



جامعة قاصدي مرباح-ورقلة
كلية الرياضيات-علوم المادة
قسم الفيزياء



مذكرة

لاستكمال متطلبات الحصول على

شهادة الماستر

الميدان: علوم المادة

شعبة: الفيزياء

تخصص: فيزياء طاوقية والطاقات المتجددة

تقديم:

سلوى بوعلاتي

بشرة لقوقي

الموضوع

دراسة تجريبية لإنتاج الهيدروجين باستعمال الطاقة الشمسية عن طريق المياه الصاعدة إلى سطح الأرض بمدينة ورقلة (الشط)

نوقشت يوم: 2020/10/07 أمام اللجنة:

رئيسا	أستاذ مساعد -أ-	جامعة قاصدي مرباح-ورقلة	عبد الله الزين
مناقشا	أستاذ محاضر -أ-	جامعة قاصدي مرباح-ورقلة	حسين محسن
مشرفا	أستاذ محاضر -ب-	جامعة قاصدي مرباح-ورقلة	يمينة بوعلاتي

شكر و عرفان

الحمد لله، والصلاة والسلام على رسول الله ﷺ، وعلى آله وصحبه ومن والاه.

وبعد:

فإن الأحق والأولى بالشكر هو ذلك البر الرحيم، الجواد الكريم، الذي ألهمنا الصبر على تحمل المتاعب والعزيمة على تخطي المصاعب الى أن أوصلنا مقامنا هذا، ثم تفضل علينا بجميل فضله إتمام هذا البحث العلمي المتواضع. فله الحمد أولاً وآخراً، وله الحمد حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه.

ثم نتوجه بأخلص آيات الشكر وأسمى معاني الامتنان الى الأستاذة الفاضلة " يمينة بوعلاتي " المشرفة على هذا البحث، والتي منحتنا الكثير من ثمين وقتها وجميل صبرها، وكان لرحابة صدرها وأسلوبها المميز في المتابعة والتوجيه أكبر الأثر في إتمام هذا العمل، نسأل الله العلي القدير أن يجازيها عنا خير الجزاء.

كما نتوجه بجزيل الشكر الى الأستاذ " عبد الله الزين " الذي منحنا شرف رئاسة لجنة المناقشة، والأستاذ " حسين محسن " الذي منحنا شرف قبول مناقشة هذه المذكرة.

ونتقدم أيضاً بجزيل الشكر الى الأستاذ بوعلاتي أسامة نظير النصائح والتوجيهات القيمة، وعلى بذله وحرصه ووقوفه معنا، كما نتقدم أيضاً بوافر الشكر والامتنان الى كل من السيد بوعلاتي لعروسي، السيد بوعلاتي جابر، السيد بوعلاتي موفق و السيد بن ساسي عبد الباسط نظير ما بذلوه لنا من جهد ومساعدة وتوجيه، وجزيل الشكر أيضاً موصول الى مخبر الشهابي لتحاليل مراقبة النوعية والمطابقة لولاية وادي سوف .

كما لا يفوتنا في هذه الفرصة أن نشكر الأساتذة الكرام الذين رافقونا طوال رحلتنا الدراسية وكان لهم الفضل بعد الله في أن يبيروا لنا طريق العلم والمعرفة، نسأل الله أن يجعل ما بذلوه لنا من جهد ووقت وعلم في ميزان حسناتهم.

قال تعالى: ﴿ رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ

وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ ﴾ [النمل: ١٩]

- بوعلاتي سلوى.
- لقوقي بشرة.

إهداء

لى أُمى: من أشرت راحتها وسعادتها من أجلنا، هى روح السماء وجنة الأرض، زهرة الحياة وبحر الحب، سلوى الروح وملوك القلب وهى السعادة كلها. أُمى ومهما تناثرت كلماتى حول فضلها فلن أوفىها شكرها ولن أتجاوز ألفاظى العدم.

لى أُمى: أظيب إنسان عرفته روحى، من كان ولا يزال سئدى بعد الله فى السراء والضراء، صاحب القلب الكبير الذى منحنى كله وتكبد عنى الكثير فى سبيل راحتى، قدرتى وفري فى هذه الحياة، ولا تسعنى الكلمات كلها لتعفى قدره عندى.

لى أختى وأخواتى: قوتى وعضدى بعد الله، من قامونى الأملى وآمالى، أترامى وأفراحمى، لى "أسامة وجابر" من أورثا فى نفسى كل معانى البذل والعطاء، لى "صفاء وآسيا" من زرعنا فى كل دوافع المحبة والإيثار، لى روح المرح والدعابة "موفق، عبد المنعم، نسبية ورفيدة"

لى أختواتى فى الله: صدقائى ورفيقات دبنى، من يتعطر الحاضر بوجودهن ويحمد الماضى بذكرهن، لى "صفية جعفرور" من كانت ولا تزال فوق كلماتى، أسأل الله العظيم أن يجمعنا فى الدنيا على طاعته، وفى الآخرة فى فردوس جناته.

لى الذين سطورا بدمائهم أنصع صفحات المجد والفداء "شهداء فلسطين"، لى الشرفاء المخلصين المرابطين على أرض الإسراء والمعراج، لى الجرحى والمعتقلين، لى كل غيور على أرض فلسطين.

أهدى هذا العمل المتواضع.
"سلوى"

إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع لي من قال فيهما الرحمن جد جلاله :
﴿ وقضى ربك أن لا تعبدوا إلاَّ إِيَّاهُ وبالوالدين إِحْسَاناً ﴾
أبي الغالي الذي يعجز اللسان عن وصف جميله حفظه الله وأطال في عمره.
ولي أعزما أملكه في هذا الكون، لي من تعبت من أجلي وسهرت على تزييتي، أُمي الحنونة
الغالية حفظها الله وأطال في عمرها
لي أختوتي وأخواتي وابنة أختي الغالية "هناء" ولي جدتي.

"بشرة"

الفهرس

ا	شكر وعرهان
ب	إهداء
i	الفهرس
v	قائمة الأشكال
viii	قائمة الجداول
1	مقدمة عامة
3	I عموميات حول الهيدروجين الشمسي
3	1.I مقدمة:
3	2.I غاز الهيدروجين:
4	1.2.I مميزات غاز الهيدروجين
6	2.2.I طرق إنتاج غاز الهيدروجين:
6	أ - الهيدروجين من الوقود الأحفوري:
8	ب - الدورات الكيمياء-حرارية
9	3.2.I طرق تخزين غاز الهيدروجين
9	أ - تخزين الهيدروجين الغاز
9	ب - تخزين الهيدروجين السائل
10	ج - تخزين الهيدروجين الصلب
10	4.2.I نقل الهيدروجين
10	أ - مقطورة الغاز المضغوط
11	ب - نقل السائل
11	ج - خط انابيب

12	استعمالات الهيدروجين	5.2.I
14	إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء	3.I
14	مكونات خلية التحليل الكهربائي للماء	1.3.I
14	مبدأ عمل الخلية	2.3.I
15	العوامل المؤثرة على أداء الخلية	3.3.I
15	أ - تأثير درجة الحرارة	
16	ب - تأثير المسافة بين الأقطاب الكهربائية	
16	ج - تأثير تركيز المنحل بالكهرباء	
17	أنواع التحليل الكهربائي	4.3.I
17	أ - التحليل الكهربائي القلوي	
18	ب - التحليل الكهربائي عالي درجة حرارة	
19	ج - التحليل الكهربائي للحمض:	
20	الطاقة الشمسية:	4.I
20	الاشعاع الشمسي:	1.4.I
21	أ - طيف الإشعاع الشمسي	
21	ب - أنواع الإشعاع الشمسي	
23	حركة الأرض حول الشمس:	2.4.I
23	مميزات الطاقة الشمسية	3.4.I
24	أهمية الطاقة الشمسية	4.4.I
25	استخدامات الطاقة الشمسية	5.4.I
25	أ - الاستخدامات الحرارية	
27	ب - الاستخدامات الكهربائية	
27	تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية:	5.I
28	الضاهرة الفولطاضوئية:	1.5.I
28	الخلية الشمسية (PV Cell):	2.5.I
29	مكونات الخلية الشمسية	3.5.I
29	أ - مادة السيلكون	
30	ب - بلورتي الخلية الشمسية	
31	مبدأ عمل الخلية الشمسية	4.5.I
32	أنواع الخلايا الشمسية	5.5.I

32	أ - الخلايا الشمسية المتبلورة:	
33	ب - الخلايا الرقيقة:	
34	الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الشمسية:	6.5.I
35	أ - توصيل الألواح الشمسية على التسلسل	
35	ب - توصيل الألواح الشمسية على التفرع	
36	العوامل المؤثرة على الخلية الشمسية:	7.5.I
36	أ - تأثير شدة الإشعاع الشمسي:	
37	ب - تأثير درجة الحرارة:	
38	ج - تأثير الرياح:	
38	دراسات سابقة لإنتاج الهيدروجين الشمسي في مدينة ورقلة	6.I

II الجانب التجريبي

40	مقدمة:	1.II
40	الهدف من التجربة:	2.II
40	التعريف بالمنطقة:	3.II
42	مشكلة المياه الصاعدة:	4.II
43	عناصر النظام:	5.II
44	الألواح الكهروضوئية	1.5.II
45	لوحة التغذية الرئيسية:	2.5.II
46	محلل كهربائي من نوع (الفولط متر هوفمان):	3.5.II
46	محلل كهربائي من نوع (PH441):	4.5.II
47	المحلل المستخدم:	5.5.II
47	أجهزة المستعملة في القياس:	6.5.II
48	دراسة خصائص النظام:	6.II
48	خصائص I-V للألواح الشمسية :	1.6.II
50	خصائص I-V للمحلل الكهربائي:	2.6.II
51	اقتران المحلل الكهربائي-اللوح الكهروضوئي (إنتاج الهيدروجين الشمسي) :	7.II
52	المقادير المقاسة:	8.II
52	الجهد الكهربائي للألواح الكهروضوئية المستخدمة:	1.8.II
52	التيار المار خلال المحلل الكهربائي:	2.8.II

52	.....	3.8.II	حجم الهيدروجين الناتج:
53			III تحليل النتائج التجريبية
53	.....	1.III	مقدمة:
53	.....	2.III	دراسة إنتاج الهيدروجين الشمسي:
53	.....	1.2.III	دراسة جهد الألواح الكهروضوئية:
54	.....	2.2.III	دراسة التيار الكهربائي وحجم الهيدروجين:
55	.....	3.2.III	العلاقة بين التيار وحجم الهيدروجين .
55	.....	3.III	دراسة بعض العوامل المؤثرة على إنتاج الهيدروجين
56	.....	1.3.III	تأثير نوع التغذية الكهربائية
			أ - تأثير زيادة التغذية الكهربائية عن طريق ربط الألواح الكهروضوئية
56	.....		على التفرع
			ب - تأثير زيادة التغذية الكهربائية عن طريق ربط الألواح الكهروضوئية
57	.....		على التسلسل
59	.....	2.3.III	تأثير نوع القطب الكهربائي
60	.....	3.3.III	تأثير فتح المحلل الكهربائي (فولتامتر هوفمان)
62	.....	4.3.III	تأثير نوع المحلل الكهربائي
64	.....	4.III	آفاق إنتاج الهيدروجين:
65			خاتمة عامة وتوصيات

قائمة الأشكال

4	دورة حياة الهيدروجين	1.I
10	رسم تخطيطي يبين خزان ضغط السائل ومكوناته	2.I
11	مقطورة أنبوب لتوزيع غاز الهيدروجين بكميات كبيرة	3.I
11	خزان لنقل LH2 إلى المستخدم	4.I
12	مبدأ عمل خلية الوقود	5.I
13	استخدمت وكالة ناسا الهيدروجين لتزويد مكوك الفضاء بالوقود	6.I
15	تأثير درجة الحرارة على جهد خلية محلل كهربائي (قلوية)	7.I
16	تأثير المسافة بين الأقطاب الكهربائية على أداء الخلية	8.I
17	تأثير تركيز المنحل بالكهرباء (KOH) على أداء الخلية	9.I
18	مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي القلوي	10.I
19	مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي	11.I
19	خلية التحليل الكهربائي (PEM)	12.I
21	تحليل طيف الإشعاع الشمسي	13.I
22	أنواع الإشعاع الشمسي الواصل الى الأرض	14.I
22	شدة الإشعاع الشمسي في لوح أفقي ولوح مائل	15.I
23	دوران الأرض حول الشمس	16.I
26	فرن شمسي (مدينة أوديلو الفرنسية)	17.I
29	الخلية الكهروضوئية	18.I
30	تركيب السليكون البلوري الصافي	19.I
31	سيلكون مطعم بكل من عنصر البورون والفوسفور على الترتيب	20.I
31	حركة الشحنات ونشوء المجال الكهربائي	21.I
32	مبدأ عمل الخلية الشمسية	22.I
33	خلية شمسية من نوع أحادية البلور (Monocrystalline)	23.I
33	خلية شمسية من نوع متعددة البلور (Polycrystalline)	24.I
34	خلية شمسية من نوع خلايا رقيقة (Thin film)	25.I

