis wind turbines, the influence of wind shear assa mphiees wind (angineeriy 6lm) 1201811962.

31. G.L. JOHNSON. wind energy system prentice – Hall
Englewood cliffs N.J.P.7-13(1985).
32. Non-conventional energy resources prof. D-s chauhan
New Delhi 2004.
33. C-P-mitchell nutrients and growth in short rotation
forestry Bio mass 1990.
34. B-M Jenkins physical properties of Biomass –Bio mass
hand book New York 1989.
35. E-Rosill –call –j– woods and D-ohall country by country
survey of biomass used and potential for energy1992.
36. International market report may 2010 p.46
37. H. A. Liebhafsky and E.J. Cairns. fuel cells and fuel
Batteries New York: John Wiley and sons, Inc (1968).
38. G.J. young and R.B. Roselle, «Fuel Cells» Journal of
Chemical education 36 (1959) 68.
39. [Http\\www. How stuff works. Com \fuel- cell. Htm.](http://www.Howstuffworks.Com/fuel-cell.Htm)
40. P.Muffler and R. Catered 1978 .Methods for regional
assessment of geothermal resources, proceedings of the
ENEL-ERDA workshop on Geothermal Resource
Assessment and Reservoir Engineering Larderllo, 1977,
131- 207, ENEL, Rome.

41. M. J. Aldrich, A. W. Laughlin and D. T. Gamhill 1981. Geothermal resource base of the world :A revision of then EPRL S estimate , technical report I. A. 8531
42. W. B. God lord, C . B . Goddord and D. W. Meclain 1989, Future air quality maintenance and improvements through the expanded use of geothermal energy, Transactions of the Geothermal Resources Council 13: 27-34.
43. G.W.Sutton and A.Sherman, Engineering Magneto hydrodynamics (New York: McGraw-Hill Book Company, I nc. 1965).
44. L.P.Harris and J.D.Coine. The significance of the Hall Effect for Three MHD Genera- tor Configurations., Transactions of the ASME, Journal of Engg . for Pwer 83A (1961) .392.
45. B.C.Lindley, "Some Economic and Design consid erations of ELarge-scale MPD Genera-tors" in symposium on Magnetoplasmadynamic Electrical Power Generation (1959).
46. K. A. Amankwali, J.J. Nile, J.A. Schwarz 1989. Hydrogen storage on super activated carbon at refrigeration temperatures. Internaternational Journal of Hydrogen Energy, 7 (437-447).

47. C. Carpets 1982. Comparison of the expenses required for the onboard fuel storage systems of hydrogen powered vehicles. International Journal of Hydrogen E.
 48. L. Reimann, Thermionic Emission (New York: John Wiley and Sons Inc., 1934).
 49. J. M. Houston "Theoretical Efficiency of the Thermionic Energy Converters, Journal of Applied Physics 30, 481-487, 1959.
 50. G. N. Hatsopoulos, "Thermionic Energy Conversion", Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 1996.
 51. J.F. Morris "Performances of the Better Metallic Electrodes in Cesium Thermionic Converters" 7th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 1972.
 52. B. Sherman, R. Heikes and R. Ure "Calculation of efficiency of Thermoelectric Device" Journal of Applied Physics 31, 1-16 (1960).
٥٣. (الكون الذري) د. موسى الجنابي منشورات (منظمة الطاقة الذرية العراقية) الدار العربية بغداد لسنة 1987.
٥٤. (الطاقة الذرية وتطبيقاتها) د. عبدالقادر عبدالرحمن ود. غسان الخطيب مركز البحوث النووية منشورات (منظمة الطاقة الذرية العراقية) مطبعة الاديب البغدادية لسنة 1981.
٥٥. منظمة الاقطار العربية المصدرة للبتروال تطورات الطاقة التقرير السنوي الرابع الكويت لسنة 1978.