34	26.I	تغير كل من التيار والاستطاعة بدلالة الجهد للخلية الشمسية
35	27.I	الألواح الكهروضوئية المربوطة على التسلسل
36	28.I	الألواح الكهروضوئية المربوطة على التفرع
37	29.I	تغير قيم الجهد والتيار تبعا لتغير شدة الإشعاع الشمسي
37	30.I	تغير قيم الجهد والتيار بالنسبة لتغير درجة الحرارة
41	1.II	موقع ولاية ورقلة
42	2.II	بيانات المناخ لمنطقة ورقلة
43	3.II	منظر طبيعي نموذجي يوضح ظاهرة فائض المياه ونتائجها على بستان نخيل ورقلة
43	4.II	البروتوكول التجريبي
44	5.II	الوحدة الكهروضوئية SM50
45	6.II	لوحة التغذية الرئيسية
46	7.II	تمثيل تخطيطي لجهاز فولطمتر هوفمان
47	8.II	جهاز التحليل الكهربائي البسيط
48	10.II	جهاز متعدد القياس
48	9.II	جهاز متعدد القياس
49	11.II	التركيب الكهربائي لتجربة دراسة خصائص I-V للألواح الشمسية
49	12.II	تجربة دراسة خصائص I-V للألواح الكهربائية
50	13.II	خصائص I-V للوح الشمسي
50	14.II	تجربة دراسة خصائص I-V للمحلل الكهربائي
51	15.II	خصائص I-V للمحلل الكهربائي
51	16.II	النظام محلل كهربائي - لوح كهروضوئي
53	1.III	تغيرات الجهد بدلالة الزمن (19 ماي)
54	2.III	تغيرات حجم الهيدروجين بدلالة الزمن (19 ماي)
54	3.III	تغيرات التيار بدلالة الزمن الزمن (19 ماي)
55	4.III	تغيرات حجم الهيدروجين بدلالة التيار (22 جوان)
56	5.III	تأثير التغذية بالتفرع على جهد الخلية الكهروضوئية (20 جوان)
57	6.III	تأثير التغذية بالتفرع على تيار المحلل الكهربائي (20 جوان)
57	7.III	تأثير التغذية بالتفرع على حجم الهيدروجين الناتج (20 جوان)
58	8.III	تأثير التغذية بالتسلسل على جهد الخلية الكهروضوئية (16 جوان)

58	9.III	تأثير التغذية بالتسلسل على تيار المحلل الكهربائي (16 جوان)
58	10.III	تأثير التغذية بالتسلسل على حجم الهيدروجين الناتج (16 جوان)
59	11.III	تأثير نوع الأقطاب الكهربائية على جهد الخلية (17 ماي)
60	12.III	تأثير نوع الأقطاب الكهربائية على التيار الكهربائي (17 ماي)
60	13.III	تأثير نوع الأقطاب الكهربائية على حجم الهيدروجين الناتج (17 ماي)
61	14.III	تأثير فتح المحلل الكهربائي على جهد الخلية الكهروضوئية (23 جوان)
61	15.III	تأثير فتح المحلل الكهربائي على التيار المار خلاله (23 جوان)
61	16.III	تأثير فتح المحلل الكهربائي على حجم الهيدروجين الناتج (23 جوان)
62	17.III	تأثير المحلل الكهربائي PH441 على جهد الخلية الكهروضوئية (05 جويلية)
63	18.III	تأثير المحلل الكهربائي PH441 على التيار المار خلاله (05 جويلية)
63	19.III	تأثير المحلل الكهربائي PH441 على حجم الهيدروجين الناتج (05 جويلية)

قائمة الجداول

6	أهم الخصائص الفيزيائية لغاز هيدروجين	1.I
7	مكونات الغاز الصناعي الناتج عند تغويز الفحم	2.I
45	خصائص الوحدة الكهروشمسية SM50	1.II
57	نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند الربط على التفرع	1.III
59	نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند الربط على التسلسل	2.III
60	نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند تغيير الأقطاب الكهربائية	3.III
62	نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند فتح المحلل الكهربائي	4.III
63	نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند تغيير المحلل الكهربائي	5.III
64	مقارنة بين نسب الزيادة في حجم الهيدروجين المتعلقة بالعوامل المدروسة	6.III
64	حجم الهيدروجين المتوقع	7.III

مقدمة عامة:

تلعب الطاقة بمختلف مصادرها دورا هاما وأساسيا في تمكين الدول من التقدم والرفي، كما تساهم في رفاهية الإنسان، ومع حدوث التطور الصناعي في العصر الحديث زاد الطلب عن مصادرها خصوصا التقليدية منها (لنفط، الغاز والفحم)، مما أدى الى ظهور مشكل استنزاف بعض منها، بالإضافة الى الآثار السلبية التي نتجت عن استخدامه، كالتلوث البيئي، وتدهور الغطاء النباتي للأرض. ومن هذا المنطلق فقد بدأ التفكير بشكل جدي في مصادر بديلة للطاقة. ولعل أهم مجال تطرق إليه العلماء في العقود الأخير كمصدر طاقي متجدد هو مجال الطاقة الشمسية.

ونظرا لأن الطاقة الشمسية وبفضل الله دائمة لا تنضب، ويمكن تحويلها الى أنواع أخرى من الطاقة كالحرارية والكهربائية، ولأنها تعد أنظف مصادر الطاقة على الإطلاق، فقد تركزت الأبحاث والتجارب على تطوير وسائل الاستفادة منها لتغطية حاجة الإنسان، وللد من استنزاف مصادر الطاقة التقليدية المهده بالنضوب. وبالرغم من أهمية الطاقة الشمسية البالغة، إلا أنها لا تخلو هي الأخرى من المشاكل، فعدم استمراريتها خلال اليوم يؤدي إلى مشاكل عملية في استخدامها. كما يتحتم على المستخدم التواجد مكان سقوط الأشعة، ولا يمكن نقلها أو تخزينها لفترة طويلة. لذلك، يأتي الهيدروجين كحل لهذه المشكلة، إذ من الممكن تخزينه في أي وقت وفي أي مكان وبطرق متعددة، كما يمكن نقله بطرق مختلفة أيضا.

إن خاصية الهيدروجين في كونه قابلا للنقل والخرن يجعله وقودا مرنا، بمعنى انه مادام هناك مخزون كاف (الماء) فإن بالإمكان استخدام الكميات المطلوبة وبالشكل المطلوب، وهذا ما يمنح الهيدروجين صفة التوفر بشكل دائم بعكس ما تتميز به بعض مصادر الطاقة البديلة. بالإضافة الى أنه صديق جيد للبيئة نظرا لأن كل من إنتاجه وتخزينه ونقله واستخدامه النهائي لا ينتج عنه ملوثات أو غازات الدفيئة أو أي تأثيرات ضارة أخرى على البيئة، وهذا من شأنه أن يجعله حامل مثالي للطاقة.

كما يمكن إنتاج الهيدروجين من خلال مجموعة متنوعة من التقنيات، ولعل الخيار الأكثر ملائمة للحصول على الهيدروجين من مصدر طاقة متجددة نظيف هو إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء، والذي يستخدم الطاقة الشمسية.

في هذه الدراسة، نحن بصدد استغلال مشكلة من أكبر المشكلات التي كانت ولا تزال تعاني منها المنطقة، والتي نتج عنها آثار سلبية عديدة وفي مجالات مختلفة، ألا وهي مشكلة المياه الصاعدة الى سطح الأرض. حيث تتسبب هذه الأخيرة في تراجع إن لم يكن انعدام مردود الأراضي الفلاحية وخاصة النخيل الذي يعتبر مكسب هام بالنسبة للمنطقة، كما يظهر أثرها الواضح على النسيج العمراني الذي يلحقه أذي الماء والرطوبة،

بالإضافة الى تلك البرك والمياه العادمة المتشكلة وسط بعض الأحياء والتي تمثل مشكل كبير يعانیه السكان لما تخلفه من أثر صحي. وعليه قمنا بدراسة تجريبية تتمثل في إنتاج الهيدروجين الشمسي عن طريق التحليل الكهربائي للمياه الصاعدة بمدينة ورقلة (الشط)، وذلك بهدف استغلال هذه المياه للحصول على طاقة مفيدة قابلة للاستعمال وفي نفس الوقت المساهمة بشكل كبير في القضاء على المشكلة سابقة الذكر. وقد تم تنظيم البحث على النحو الآتي:

- الفصل الأول: يتضمن نبذة مختصرة حول غاز الهيدروجين وأهم الخصائص التي يتميز بها، مع إعطاء أمثلة عن طرق إنتاجه. كما يتضمن طرق تخزينه ونقله وأهم استعمالاته. ثم يتطرق بشيء من التفصيل عن الخلية المسؤولة عن التحليل الكهربائي للماء لإنتاج الهيدروجين و يبين مبدأ عملها وأهم العوامل المؤثرة عليها، كما يبين أبرز أنواع التحليل الكهربائي للماء المستخدمة. كما يتناول أبرز المفاهيم التي تخص الطاقة الشمسية ومميزاتها وأهم استخداماتها، ثم يتحدث عن تلك المنظومة المسؤولة عن تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية.
- الفصل الثاني: يقدم وصف شامل لتجربة إنتاج الهيدروجين الشمسي عن طريق المياه الصاعدة إلى سطح الأرض بمدينة ورقلة (الشط) ، حيث يتناول أهم الخصائص التي تميز الطقس العام لمدينة ورقلة ويعرض مشكل المياه الصاعدة إلى سطح الأرض بالمنطقة، كما يبين الأجهزة المستخدمة والبروتوكول المنتهج في العمل التجريبي. ثم يتطرق الى خصائص I-V لكل من الألواح الكهروضوئية والمحلل الكهربائي المستخدم، وأخيرا الى المقادير المقاسة في التجربة.
- الفصل الثالث: يتضمن تحليل ومناقشة النتائج المتحصل عليها من خلال الدراسة التجريبية .

ثم يختم هذا البحث بخاتمة عامة تتضمن أهم النتائج المتوصل إليها، مع بعض التوصيات.

I. عموميات حول الهيدروجين الشمسي

1.I مقدمة:

يعتبر غاز الهيدروجين وقود المستقبل وحامل الطاقة المهم والبديل الأفضل عن تلك المصادر الناضبة والمكلفة وغير النظيفة. إذ ظهرت في الآونة الأخير مجالات استعمالاته المتعدد خصوصا في مجال النقل والفضاء. كما تتعدد مصادر إنتاجه واستخلاصه، ولعل أهم تلك المصادر والتي نحن بصدد دراستها، إنتاجه عن طريق التحليل الكهربائي للماء. حيث تتأتى هذه الأهمية من أنه من الممكن أن تكون إمدادات الكهرباء من مصدر طاقوي متجدد بالاعتماد على منظومة مسؤولة عن تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية متمثلة في الخلايا الكهروضوئية.

في هذا الفصل سنتطرق إلى عموميات حول الهيدروجين الشمسي.

2.I غاز الهيدروجين:

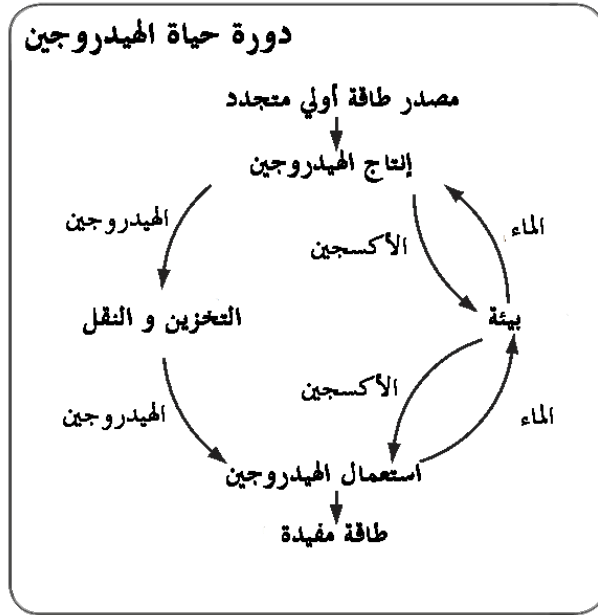
كان العالم الكيميائي البريطاني هنري كافنديش (Henry Cavendish) أول من حدد خصائص الهيدروجين سنة 1766 ، بعدها بسبع سنوات أعطاه أنطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier) اسم "الهيدروجين" الكلمة المكونة من الكلمتين اليونانيتين والتي تعني "مكون- الماء"، ثم كتب عنه جول فيرن (Jules Verne) سنة 1874 حيث تنبأ بقدم عهد للهيدروجين: "اعتقد أن الماء سيصبح يوما وقودا والهيدروجين والأكسجين المكونة له ستعمل منفردة أو متحدة وستكون مصدر للحرارة والضوء لا ينضب وبكثافة لا يملكها الفحم... الماء هو فحم المستقبل" [1, 2].

الهيدروجين هو عنصر كيميائي يرمز له بالرمز H ، يتصدر قائمة العناصر الكيميائية في الجدول الدوري للعناصر، ولذلك تعد ذرة الهيدروجين أخف ذرة في العناصر الكيميائية حيث تحتوي على إلكترون واحد سالب الشحنة وبروتون واحد موجب الشحنة [3].

يعتبر الهيدروجين العنصر الأكثر انتشارا في الكون إذ يمثل 75 % من كتلة الكون و 90 % من الجزيئات التي تكونه، ويندر وجود الهيدروجين في شكل عنصر نقي في الطبيعة بل يوجد على شكل مركبات متحدة فيها مع معادن وعناصر أخرى يزيد عددها عن 92 عنصر، ومن ابرز تلك المركبات اتحاد الهيدروجين مع الأكسجين مشكلا الماء (H_2O) الذي يغطي نحو ثلاثة أرباع مساحة الكرة الأرضية، كما يخترن في جوفها

متحدا مع الكربون مكونا النفط والغاز الطبيعي، وقد يكون ممتصا على شكل هيدريدات بواسطة بعض المعادن كالليثيوم والتيتانيوم... الخ، وبما أن الهيدروجين غير متوافر بشكل حر في الطبيعة لذلك لا يعتبر مصدرا رئيسيا للطاقة بل حامل طاقي تماما مثل الكهرباء [2].

كما يتكون الهيدروجين من ثلاثة نظائر، معظمها من البروتيوم (^1H (protium) الذي يمثل الذي نسبة 99.98 %، وتصل نسبة الديتريوم (D (deuterium) أو 2H الى حوالي 0.02 %، ويتواجد التريتيوم (^3H (tritium) بكميات صغيرة للغاية في الطبيعة. [1, 4]



الشكل 1.I: دورة حياة الهيدروجين [5]

1.2.I مميزات غاز الهيدروجين [2]:

في الآونة الأخيرة برزت أهمية توليد الطاقة من غاز الهيدروجين خاصة أن مصادره على الأرض كثيرة ومتعددة أهمها المخزون المائي الهائل في البحار والمحيطات... الخ. وخلال العقدتين السابقتين اهتمت الدول المتقدمة بمحاولة استخدام الهيدروجين كحامل للطاقة ورصدت من أجل ذلك مبالغ كبيرة للحصول على نتائج إيجابية في هذا المجال، حيث يتمتع الهيدروجين بعدة مزايا أهمها:

- الطاقة الحرارية الناجمة عن حرقه تفوق بكثير تلك الطاقة الناجمة عن حرق المصادر الأخرى مقارنة بوزنه، فحرق 1 kg من البنزين مثلا يمكن أن يعطي 47200 kj بينما يعطي 1kg من الهيدروجين 142000 kj من الطاقة أي ثلاثة أضعاف ما تعطيه المصادر الأخرى.

- إن استخدامه كوقود لا يترتب عليه أي نواتج ملوثة للبيئة وحرقة لا يؤدي إلى انعدامه بل إلى اتحاده مع الأكسجين مشكلا الماء ومن ثم يمكن استخدامه مرة أخرى.
- لهيب الهيدروجين ذو حرارة عالية جدا ونتيجة لانخفاض كثافته فهو ينتشر بسرعة وتقل عندئذ نسب تركيزه وهذه خاصية ايجابية إذ يصبح انتقال الحرائق في خزانات الهيدروجين المعرضة للانفجار قليلة الحدوث.
- يمكن استخدامه كوقود في وسائل النقل المختلفة خاصة الطائرات حيث يتميز بخفة وزنه، وفي أعمال التدفئة والتبريد وتوليد الكهرباء وفي بالونات الأرصاد الجوية وغيرها. علاوة على استخدامه في الصناعات الكيماوية.
- ليس للهيدروجين رائحة أو لون لذا فعند استخدامه لا بد من إضافة مواد أخرى تدل على وجوده أو تسربه.
- استخدامه مع سعة انتشاره سوف يؤمن للبشرية مصدرا هاما بديلا للوقود الأحفوري المستخدم حاليا على نطاق واسع.

الجدول 1.I: أهم الخصائص الفيزيائية لغاز هيدروجين [4]

الخاصية	القيمة
الوزن الجزيئي	2.01594
كثافة الغاز عند 0 °C و 1 atm	0.08987 kg/m ³
كثافة الصلب عند	858 kg/m ³
كثافة السائل عند -253 °C	708 kg
درجة حرارة الانصهار	-259 °C
درجة حرارة الغليان	-253 °C
درجة الحرارة الحرجة	-240 °C
الضغط الحرج	12.8 atm
الكثافة الحرجة	31.2 kg/m ³
حرارة الانصهار عند -259 °C	58 kJ/kg
حرارة التبخير عند -253 °C	447 kJ/kg
الموصلية الحرارية عند -25 °C	0.019 kJ/(ms °C)
اللزوجة عند -25 °C	0.00892 centipoises
السعة الحرارية (Cp) للغاز عند -25 °C	14.3 kJ/(kg °C)
السعة الحرارية (Cp) للسائل عند -256 °C	8.1 kJ/(kg °C)
السعة الحرارية (Cp) للصلب عند -259.8 °C	2.63 kJ/(kg °C)

2.2.I طرق إنتاج غاز الهيدروجين:

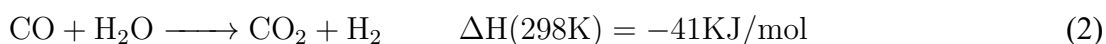
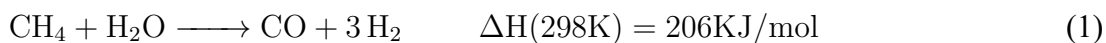
أ - الهيدروجين من الوقود الأحفوري:

الوقود الأحفوري هو عبارة عن طاقة كيميائية متشكلة ومختزنة في باطن الأرض ويرجع أصلها إلى تحول بقايا النباتات والحيوانات التي طمرت خلال العصور الجيولوجية الغابرة تحت الأرض نتيجة لتعرضها للعديد من العوامل من ضغط ودرجة حرارة وغيرها، والتي تعرف اليوم بالطاقة الأحفورية وتشمل النفط والغاز الطبيعي والفحم الحجري [6].

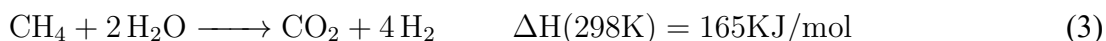
يصل إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري في العالم حالياً إلى 96 % (48 % من الغاز الطبيعي، 30 % من النفط، 18 % من الفحم) والباقي 4 % عن طريق التحليل الكهربائي للماء. بشكل عام، تبلغ درجة نقاء الهيدروجين من الوقود الأحفوري حوالي 98 % على الرغم من أن النقاوة التي تزيد عن 99.99 % يمكن

تحقيقها باستخدام تقنيات تنقية متقدمة [7]. تتعدد طرق انتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري، وكمثال على ذلك نأخذ الطرق التالية:

- **إعادة تشكيل البخار Vaporeformage**: تتكون عملية التشكيل البخاري من خطوتين أساسيتين: الأولى هي عملية الإصلاح حيث يتم تمرير الميثان الممزوج بالبخار فوق طبقة محفزة (النيكل) عند درجة حرارة عالية وضغط لتشكيل خليط من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون، يسمى هذا الأخير غاز تخليقي. الخطوة الثانية يتم فيها تفاعل أول أكسيد الكربون الناتج من المرحلة الأولى مع بخار إضافي لإطلاق ثاني أكسيد الكربون والمزيد من الهيدروجين [7]. :



يمكن كتابة التفاعل العام كالتالي:



- **تغويز الفحم Coal gasification**: يؤكسد الفحم جزئيا بواسطة الأوكسجين وبخار الماء عند الضغط الجوي، نسب مكونات الغاز الصناعي الناتج موضحة في الجدول التالي:

الجدول 2.I: مكونات الغاز الصناعي الناتج عند تغويز الفحم [8]

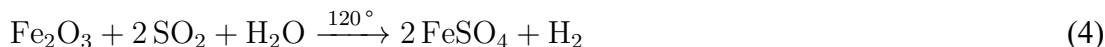
مكونات الغاز الناتج	نسب مكونات الغاز الناتج
الهيدروجين (H ₂)	29%
أول أكسيد الكربون (CO)	60%
ثاني أكسيد الكربون (CO ₂)	10%
الأرجون (Ar) ، النيتروجين (N ₂)	1%

تبرد هذه الغازات وتمرر في وحدة تحويل الغاز لتحويل أول أكسيد الكربون الى ثاني أكسيد الكربون وأيضا زيادة كمية الهيدروجين وبعدها ينقى غاز الهيدروجين من الشوائب وتصل درجة نقاوة غاز الهيدروجين في هذه العملية الى 97.5 % [8].

ب - الدورات الكيمياء-حرارية:

تحتاج عملية شطر الماء الى أكسجين وهيدروجين بالتسخين المباشر الى درجة حرارية تصل الى 2500°C ، إلا أن الوصول الى هذه الدرجة صعب من الناحية التقنية، لذا حاول العلماء تجنب هذه الحرارة العالية بإجراء سلسلة من التفاعلات الكيميائية، مع بعض المركبات الكيميائية لغرض إنتاج الهيدروجين وبعد سلسلة من هذه التفاعلات يتحول الماء الى عنصره. يوجد العديد من طرق إنتاج الهيدروجين من الطرق الكيمياء-حرارية نذكر منها [3]:

• دورة SO_2 -- Fe_2O_3 [3]: يستخدم أكسيد الحديد Fe_2O_3 وثاني أكسيد الكبريت SO_2 كعوامل مساعدة حيث يتم التفاعل على مرحلتين، في المرحلة الأولى يتفاعل أكسيد الحديد مع ثاني أكسيد الكبريت والماء بدرجة حرارة 120°C معطياً كبريتات الحديد FeSO_4 وينطلق غاز الهيدروجين وفق التفاعل الكيميائي الآتي:

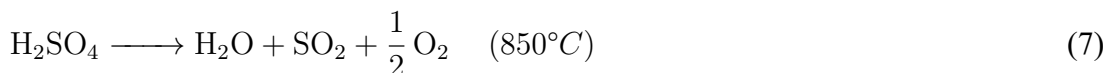
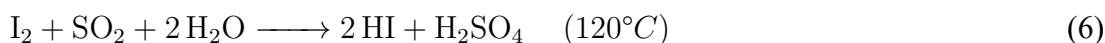


وفي المرحلة الثانية تتفكك كبريتات الحديد بتسخينها الى درجة 700°C معطية ثلاثي أكسيد الحديد وثاني أكسيد الكبريت من جديد وينطلق غاز الأكسجين وفق التفاعل التالي:



وبذلك تكون النتيجة الإجمالية هي تفكك الماء الى عنصره "الهيدروجين والأكسجين" بالدرجة 700°C ، كما نلاحظ أن الهيدروجين ينتج في مرحلة تختلف عن تلك التي ينتج فيها الأكسجين، وبالتالي لا يحدث أي امتزاج لهما..

• دورة الكبريت - اليود: دورة الكبريت واليود (S-I) هي دورة لتقسيم الماء بشكل حراري كيميائي في نفس الوقت. حيث تتكون من ثلاث تفاعلات كيميائية، والتي تساوي تفكك الماء:



في دورة S-I ، يتشكل حمض الكبريت ويود الهيدروجين في تفاعل طارد للحرارة من H_2O و SO_2 و I_2 ، كما يتفكك حمض الكبريتيك (H_2SO_4) وذلك بفعل درجات حرارة عالية تصل الى $(850C^\circ)$ كما هو موضح أعلاه، ويتم توليد الهيدروجين من خلال تسخين طفيف ليود الهيدروجين $(450C^\circ)$. من الناحية النظرية، فإن المتفاعل الوحيد الذي يجب إضافته إلى الدورة هو الماء، وجميع المواد المتفاعلة، بخلاف الماء، يتم تجديدها وإعادة تدويرها [9].

وبالإضافة الى الطرق المذكورة، يمكن إنتاجه من مصادر أخرى مثل الكتلة الحيوية التي تضم عدة طرق (تغويز الكتلة الحيوية، التركيب الضوئي...) كما يمكن إنتاجه من التحليل الكهربائي للماء كما سنفصل لاحقاً.

3.2.I طرق تخزين غاز الهيدروجين:

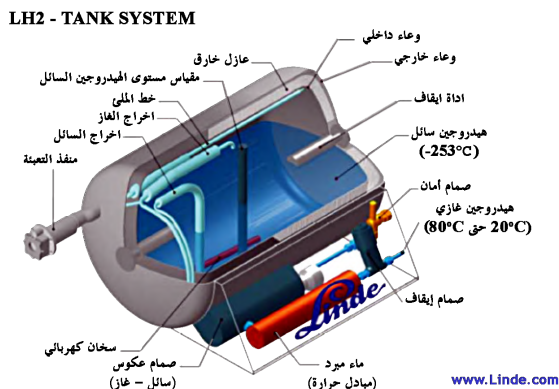
لكي نتمكن من الاستعمال الفعال للهيدروجين كحامل للطاقة في المستقبل، فلا بد من اعتماد نظام موثوق به قادر على خزن الهيدروجين دونما خطر تسربه وقادر على الاستجابة للمتطلبات الطاقوية سواء من ناحية الجودة أو التكاليف، وتتكب حالياً مجموعات من فرق البحث على هذه المسألة التي رصد لها ميزانيات هامة ضمن برامج البحث والتطوير في هذا الميدان [2].

أ - تخزين الهيدروجين الغاز:

يتم تخزين الهيدروجين في خزانات أسطوانية صلبة عالية الضغط حيث يصل الى ما يقارب 200 bar مع إمكانية الوصول الى ضغوط أعلى وذلك بالاعتماد على متانة وقوة شد مادة صنع الأسطوانة. ومن الجدير بالذكر أنه تم تطوير أسطوانات مركبة جديدة خفيفة الوزن قادرة على تحمل ضغوط عالية تصل الى 800 bar، حيث يمكن للهيدروجين أن يصل الى كثافة حجمية تعادل 36 kg/m^3 [1].

ب - تخزين الهيدروجين السائل:

الطريقة الثانية لزيادة الكثافة الحجمية للهيدروجين هي تخفيض درجة حرارة الغاز عند ضغط ثابت للحصول على الطور السائل. حيث يحتوي الهيدروجين في شكل سائل على كثافة طاقة أعلى بكثير منه في شكل غاز، مما يجعلها وسيلة تخزين فعالة. تصل كثافة الهيدروجين السائل الى 70.8 kg/m^3 ، ويتم تخزينه في خزانات مبردة عند $(21 \text{ K}) - 252^\circ$ عند الضغط المحيط. وتسمى أيضاً بالمبردات، وهي أوعية معدنية مزدوجة الجدران مع وجود عازل بين الجدران. ومن الجدير بالذكر أن حوالي % 30-40 من الطاقة يتم فقدانها عند تسييل غاز الهيدروجين [1, 10, 11].



الشكل 2.I: رسم تخطيطي يبين خزان ضغط السائل ومكوناته [11]

ج - تخزين الهيدروجين الصلب:

يمكن تخزين الهيدروجين في المادة الصلبة تبعاً لطريقتين أساسيتين وذلك حسب نوع ارتباط الهيدروجين بالصلب، فإما أن يكون الارتباط فيزيائي (physisorption) : وهي ظاهرة سطحية يتم فيها امتصاص غاز الهيدروجين فيزيائياً من قبل مساحة كبيرة للمادة المتفاعلة. وإما أن يكون الارتباط كيميائي (chemisorption) : وفي هذه الحالة يشكل الهيدروجين مركب كيميائي مع المادة المتفاعلة. عندما يلامس الهيدروجين سطح المادة الصلبة، يتفكك إلى ذرتين هيدروجين منتشرتين في المادة الصلبة التي بدورها تشكل رابطة كيميائية معها. تمثل مواد تخزين الهيدروجين المرتبطة كيميائياً هيدريدات المعدن، يحتوي هيدريد المعادن على أعلى كثافة تخزين للهيدروجين (6.5 H atoms/cm^3 لـ MgH_2) من غاز الهيدروجين ($0.99 \text{ H atoms/cm}^3$) أو الهيدروجين السائل (4.2 H atoms/cm^3) [12].

4.2.I نقل الهيدروجين:

يعد نقل الهيدروجين الغازي المضغوط أو السائل عن طريق الشاحنة، والهيدروجين الغازي المضغوط عن طريق خط الأنابيب إلى المواقع المختارة هي خيارات النقل الرئيسية المستخدمة تجارياً - ومن المرجح أن تظل كذلك على المدى المتوسط [13]:

أ - مقطورة الغاز المضغوط:

يمكن نقل الهيدروجين الغازي بكميات صغيرة إلى متوسطة في حاويات الغاز المضغوط بواسطة شاحنة. ولنقل كميات أكبر، يتم تجميع العديد من أسطوانات أو أنابيب الغاز المضغوط معاً تحت مسمى مقطورات الأنابيب CGH_2 . تجمع الأنابيب الكبيرة معاً داخل إطار واقٍ. عادة ما تكون الأنابيب مصنوعة من الفولاذ

ولها وزن صافي مرتفع، الشيء الذي يمكن أن يؤدي إلى قيود النقل ذات الصلة بالكتلة [13].



الشكل I.3: مقطورة أنبوب لتوزيع غاز الهيدروجين بكميات كبيرة [7]

ب - نقل السائل:

كبديل، يمكن نقل الهيدروجين في شكل سائل في شاحنات أو وسائل نقل أخرى، وبالمقارنة مع أوعية ضغط الغاز، يمكن حمل المزيد من الهيدروجين في مقطورة LH2، حيث أن كثافة الهيدروجين السائل أعلى من الهيدروجين الغازي. ولأغراض النقل السائل، يتم تحميل الهيدروجين في خزانات مبردة معزولة، وعلى غرار نقل الشاحنات، يمكن أيضًا نقل LH2 عن طريق السفن أو عن طريق السكك الحديدية، شريطة توفر الممرات المائية المناسبة وخطوط السكك الحديدية ومحطات التحميل. [13]



الشكل I.4: خزان لنقل LH2 إلى المستخدم [7]

ج - خط أنابيب :

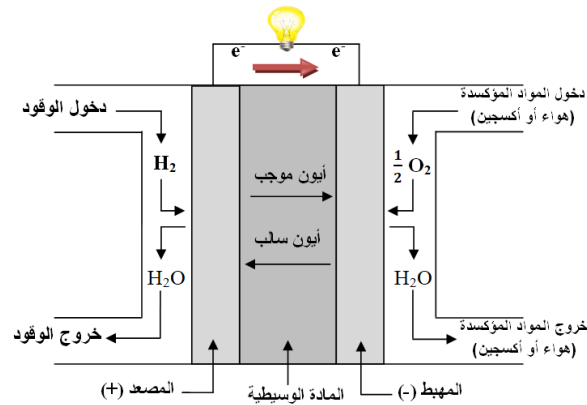
تعتبر شبكة خطوط الأنابيب الخيار الأفضل للاستخدام الشامل والواسع النطاق للهيدروجين كمصدر للطاقة، ومع ذلك تتطلب مستويات عالية من الاستثمار الأولي، والتي قد تؤتي ثمارها، ولكن فقط مع كميات كبيرة من الهيدروجين. يوجد في جميع أنحاء العالم أكثر من 4500 كيلومتر من خطوط أنابيب الهيدروجين، يتم

تشغيل الغالبية العظمى منها من قبل منتجي الهيدروجين [13].

5.2.I استعمالات الهيدروجين:

يقدر الطلب العالمي للهيدروجين بـ 500 مليار م³ وسوف يتزايد بشكل ملحوظ في العقود القادمة نتيجة الاستعمالات المختلفة للهيدروجين كحامل للطاقة. حيث يلعب الهيدروجين دورا هاما في الصناعة الكيماوية والبتروكيماوية (إنتاج الامونياك والميثانول والأصباغ... الخ) 50 % من الطلب العالمي مخصص لإنتاج الامونياك، المادة الأولية في صناعة الأسمدة. 37 % من إنتاج الهيدروجين يستعمل في التكرير، 8 % لإنتاج مواد كيماوية وخاصة الميثانول و 4 % يستعمل في التعدين وفي صناعة أنصاف الموصلات. فقط 1 % من الإنتاج العالمي للهيدروجين يستعمل في ميدان الطاقة وخاصة في الاستعمالات الفضائية [2].

✓ **خلايا الوقود:** خلية الوقود هي جهاز كهروكيميائي يحول الطاقة الكيميائية الناتجة من تفاعل وقود الهيدروجين مع الأكسجين الى طاقة كهربائية ذات فولتية منخفضة بالإضافة الى حرارة وماء. تتكون الخلية في أبسط صورها من قطب سالب وقطب موجب، يحتوي كل منهما على مواد محفزة -حسب نوع الخلية- يفصل بينهما محلول الكترتي يمنع إختلاط الوقود بالأكسجين، كما يمنع انتقال الالكترونات من خلاله، ولكنه يسمح بانتقال الأيونات. وللحصول الى قدرة أعلى توضع أكثر من خلية في شكل مصفوفات [3].



الشكل 5.I: مبدأ عمل خلية الوقود [3]

تعد التطبيقات العديدة لاستخدام خلايا الوقود في مجال توليد الطاقة من المميزات الإيجابية لهذه التقنية، لإمكانية استخدامها على مجال واسع في المنازل والفنادق والمجمعات التجارية وفي وسائل النقل مثل السيارات والشاحنات وفي السفن والغواصات وفي المركبات الفضائية، ونظرا لطبيعة خلايا الوقود فإنه يمكن تركيبها على شكل وحدات بقدرات مختلفة مما يعطيها ميزة تنافسية ومجال أوسع من

التطبيقات الصغيرة كالحاسوب المحمول الى التطبيقات الكبيرة كمحطات توليد الطاقة الكهربائية [3]

✓ **مجال النقل:** إن الاستعمال الأول للهيدروجين كوقود للطيران يعود إلى العشرينيات والثلاثينيات. استعمله المهندسون الألمان كوقود مساعد لمناطيدهم التي كانت تسيّر بخليط من مشتقات النفط، والتي كانت تنقل المسافرين فوق الأطلسي. لقد عدلوا المحركات بطريقة تسمح للهيدروجين الذي يبقى الآلة في الهواء أن يصبح وقوداً لحظة الضرورة. وفي الثلاثينيات والأربعينيات استعملت ألمانيا وانجلترا الهيدروجين كوقود تجريبي لدفع الشاحنات والسيارات والقاطرات وحتى الغواصات.

ونتيجة تفاقم المشاكل البيئية الناتجة عن استعمال الوقود الأحفوري في قطاع النقل برزت في الآونة الأخيرة أهمية توليد الطاقة من غاز الهيدروجين. وقد نجحت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا في استعمال غاز الهيدروجين كوقود في الصواريخ المستخدمة في إطلاق المركبات الفضائية، كما نجحت شركة بوينغ الأمريكية في استعمال الهيدروجين كوقود للطائرات، وكان من أهم النتائج في هذه التجارب أن استخدام الهيدروجين يقلل من الكتلة الكلية للطائرات بنسبة 33 % بالمقارنة باستخدام البنزين وزيادة معدل الخلط بالهواء نظراً لانتشار الهيدروجين وارتفاع كفاءة الاستعمال الذاتي، كما أن نواتج الاحتراق غير ملوثة للبيئة [2].



الشكل I.6: استخدمت وكالة ناسا الهيدروجين لتزويد مكوك الفضاء بالوقود [5]

وتتابعت الأبحاث العلمية من أجل التوسع في استخدام الهيدروجين كوقود لتشغيل وسائل النقل الأخرى من سيارات وحافلات وشاحنات وغيره. وقد أنتجت بالفعل بعض الشركات الألمانية الهيدروجين السائل وأنشأت محطات خاصة لتخزينه وإمداد وسائل النقل المختلفة به، وقد اعتمدت في ذلك على طريقة التحليل الكهربائي للماء [2].

3.I إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء:

يعتبر كلا من نيكلسون وكارليس أول من استطاع إنتاج الهيدروجين والأكسجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء وذلك في عام 1800 [14]. يعتمد التحليل الكهربائي للماء أساساً على خلية التحليل الكهربائي للماء الموضحة أدناه.

1.3.I مكونات خلية التحليل الكهربائي للماء (Electrolyzer) :

تتركب الخلية من قطبين مغمورين في محلول الكتريني (أيوني) ويفصل القطبان حاجز أو غشاء نصف نافذ [8].

• **الأقطاب الكهربائية (Électrodes) :** القطب الكهربائي هو موصل كهربائي، يوفر الواجهة المادية بين الدائرة الكهربائية التي توفر الطاقة والإلكترولييت [15]. في التحليل الكهربائي عادة ما تستخدم الأقطاب الكهربائية الخاملة (Electrode Inert) وهي تلك الأقطاب التي يقصر دورها على توصيل التيار الكهربائي دون الدخول في تفاعل كيميائي مع مكونات المحلول، مثل قطب البلاتين Pt وقطب الذهب Au وقطب الفضة Ag وقد يستعمل قطب الكربون [16].

• **المنحل بالكهرباء (An electrolyte) :** وهي مادة تحتوي على أيونات حرة وهي حاملات التيار الكهربائي في المنحل بالكهرباء، إذا لم تكن الأيونات متحركة، كما هو الحال في الملح الصلب، فلا يمكن أن يحدث التحليل الكهربائي. على سبيل المثال، يمكن أن يعمل المحلول المائي للملح العادي كمحلول كهربائي لأنه يحتوي على شوارد Na^+ و Cl^- ، وهي حاملات التيار الكهربائي في المحلول ولكن كلوريد الصوديوم الصلب، لا يمكن أن تعمل لأنها لا تحتوي على شوارد Na^+ و Cl^- [15].

• **التيار المباشر (DC) :** يوفر الطاقة الكهربائية اللازمة لإنشاء أو تفريغ الأيونات في المنحل بالكهرباء. تحمل الإلكترونات في الدائرة الخارجية التيار الكهربائي [15].

2.3.I مبدأ عمل الخلية:

أثناء تشغيل خلية التحليل الكهربائي وهي خلية مدفوعة بتطبيق جهد خارجي، يحافظ القطب الموجب على تفاعل أكسدة مع تحرير الإلكترونات، بينما يحدث تفاعل الاختزال عند القطب السالب مع امتصاص الإلكترونات. يُعرف القطب الموجب غالباً باسم "anode" والقطب السالب باسم "cathode". يتم توفير الدارة الداخلية بين القطبين بواسطة المنحل بالكهرباء، حيث تتحرك الأيونات السالبة (anions) نحو القطب الموجب وتتحرك الأيونات الموجبة (cations) نحو القطب السالب [17].

عند توصيل القطبين بمصدر كهربائي مستمر، تحت الظروف العادية للحرارة والضغط، يتفكك الماء الى عنصريه الهيدروجين والأكسجين، فيتحرر الهيدروجين عند المهبط (cathode) والأكسجين عند المصعد (anode) [8].

بشكل عام، يتم استخدام أجهزة التحليل الكهربائي القلوية وتكون تفاعلات القطب كما يلي [17]:
عند القطب السالب:



عند القطب الموجب:

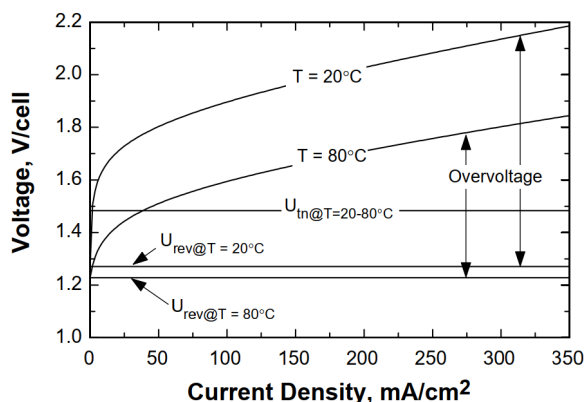


يتطلب تقسيم الماء محتوى حراري يصل الى $\Delta H (298\text{K}) = 286 \text{ KJ/mol}$ ، والذي يوافق طاقة كهربائية تعادل $V = 1.482\text{v}$ [17]

3.3.I العوامل المؤثرة على أداء الخلية:

أ - تأثير درجة الحرارة:

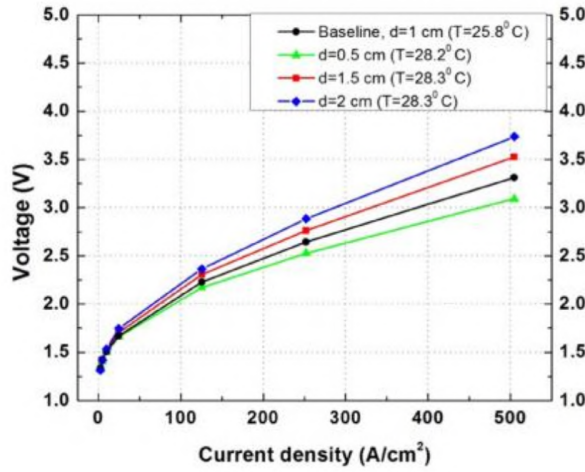
تعتبر الزيادة في درجة الحرارة العملية الطريقة أكثر شيوعاً لتحسين كفاءة التحليل الكهربائي، مما يخفض الجهد المطلوب لتحليل الماء، حيث يوفر تسخين المنحل بالكهرباء زيادة الطاقة بواسطة المنحل بالكهرباء ويؤدي إلى تقليل الطاقة الحرة Gibbs اللازمة [15].



الشكل 7.I: تأثير درجة الحرارة على جهد خلية محلل كهربائي (قلوية) [18]

ب - تأثير المسافة بين الأقطاب الكهربائية:

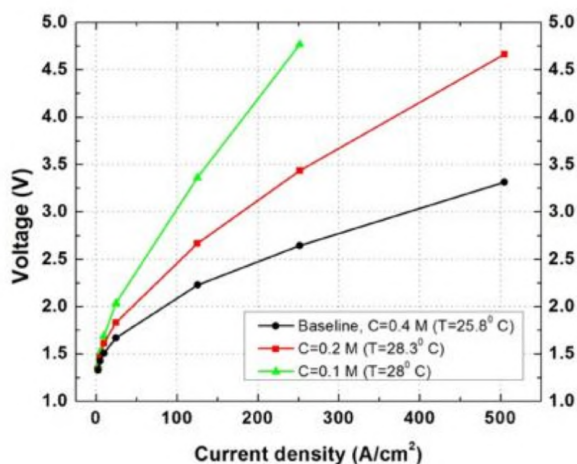
تعتمد مقاومة المنحل بالكهرباء على عوامل مختلفة، منها المسافة بين القطبين (المصعد والمهبط) ، كلما كانت المسافة بين القطبين أكبر، كلما كان الوضع أكثر صعوبة بالنسبة لانتقال الأيونات من قطب إلى آخر، عندما تقل المسافة بين زوج الأقطاب الكهربائية، يزداد أداء الخلية بسبب الانخفاضات الناتجة في المقاومة الكهربائية بين الأقطاب الكهربائية التي تؤدي بدورها إلى زيادة التيار الكهربائي [15].



الشكل 8.I: تأثير المسافة بين الأقطاب الكهربائية على أداء الخلية [15]

ج - تأثير تركيز المنحل بالكهرباء:

يعتمد الأداء الأومي للتحليل الكهربائي للماء بقوة على تركيز محلول الإلكتروليت. التركيز العالي يعني أن هناك عددًا أكبر من المتفاعلات المتاحة في منطقة سطح القطب للتفاعل عند نفس مدخلات الطاقة مما يؤدي إلى زيادة في كفاءة إنتاج الهيدروجين [15].



الشكل 9.I: تأثير تركيز المنحل بالكهرباء (KOH) على أداء الخلية [15]

يوضح الشكل أعلاه أن تركيز المنحل بالكهرباء له تأثير قوي على أداء الخلية، يعزى هذا السلوك إلى زيادة الموصلية الكهربائية للمحلول بسبب زيادة تركيز المنحل بالكهرباء. تؤدي زيادة الموصلية الكهربائية إلى زيادة التيار الكهربائي الذي يمر عبر المحلول وبالتالي إلى انخفاض الحاجة إلى الجهد عند نفس كثافة التيار [15].

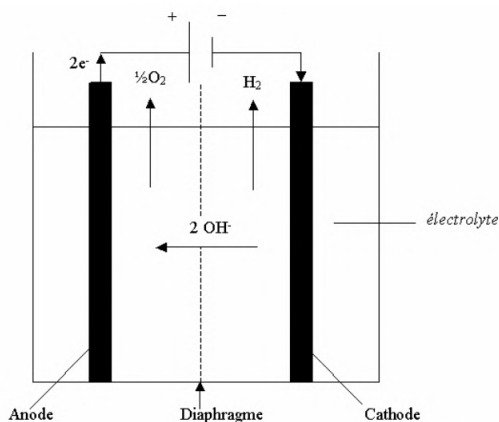
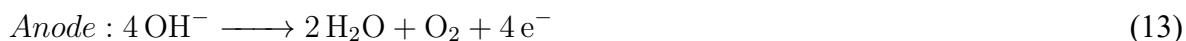
تعتمد كفاءة خلية التحليل الكهربائي عموماً على المواد التي تصنع منها الأقطاب والغشاء الفاصل بينهما والمحلول الأيوني المستعمل أيضاً، حيث يجب أن يكون المحلول الأيوني ناقلاً جيداً للأيونات. أما المواد المستخدمة للأقطاب فيجب أن تكون مقاومة للتآكل، كما يجب استخدام ماء نقي للخلية حيث أن وجود شوائب في الماء يسبب تلوث المحلول الأيوني [8].

4.3.I أنواع التحليل الكهربائي:

أ - التحليل الكهربائي القلوي:

يعد التحليل الكهربائي القلوي أكثر التقنيات انتشاراً لإنتاج الهيدروجين الكهربائي، حيث يعتمد هذا النوع أساساً على محلول هيدروكسيد البوتاسيوم المركز (KOH)، ويستخدم OH^- لنقل الشحنات بين الأقطاب الكهربائية حيث تحدث ردود الفعل التالية:





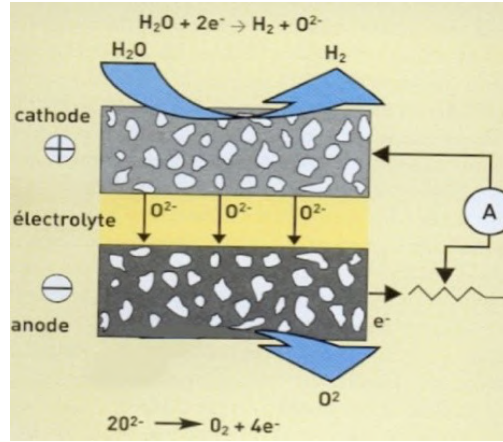
الشكل 10.I: مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي القلوي [14]

للسماح بفصل غازات الهيدروجين والأكسجين، يتم فصل القطبين بواسطة الحاجز (الغشاء)، حيث يجب أن يسمح الحاجز بمرور الماء والأيونات باستثناء الغازات. وبما أن هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) قاعدة قوية، فإنه يتسبب في تآكل عدد من المواد، وعادةً ما تكون الأقطاب الكهربائية مصنوعة من النيكل (nickel) أو حتى الكوبالت (cobalt). بعد معالجة الغازات الناتجة في مخرج المفاعل يتم التحصل على درجة نقاء أكبر من 99 % [14, 19].

ب - التحليل الكهربائي عالي درجة حرارة:

يعتمد التحليل الكهربائي عالي درجة الحرارة على تكنولوجيا خلايا الوقود ذات درجة الحرارة العالية، حيث أن الطاقة الكهربائية اللازمة لتقسيم الماء عند 1000 درجة مئوية أقل بكثير من التحليل الكهربائي عند 100 درجة مئوية، هذا يعني أن المحلل الكهربائي ذو درجة الحرارة العالية يمكن أن يعمل عند كفاءات عملية أعلى بكثير من المحلل الكهربائي العادي ذي درجة الحرارة المنخفضة [10].

التكنولوجيا النموذجية في هذا الباب هي خلية التحليل الكهربائي للأكسيد الصلب (SOEC (solid oxide electrolyser cell) والتي هي في مرحلة أقل تقدمًا اليوم، تهدف إلى تحقيق كفاءة عالية في تحويل الكهرباء إلى هيدروجين، حيث يتم إجراء التحليل الكهربائي عند درجات حرارة عالية (700 إلى 800 درجة مئوية)، مما يسمح بتقليل استهلاك الكهرباء بشكل كبير. ومع ذلك تتطلب درجات الحرارة المرتفعة استخدام مواد محددة [10, 19].



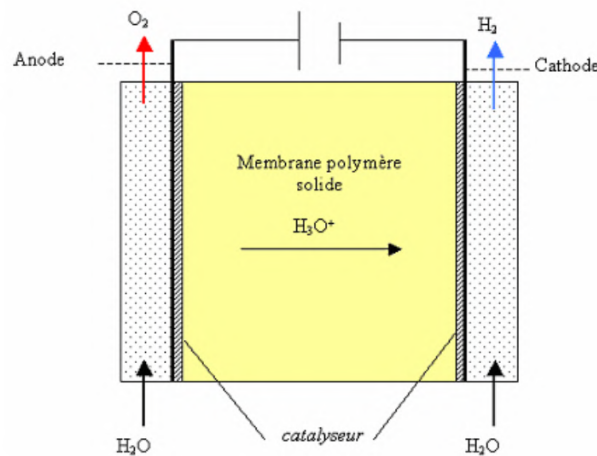
الشكل 11.I: مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي (SOEC) [20]

بعد إدخال بخار الماء إلى الكاثود حيث يتم إنتاج الهيدروجين وأيونات الأكسجين O^{2-} ، تهجر الأيونات O^{2-} عبر الغشاء الإلكتروني نحو الأنود ويتم تشكيل الأكسجين حسب التفاعلات التالية [19]:



ج - التحليل الكهربائي للحمض:

في خلية التحليل الكهربائي PEM (غشاء تبادل البروتون)، يتم فصل القطبين (الأنود والكاثود) بغشاء بوليمر كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل 12.I: خلية التحليل الكهربائي (PEM) [14]

عند تمرير الماء في الخلية وتطبيق فرق جهد كهربائي كافٍ بين هذين القطبين، يحدث التحليل الكهربائي للماء. حيث يتأكسد عند الأنود، وتهاجر البروتونات عبر الغشاء تحت تأثير المجال الكهربائي ويتم اختزالها إلى الكاثود وفقاً للتفاعل التالي:



يتم تغطية الأقطاب الكهربائية بمحفزات مصنوعة من معادن نادرة مثل البلاتين (platine) أو الإيريديوم (iridium)، حيث يعتمد أداء جهاز التحليل الكهربائي PEM بشكل أساسي على خصائص الغشاء والمحفزات المستخدمة، ولا يزال هذان المكونان يشكلان اليوم الحواجز التكنولوجية الرئيسية للتحليل الكهربائي PEM [14, 19].

4.I الطاقة الشمسية:

إن الطاقة الشمسية ناتجة أساساً عن تفاعلات حرارية-كيميائية تتمثل في اندماج ذرات الهيدروجين، ينتج عن ذلك تشكل الهليوم وتولد طاقة قدرها $36 * 10^{22} \text{KW}$ ، تنبعث هذه الطاقة من الشمس في شكل أمواج كهرومغناطيسية، ليصل منها إلى الأرض بمعدل $1.8 * 10^{17} \text{W}$ ، يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية عن طريق الألواح الشمسية وإلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الحرارية (الاطباق). تبلغ قيمة معدل الإشعاع الشمسي الساقط على المحيط الخارجي للأرض (قبل دخوله للغلاف الجوي) خلال وحدة الزمن والمقطع $E_0 = 1353 \text{W.m}^{-2}$ وهو ما يعرف بالثابت الشمسي [21, 22].

1.4.I الإشعاع الشمسي:

تعرف الشمس على أنها كرة غازية تتكون أساساً من غاز الهيدروجين، يصل قطرها إلى 1391000km (أي تفوق الأرض بحوالي 100 مرة) وتقدر كتلتها بـ 2.1027 طن. في كل ثانية يتحول 564.106 مليون طن هيدروجين إلى 560.106 مليون طن هيليوم و 4 مليون طن تضيع في شكل طاقة $E = mc^2$ ، ويمكن اعتبار الشمس جسماً أسوداً مشعاً عند درجة حرارة 5777K [21].

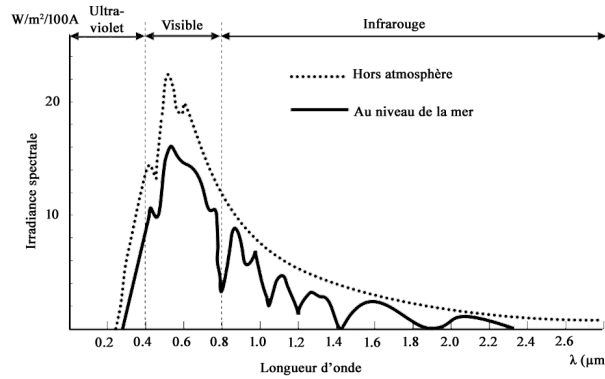
أ - طيف الإشعاع الشمسي: [23]

يتكون الإشعاع الكهرومغناطيسي من حبيبات ضوئية تدعى بالفوتونات، ترتبط طاقة الفوتونات مباشرة بالطول الموجي λ حسب العلاقة التالية:

$$E = hv = hc/\lambda \quad (18)$$

حيث: h هو ثابت بلانك، c سرعة الضوء و ν تردد الموجة. وينقسم الإشعاع الشمسي حسب الطول الموجي الى:

% 6.40	$0.38 > \lambda > 0.20 \mu\text{m}$	الإشعاع فوق البنفسجية (UV)
% 48.00	$0.78 > \lambda > 0.38 \mu\text{m}$	الإشعاع المرئية (V)
% 45.60	$10 > \lambda > 0.78 \mu\text{m}$	الإشعاع تحت الحمراء (UR)



الشكل 13.I: تحليل طيف الإشعاع الشمسي [24]

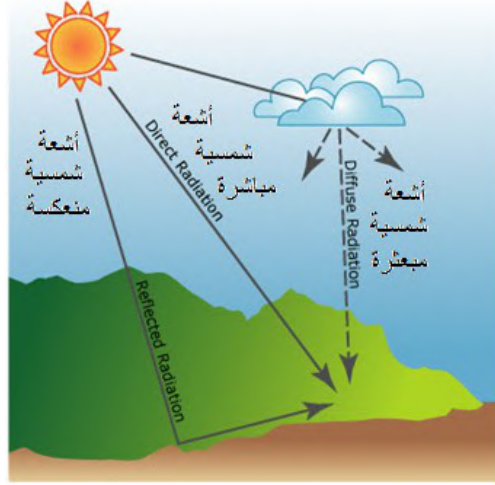
ب - أنواع الإشعاع الشمسي: [23]

ينقسم الإشعاع الشمسي الواصل الى سطح الأرض الى ثلاثة أجزاء كآلاتي:

- الإشعاع المباشر (Le rayonnement direct): وهو الإشعاع الواصل مباشرة من الشمس بدون تشتت من طرف الغلاف الجوي، وتكون أشعته متوازية فيما بينها.
- الإشعاع المبعثر (Le rayonnement diffuse): يتكون من فوتونات مبعثرة من طرف الغلاف الجوي (هواء، غيوم، غبار) تتغير كثافته بتغير الظروف الجوية.

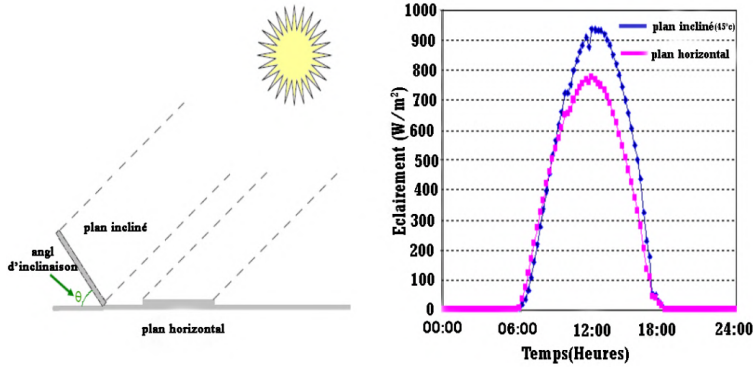
• الإشعاع منعكس (Le rayonnement réfléchi) : هو انعكاس جزء من الإشعاع الواقع على السطح او العناصر المجاورة للسطح المدروس، وتختلف نسب الانعكاس باختلاف نوع السطوح.

ويمثل الإشعاع الكلي (Le rayonnement global) مجموع الإشعاعات الثلاثة السابقة.



الشكل 14.I: أنواع الإشعاع الشمسي الواصل الى الأرض [25]

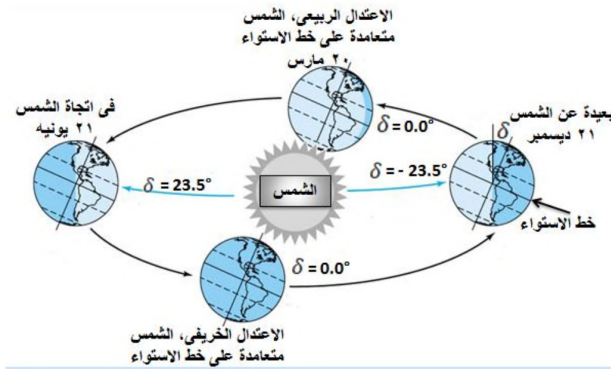
تسمى شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح معين في زمن معين بالإضاءة، ويعبر عنها بـ (W/m^2) ، ويمكننا القول بان تغير الإشعاع الشمسي مرتبط بـ: الموقع الجغرافي، الفصل، الساعة اليومية، الظروف الجوية (ضباب، غبار، رطوبة)، ارتفاع المكان واتجاه السطح، ويكون الإشعاع أعظما إذا كان السطح متعامد بالنسبة لأشعة الشمس. الشكل التالي يوضح تأثير ميل اللوح الكهروضمسي على شدة الإشعاع الشمسي الواصل الى سطح مائل وأقفي من طلوع الشمس الى غروبها [24, 26].



الشكل 15.I: شدة الإشعاع الشمسي في لوح أفقي ولوح مائل [26]

2.4.I حركة الأرض حول الشمس:

في غضون 24 ساعة تدور الأرض حول نفسها بالنسبة لمحور يسمى محور القطبين بزاوية 360°، ينتج عن ذلك تعاقب الليل والنهار، وفي نفس الوقت تكمل الأرض دورة كاملة حول الشمس في حركة اهليلجية في سنة واحدة، ينتج عن ذلك الفصول الأربعة (الشتاء، الربيع، الصيف والخريف) ويشكل مسار حركة الأرض حول الشمس قطع ناقص.



الشكل 16.I: دوران الأرض حول الشمس [27]

يدعى الخط العمودي على محور القطبين والذي يقطع وسط الأرض بخط الاستواء، يشكل الخط الموصل بين مركزي الشمس الأرض ومسقط هذا الخط على مستوي خط الاستواء زاوية تدعى بزاوية الانحراف الشمسي، ونتيجة للطبيعة الإهليلجية لمسار الأرض حول الشمس فإن قيم زاوية الانحراف تتغير بين 23.5° في الانقلاب الصيفي (21 جوان) و -23.5° في الانقلاب الشتوي (21 ديسمبر) [21, 28].

3.4.I مميزات الطاقة الشمسية:

تمتاز الطاقة الشمسية بالمقارنة مع مصادر الطاقة الأخرى بما يلي:

- الطاقة الشمسية طاقة هائلة من حيث مخزونها وكميتها، حيث أن الشمس منبع لا ينتهي من الطاقة وكمية الأشعة الشمسية التي تصل إلى الأرض تعادل عدة أضعاف احتياج البشرية من الطاقة.
- الطاقة الشمسية مجانية، لذلك يعتمد استخدامها على الكلفة التأسيسية فقط.
- تُعد الطاقة الشمسية عملية من ناحية استخدامها، فهي قابلة للتحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والميكانيكية والكهربائية.
- إن التقنية المستعملة فيها تبقى بسيطة نسبياً وغير معقدة بالمقارنة مع التقنية المستخدمة في مصادر الطاقة الأخرى.

- توفير عامل الأمان البيئي حيث أن الطاقة الشمسية هي طاقة نظيفة لا تلوث الجو ولا تترك فضلات مما يكسبها وضعاً خاصاً في هذا المجال وخاصة في القرن الحالي.

- صعوبة توفير الوقود التقليدي اللازم لتشغيل مولدات الكهرباء في المناطق النائية والمناطق الجبلية الوعرة حيث تكون الطاقة الشمسية ميزة مهمة لهذه المناطق من الناحية الاقتصادية حيث توفر تكاليف الوقود واليد العاملة وصيانة الآلات في تلك المناطق.

و بالمقابل فإن عدم استمراريتها خلال اليوم، حيث تتوفر فقط لساعات معينة في اليوم، يسبب مشاكل عملية في استخدامها [27, 29].

4.4.I أهمية الطاقة الشمسية:

تتعدى أهمية الطاقة الشمسية كونها مصدر النور على الأرض، فهي تلعب أدواراً بالغة الأهمية بداية من الضوء الذي تستفيد منه كل الكائنات من نبات وحيوان وإنسان، وصولاً إلى استخداماتها الحديثة التي توصل إليها عن طريق تطوير تكنولوجيات وتقنيات ونظم حديثة للطاقة.

- تأتي أهمية الطاقة الشمسية من اعتبارها أهم مصادر الطاقة المتجددة خلال القرن الحالي، لأن الطاقة التقليدية (الاحفورية) مهددة بالانقراض، وكذلك بما خلفته من آثار كارثية على بيئة الأرض من تلوث وارتفاع في درجة حرارة الأرض، والتي سببت تغيرات مناخية في جو الأرض، لذلك فإن جهود كثير من الدول تتوجه نحو استثمار الطاقة الشمسية، وترصد لها المبالغ اللازمة لتطوير المنتجات، والبحوث الخاصة باستغلال الطاقة الشمسية كإحدى أهم مصادر الطاقة البديلة للنفط والغاز، وقد أعطى النصيب الأوفر في البحوث والتطبيقات لمجال الطاقة الشمسية إلى الكهرباء وهو ما يعرف باسم photovoltaic ، وهذا المصدر من الطاقة هو أمل الدول النامية في التطور حيث أصبح توفر الطاقة الكهربائية من أهم العوامل الرئيسية لإيجاد البنى الأساسية فيها، ولا يتطلب إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية مركزية في التوليد بل تنتج الطاقة وتستخدم بالمنطقة نفسها أو المكان، وهذا ما يوفر الكثير من التكلفة في النقل والمواصلات.

- الطاقة الشمسية هي المسؤولة عن عملية التركيب الضوئي التي تقوم بها الأجزاء الخضراء للنباتات حيث يصنع النبات غذاءه.

- الطاقة الشمسية هي المسؤولة عن نمو النباتات والأشجار، التي دفنت منذ العصور القديمة في باطن الأرض مع غيرها من بقايا الكائنات الحية، حيث تحولت هذه البقايا وتلك الأشجار والنباتات بفعل الضغط والحرارة المرتفعة إلى بترول وفحم وغاز طبيعي، والتي تعد الآن من أهم المصادر التقليدية للطاقة.

ولقد أدرك الإنسان أهميتها، فوجهت العديد من المراكز البحثية اهتمامها وأبحاثها لدراسة إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في كافة الأغراض الحياتية، مثل تسخين المياه، طهي الطعام وأغراض أخرى [30].

5.4.I استخدامات الطاقة الشمسية:

يمتد تاريخ استخدام الطاقة الشمسية الى عصور قديمة، فنساء الكهنة في الدولة البابلية 1763 ق.م، استخدمن أواني ذهبية مصقولة كمرايا، لتركيز الإشعاع الشمسي نحو قطعة خشبية، لإضرام النار فيها، واستخدامها لحرق الأشجار وبقايا النباتات للحصول على الطاقة الحرارية. وتروي كتب التاريخ العلمي بمبالغة، أن العالم اليوناني أرخميدس (287-212 ق.م)، استطاع بمئات من الدروع المعدنية المصقولة، تركيز الإشعاع الشمسي، وإحراق الأسطول البحري لإسبارطة بأكمله. حاول الإنسان منذ فترة بعيدة الاستفادة من الطاقة الشمسية واستغلالها ولكن بقدر قليل ومحدود، ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الإنسان فُتحت آفاق علمية جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسية [31].

أ - الاستخدامات الحرارية [31]:

وهي الأقدم تاريخياً، وتعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية، تنتقل من الجسم الساخن الى البارد بثلاث طرق، هي التوصيل والحمل والإشعاع، وتخزن عبر وسيط مادي سواء أكان سائلاً أم غازاً، ويتم ذلك بعدة أنواع من العدسات أو المرايا، منها المستوي الذي يجمع ويركز الإشعاع الشمسي نحو جسم داكن اللون ومعزول، فيمتص حرارته لنحصل على درجات حرارة منخفضة ومتوسطة، ومنها المحدب الذي نحصل من خلاله على درجات حرارة عالية. وأهم الاستخدامات الحرارية هي:

- تجفيف المحاصيل الزراعية: منذ أن عرف الإنسان الزراعة أدرك أهمية الطاقة الحرارية للشمس عندما استخدمها بصورة مباشرة في تجفيف ملابسه ومحاصيله الزراعية من فواكه وخضروات وحبوب، لتخليصها من الرطوبة بهدف حمايتها من التلف السريع، ومن ثم تخزينها لتبقى صالحة لمدة أطول.
- تسخين المياه: تزداد شعبية السخانات الشمسية يوماً بعد يوم وفي جميع أرجاء العالم نظراً لبساطة تقنياتها وقلة تكلفتها، ودعم الحكومات لها، فهي أجهزة تمتص الطاقة الشمسية وتحولها إلى طاقة حرارية، لتسخين المياه في المنازل والتجمعات السكنية والمساح، وفي الصناعة والزراعة وغيرها.
- تحلية المياه المالحة: إن مشكلة نقص المياه الصالحة للشرب بسبب النمو المتزايد لسكان العالم وخصوصاً في البلدان النامية والمناطق النائية، تحتاج الى حل قبل فوات الأوان، ولحلها ولو جزئياً أنشأت شركة تشغيلية متخصصة في التعدين أول محطة منذ عام 1872 ، استخدمت الطاقة الشمسية

مباشرة لتحلية المياه المالحة لمنجمي الفضة والملح الصخري، لتزويد عائلات العمال بأكثر من 22 ألف لتر ماء نقي في اليوم، تتألف من حوض كبير مطلي من الداخل باللون الأسود (أكثر الألوان امتصاصا لحرارة الشمس)، يعمل على تسخين الماء المالح حتى درجة التبخير، ليصطدم البخار بالأسطح المائلة الداخلية للغطاء الزجاجي للحوض، ويتكاثف عليه ثم تجمع المياه على جوانبه، وتنقل في أنابيب إلى خارج الحوض ماء صالحا للشرب. ثم تتالت عمليات التطوير لهذه المحطة.

• الطباخ الشمسي: جهاز يطهى فيه الطعام باستخدام الطاقة الشمسية، ويتكون بأبسط صورة من صندوق، تعزل وجوهه الخمسة جيدا، لحفظ وحبس حرارة الإشعاع الشمسي، وتطلى بمادة داكنة غير لامعة، لامتصاص أكبر قدر من هذه الحرارة، أما الوجه السادس الذي يواجه الشمس، فيغطي بلوح زجاجي شفاف، تنفذ منه أشعة الشمس ذات الأمواج القصيرة والطاقة العالية إلى داخل الصندوق، لرفع درجة حرارته تدريجيا مع الزمن، لتصل إلى درجة مناسبة لطهي الطعام الموضوع في وعاء داخله.

• أفران الصهر: استخدم علماء كثر الطاقة الشمسية لصهر المواد في أفران، نذكر منهم لفوازيه وسوز و أركسون، وأشهر هذه الأفران في العالم الطباخ الشمسي الحديث فرن مدينة أود يلو الفرنسية، أكثر الأماكن المشمسة على سطح الأرض، إذ تشرق عليها الشمس أكثر من 3500 ساعة في العام، وقد تم بناؤه عام 1969 ، ويتكون الفرن من 63 مرآة مثبتت على سفوح الجبال المحيطة به، وتعكس أشعة الشمس على مرآة مقعرة مساحتها نحو 2000 متر مربع، وتصل درجة حرارتها إلى 3500 درجة مئوية، وهي درجة كافية لصهر أغلب المواد في الطبيعة، ودراسة خواصها عند هذه الدرجة المرتفعة. والصورة التالية توضح شكل هذا النوع من الأفران:



الشكل I.17: فرن شمسي (مدينة أود يلو الفرنسية) [32]

ب - الاستخدامات الكهربائية [29] :

تعد الخلايا الشمسية من أهم وسائل تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وتمتاز هذه المنظومات بسهولة النصب والتشغيل والموثوقية في الإنتاج وعدم الاحتياج إلى الصيانة المستمرة وعدم تلوث البيئة وعمرها التشغيلي أكثر من 25 سنة. ويمكن تقسيم هذه المنظومات حسب القدرة الكهربائية إلى ما يلي:

- تطبيقات ذات قدرة منخفضة تشمل الأجهزة والمنظومات التالية: الحاسبات والألعاب الإلكترونية والساعات، أجهزة الإذاعة المسموعة وشاحنات وسائط القدرة المنخفضة.
- تطبيقات ذات قدرة متوسطة وتشمل المنظومات التالية: الإنارة، أجهزة الإذاعة المرئية، ثلاجات اللقاح والأمصال، إشارات المرور والإنذار، مراوح الأسقف (التهوية)، هواتف الطوارئ، شاحنات السياج الكهربائي (حيث يشحن السياج المحاط بالمزارع وأماكن تربية الحيوانات لمنعها من الاقتراب منها).
- تطبيقات ذات قدرة متوسطة وعالية وتشمل المنظومات التالية: ضخ المياه، محطات اتصالات الموجات السنتيمترية، محطات الأقمار الصناعية الأرضية، الوقاية المهبطية لحماية أنابيب النفط والغاز والمنشآت المعدنية من التآكل، تغذية شبكة الكهرباء العامة.

5.I تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية:

تُعد الخلايا الكهروضوئية أحد أهم الأساليب المعروفة والأكثر تفضيلاً لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، ويتصف هذا الأسلوب بمزايا عديدة أهمها:

- توفير طاقة نظيفة وصديقة للبيئة، حيث لا تنبعث أي غازات ضارة.
- تكاليف التشغيل والصيانة للوحدات الكهربائية الضوئية منخفضة جداً، مقارنة بتكاليف أنظمة الطاقة الأخرى.

- الألواح الشمسية لا تصدر أي ضجيج.

وبالمقابل فإنه:

- تتطلب الألواح الشمسية معدات إضافية لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهربائية لاستخدامها في شبكة الكهرباء.

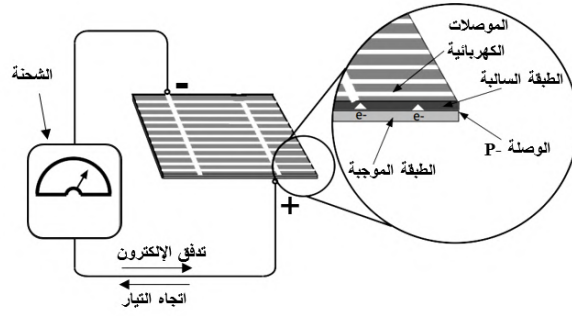
- الإمداد المستمر للطاقة الكهربائية، يتطلب استخدام بطاريات لتخزين الطاقة. وبالتالي زيادة كبيرة في التكلفة.
- الحاجة إلى مناطق كبيرة - نسبياً من الأرض - لتركيب الألواح الشمسية.
- كفاءة الألواح الشمسية منخفضة نسبياً مقارنة بأنظمة الطاقة المتجددة الأخرى.
- الألواح الشمسية هشة نسبياً ويمكن أن تتلف بسهولة وتتطلب تأمين إضافي [33].

1.5.I الضاهرة الفولطاضونية:

تتمثل في التحويل المباشر للأشعة إلى كهرباء. جاء اسم الفوتوفولتيك photovoltaic ، كاسم مركب لظاهرة التحويل هذه، أي تحويل الضوء (الفوتون photons) إلى كهرباء (فولتية Voltage). ويعتبر العالم الفيزيائي الفرنسي "أدموند بيكويرل Bequerel" أول من لاحظ هذه الظاهرة سنة 1839 ، حيث وجد أن بعض المواد تنتج كمية قليلة من الكهرباء عند تعرضها للضوء، بعدها بأزيد من (80 سنة) استطاع ألبرت أينشتاين في سنة 1921 شرح طبيعة الضوء، والتأثير الضوئي الكهربائي photoelectric وعلى أساس هذه الشروحات تمكن المختصون لاحقاً من تطوير تكنولوجيا الخلايا الشمسية، وحصل أينشتاين في حينه على جائزة نوبل في الفيزياء على بحثه هذا [30].

2.5.I الخلية الشمسية (PV Cell):

هي المكون الأساسي للمنظومة الشمسية وهي اصغر جزء فيه، تستجيب للإشعاع الشمسي المباشر وغير المباشر محولة طاقة الإشعاع إلى طاقة كهربائية. تعتمد كفاءة عمل الخلية على عاملين: الأول هو كفاءة التحويل داخل الخلية والثاني هو قابلية الخلية الشمسية على امتصاص الفوتونات. كما تختلف أبعاد الخلايا الشمسية وفقاً لنوعها وطريقة صناعتها، وتكون بأبعاد $10 \times 10 \text{ cm}$ كخلايا قياسية، أقل ما يمكن أن تنتجه الخلية الشمسية من طاقة يتراوح بين 1-2 watt بسبب صغر حجم الخلية الشمسية.



الشكل 18.I: الخلية الكهروضوئية [24]

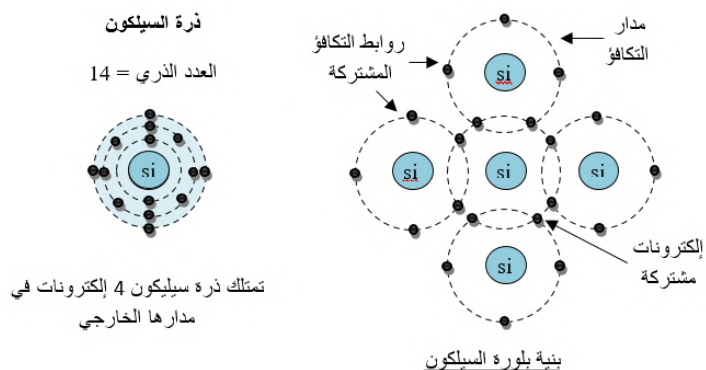
تكون الخلايا الشمسية إما بأشكال واضحة الحدود ضمن الوحدة الشمسية الواحدة، إذ من الممكن أن تكون بشكل مربع أو مستطيل أو دائري تفصل بينها فواصل بمسافات تختلف حسب تصميم الوحدة الشمسية، أو من الممكن أن يكون مظهرها كقطعة واحدة تغطي الوحدة الشمسية بدون فواصل. ولزيادة الإنتاجية الكلية للطاقة يتم تجميع الخلايا الشمسية في صفائح مغلقة مع بعضها لتكون الوحدة الشمسية [Module] التي بتكرارها تكون الصف الشمسي [String]. مجموع الصفوف الشمسية يشكل الألواح الشمسية [Array]

[34]

3.5.I مكونات الخلية الشمسية:

أ - مادة السيلكون:

تحتوي ذرة السيلكون البلوري على 14 إلكترون مرتبة في ثلاثة طبقات مختلفة وأول طبقتين وهما الأقرب إلى المركز ممثلتين تماماً، أما الطبقة الخارجية فهي الطبقة النصف ممثلة بها 4 إلكترونات. تقوم ذرة السيلكون بالبحث عن إلكترونات لتملأ طبقتها الأخيرة (والتي تكون 8 إلكترونات) وليتم ذلك تشترك بأربعة إلكترونات مع ذرة السيلكون التي تقع بالقرب منها، وهذا وصف السيلكون البلوري الصافي. والذي يوصف أيضاً بأن جميع الإلكترونات محبوسة في التركيب البلوري [27].



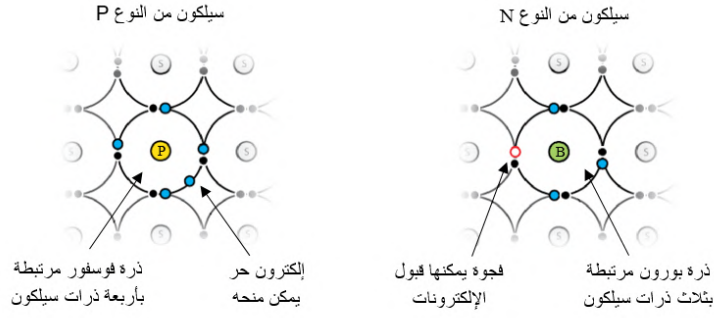
الشكل 19.I: تركيبة السيليكون البلوري الصافي [35]

ب - بلورتي الخلية الشمسية [31]:

إن السيليكون في تركيبه المستقر المنتظم (الصافي) لا يكون ناقل للتيار الكهربائي لعدم وجود إلكترونات حرة فيه، و عليه فإنه يطعم بذرات عنصر الفسفور والبورون وغيرهما من الشوائب، وذلك للحصول على بلورتي الخلية الشمسية. العليا وتكون سالبة أي تحوي إلكترونات حرة فائضة تسعى للتخلص منها، وبلورة سفلى موجبة أي تحوي فجوات، وتسعى أن تمتلئ بالإلكترونات.

يطعم السيليكون النقي بكمية لا تتعدى جزءاً من المليون من عنصر الفسفور (P) الذي يحتوي على خمس إلكترونات في مداره الخارجي، وبدخوله التركيب البلوري لذرات السيليكون، يتشارك مع أربع ذرات منه بأربعة إلكترونات، ويبقى الإلكترون السالب الخامس حراً. وبذلك يتم التحصل على بلورة سيلكونية مطعمة بالفسفور من النوع السالب ويرمز لها بالرمز N.

كما تطعم بلورات السيليكون النقية بعد صهرها بذرات أحد عناصر المجموعة الثالثة كالبورون (B) وترتبط كل أربع ذرات من السيليكون مع ذرة واحدة من البورون بأربعة روابط تشاركية، ولأن البورون لا يحوي مدار خارجي سوى ثلاثة إلكترونات أي لا يمتلك إلكترونات من أجل الرابطة التشاركية الرابعة، فتتكون فجوة حرة موجبة، ويكون عددها مساوياً لعدد ذرات عنصر البورون المضاف، وبذلك يتم التحصل على بلورة سيلكونية مطعمة بالبورون من النوع الموجب، ويرمز لها بالرمز P.



الشكل 20.I: سيلكون مطعم بكل من عنصر البورون والفوسفور على الترتيب [35]

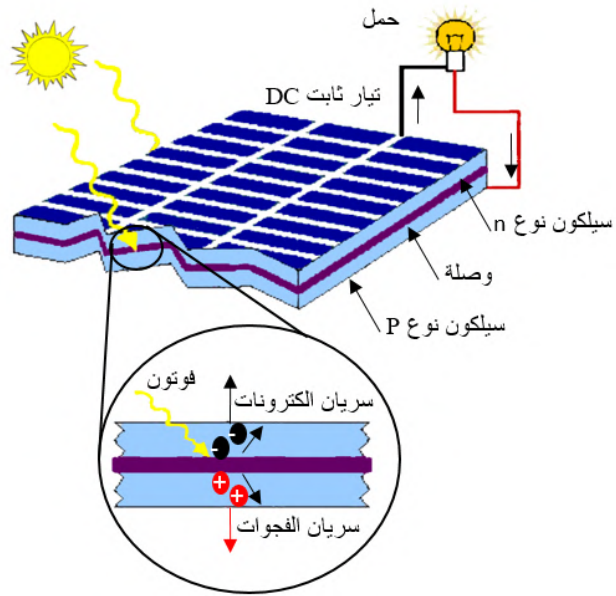
4.5.I مبدأ عمل الخلية الشمسية [31]:

عند توصيل بلورتي الخلية معاً، تنتقل الإلكترونات الحرة من البلورة السالبة باتجاه الفجوات في البلورة الموجبة تاركة بعض ذراتها على هيئة أيون موجب، كما تنتقل الفجوات بالاتجاه المعاكس تاركة بعض ذراتها على هيئة أيون سالب. لكن عملية الانتقال لا تستمر نتيجة تجمع الشحنات الموجبة والسالبة على جانبي منطقة الوصل ونشوء فرق كمون يسمى كمون الحاجز، يؤدي بدوره إلى تكوين مجال كهربائي داخلي، يعرقل حركة الشحنات الموجبة والسالبة، وتؤدي زيادته إلى سكونها واستقرارها كما في الشكل:



الشكل 21.I: حركة الشحنات ونشوء المجال الكهربائي [31]

وعندما تسقط فوتونات الضوء بطاقة كافية على الخلية الشمسية، تعمل على تحرير بعض الإلكترونات والفجوات الموجودة بالقرب من الحاجز، ويقوم المجال الكهربائي الداخلي بتوجيه الفجوات نحو الجزء الموجب (المصعد) والإلكترونات نحو الجزء السالب (المهبط). وعندما يتم توصيل مصعد الخلية الضوئية الموجب ومهبطها السالب بدائرة خارجية، أو بطرفي مصباح كهربائي صغير، تعود الإلكترونات والفجوات إلى موضعها الأصلي، وحركتها هذه تمثل التيار الكهربائي المستمر المطلوب. وبمعرفة فرق الجهد المتكون بين طرفي الخلية، يمكن حساب الطاقة الكهربائية الناتجة عنها، والتي تضيء المصباح الكهربائي باستمرار طالما أن الخلية معرضة لضوء الشمس كما في الشكل:



الشكل 22.I: مبدأ عمل الخلية الشمسية [31]

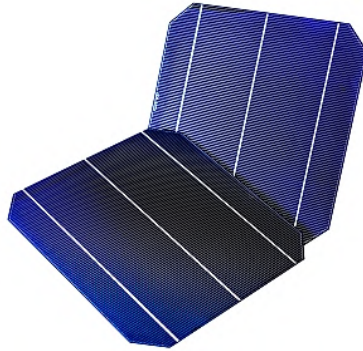
5.5.I أنواع الخلايا الشمسية [34]:

هناك عدة أنواع من الخلايا الشمسية، يمكن تصنيفها كالتالي:

أ - الخلايا الشمسية المتبلورة:

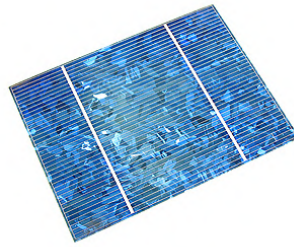
هناك نوعين من السليكون المتبلور بالاعتماد على درجة النقاوة واتجاه التبلور وهما الأحادي التبلور Monocrystalline والمتعدد لتبلور Polycrystalline ، وهي موضحة كتالي:

✓ أحادية التبلور: تكون بلورات السليكون ذات اتجاه واحد، وبنقاوة أعلى وهي أغلى ثمنًا. يعتبر هذا النوع من أكثر البنيات البلورية انتظامًا. تكون بلون واحد وتندرج من الأزرق إلى الأسود وبالإمكان صنع الخلايا بألوان أخرى ولكن ستكون كلفتها أعلى حيث ستقل كفاءة الخلية، فالألوان الأخرى إذا ما تم استخدامها ستعكس جزء من طاقة الإشعاع الشمسي التي ستصلها وبالتالي سيحتاج المصمم إلى عدد أكثر من الخلايا الشمسية، فاللون الذهبي أو اللون الأرجواني سيكون ذو مظهر مميز إذا ما تم استخدامه إلا أنه سيتسبب بخسارة في الكفاءة. تتراوح كفاءة الخلية الشمسية mono crystalline من 15 - 20 % .



الشكل I.23: خلية شمسية من نوع أحادية البلور (Monocrystalline) [36]

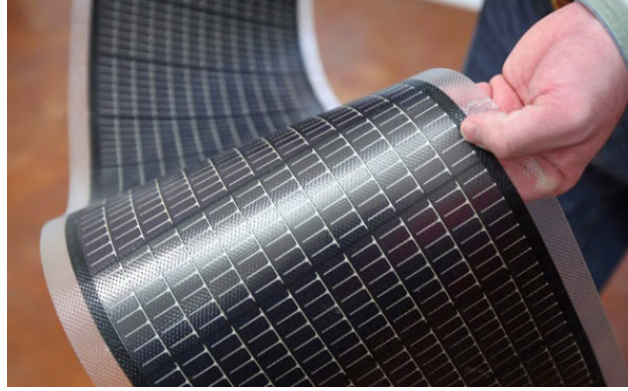
✓ متعددة التبلور: تكون بلورات السليكون باتجاهات مختلفة ولذلك تبدو كقطع منكسرة غير منتظمة تعطي عدة تدرجات من اللون الواحد. عادة ما تكون بتدرجات مختلفة للون الأزرق إلا أنها كسابقتها من الممكن أن تتوفر بألوان أخرى كالرصاصي. ويكون لهذا النوع لمعان خفيف في المظهر الخارجي. تتراوح كفاءة الخلية الشمسية من 14 – 10 %.



الشكل I.24: خلية شمسية من نوع متعددة البلور (Polycrystalline) [37]

ب - الخلايا الرقيقة:

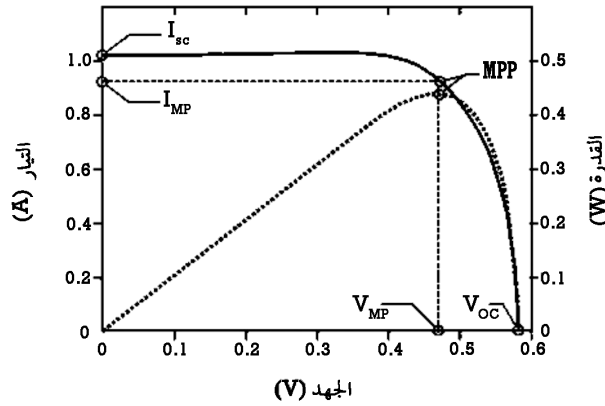
هي أحد أنواع الخلايا التي تجذب اهتماماً واسعاً من قبل المصممين بسبب قابليتها على التشكل، حيث من الممكن أن تتوفر بأشكال صلبة كباقي الأنواع أو خلايا خفيفة Thin film بهيئة رقائق متعددة الطبقات يتم ترسيبها عند التصنيع بطبقات رقيقة وبسمك لا يتجاوز بعض المايكروونات من مواصفات الخلايا الشمسية من نوع (Thin film) إنها مرنة وقابلة للطي وخفيفة الوزن ومن الممكن استخدامها على السطوح الأفقية والمنحنية بأدائية عالية ولا يتم استخدام الزجاج بها ولا تحتاج إلى هياكل للتثبيت، ومن أنواعها: خلايا متعددة الطبقات، خلايا الكادميوم، خلايا النحاس وخلايا الغاليوم.



الشكل I.25: خلية شمسية من نوع خلايا رقيقة (Thin film) [31]

6.5.I الخصائص الكهربائية للخلايا والالواح الشمسية:

عموماً، تحدد الخلية الفوتوفلتيية بفرق جهد دارتها المفتوحة والتيار دارتها المغلقة، حيث تتصف الخلية الشمسية ذات المساحة 100cm^2 بإنتاجية جهد مقداره (0.5 V) والتيار يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي يصل مقداره بين (3-2.5 A) في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى. [27] الشكل التالي يوضح تغير التيار والاستطاعة بدلالة الجهد لخلية كهروضمسية.



الشكل I.26: تغير كل من التيار والاستطاعة بدلالة الجهد للخلية الشمسية [38]

حيث:

I_{sc} هو تيار الدارة المغلقة (أو تيار دائرة القصر) وهو التيار المار في الخلية الفوتوفلتيية بدون حمل أو مقاومة، وهو أقصى تيار تستطيع الخلية الفوتوفلتيية إنتاجه من الإشعاع الشمسي، V_{oc} هو فرق جهد الدائرة المفتوحة وهو قيمة الجهد الذي تعطيه الخلية الفوتوفلتيية عندما لا يمر أي تيار بالدائرة، وهو أقصى جهد تعطيه الخلية من الإشعاع الشمسي [27]، MPP (The maximum power point) هي أعلى قيمة ممكنة للقدرة المتولدة من الخلية الشمسية، حيث تمثل نقطة تقاطع أعلى قيمة لكل من التيار والجهد المنتج [39]،

VMP يمثل الجهد الموافق لأعلى قدرة و IMP هو التيار الموافق لأعلى قدرة [40].

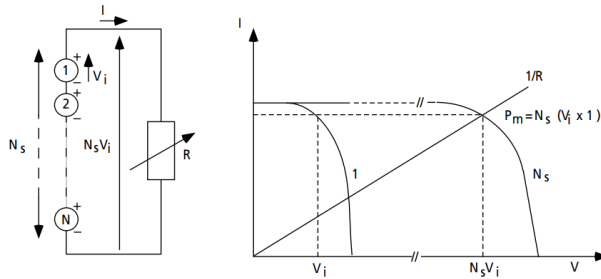
أ - توصيل الألواح الشمسية على التسلسل: [27]

في الحالة المثالية عند توصيل مجموعة من الألواح الشمسية المتماثلة عددها (n) على التسلسل فإن فرق جهد الدائرة المفتوحة يساوي عدد الألواح الشمسية مضروباً في جهد اللوح الواحد وذلك في حالة عدم مرور تيار.

$$V_{SG} = nV_{OC1} = nV_{OC2} \dots \quad (19)$$

بينما عند وجود حمل متصل على مجموعة الألواح الشمسية أي ($I > 0$) فإن:

$$V_{SG} = \sum V_n = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n \quad (20)$$



الشكل 27.I: الألواح الكهروضوئية المربوطة على التسلسل [24]

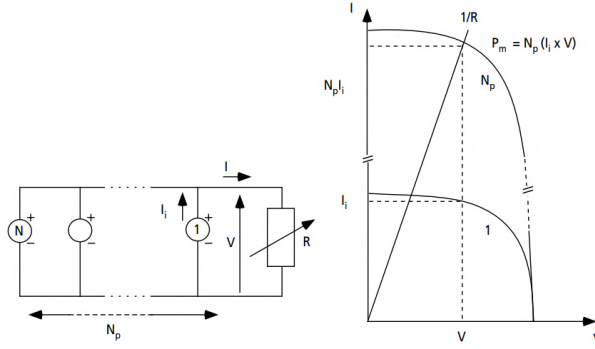
N_s : عدد الألواح المتصلة على التسلسل. P_m : القدرة القصوى.
 V_i : جهد اللوح الشمسي الواحد. I : التيار المار خلال الألواح الشمسية.
 R : المقاومة.

ب - توصيل الألواح الشمسية على التفرع: [27]

في حالة توصيل عدد (n) من الألواح الشمسية متماثلة على التوازي، فإن الجهد الناتج يساوي جهد لوح واحد، بينما التيار الناتج هو مجموع التيارات المارة في كل لوح أي أن:

$$I_{SG} = \sum I_n = I_1 + I_2 + I_3 \dots + I_n \quad (21)$$

$$V_{SG} = \sum V_n = V_1 = V_2 = V_3 \dots = V_n \quad (22)$$



الشكل I.28: الألواح الكهروضوئية المربوطة على التفرع [24]

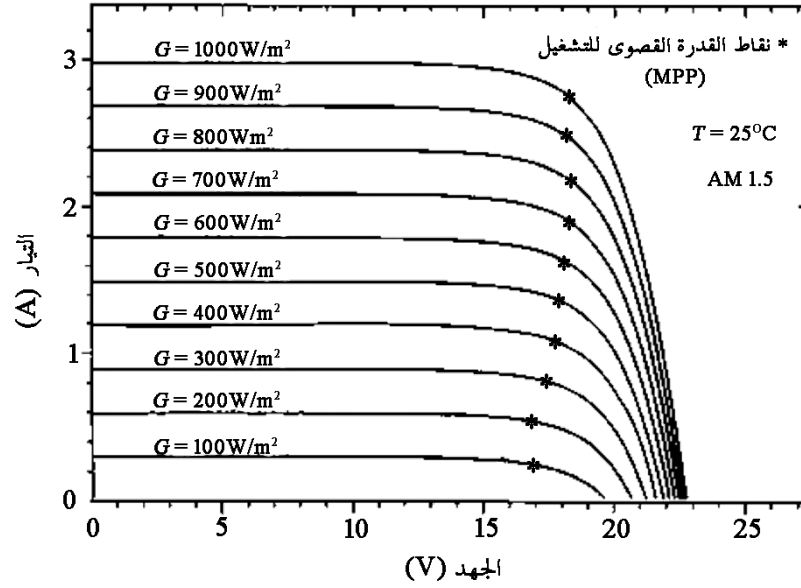
N_p : عدد الألواح المتصلة على التوازي. V : جهد الموافق لكل الألواح.
 I_i : تيار اللوح الشمسي الواحد. R : المقاومة.

7.5.I العوامل المؤثرة على الخلية الشمسية:

تمثل شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيط وحركة الرياح المؤثرات المناخية الرئيسية على الخلية الشمسية. وهذه العوامل المناخية تؤثر على خرج الخلية الشمسية الفوتوفلطية (الجهد- التيار- ونقطة القدرة القصوى). كما تؤثر هذه العوامل على الحرارة الداخلية للخلية الشمسية والتي بدورها تؤثر على مخرج الخلية الشمسية.

أ - تأثير شدة الإشعاع الشمسي:

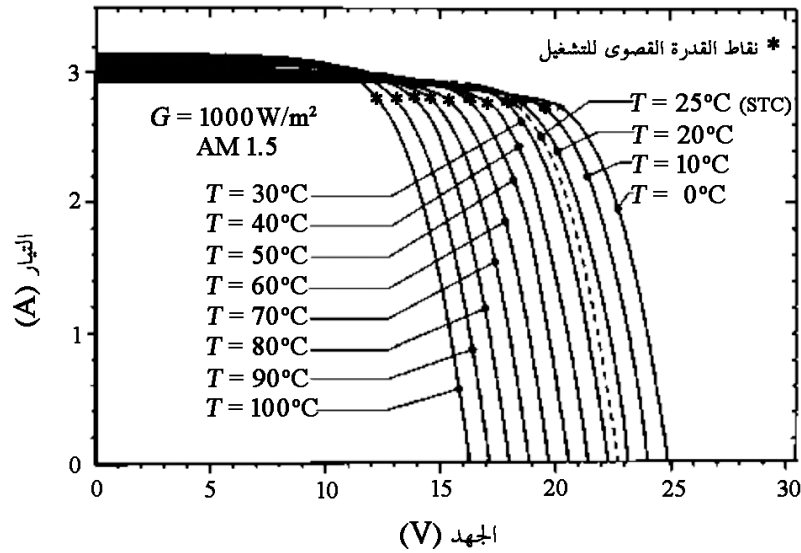
إن فرق الجهد الناتج من الخلية الفوتوفلطية يظل ثابتا عند كل مستويات الإشعاع الشمسي الساقط لكن التيار الناتج يتغير بشكل مباشر تبعا لقيم الإشعاع الشمسي الساقط عند كل لحظة زمنية. الشكل التالي يبين تغير قيم الجهد والتيار تبعا لتغير الإشعاع الشمسي الساقط على الخلية [27].



الشكل I.29: تغير قيم الجهد والتيار تبعاً لتغير شدة الإشعاع الشمسي [38]

ب - تأثير درجة الحرارة:

إن ارتفاع حرارة المحيط الخارجي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخلية الشمسية وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض جهد الدارة المفتوحة وارتفاع تيار القصر للخلية الشمسية [27].



الشكل I.30: تغير قيم الجهد والتيار بالنسبة لتغير درجة الحرارة [38]

ج - تأثير الرياح:

إن حركة الرياح لا تؤثر بشكل مباشر على خرج الخلية الشمسية ولكن تؤثر على حرارة السطح للخلية الشمسية وبالتالي الحرارة الداخلية للخلية الشمسية. ومن المعلوم أن حركة الرياح تؤثر على تيارات الحمل وبالتالي تعمل على رفع معامل انتقال الحرارة بالحمل والذي بدوره يساعد في انتقال الحرارة من سطح الخلية إلى المحيط الخارجي وهذا يخفض من الحرارة الداخلية للخلية وبالتالي يحسن من كفاءتها [27].

6.I دراسات سابقة لإنتاج الهيدروجين الشمسي في مدينة ورقلة

ومن الجدير بالذكر أن هناك العديد من الدراسات التجريبية والنظرية في مجال إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء التي أجريت في منطقة ورقلة. فعلى سبيل المثال، تم إجراء دراسة حول محاكاة نقل الأنواع وإدارة المياه في خلايا الوقود PEM ، كان الغرض منها هو تقديم نموذج خلايا وقود أحادي الطور لتوضيح التفاعلات ثلاثية الأبعاد بين النقل الجماعي والحركية الكهروكيميائية في خلايا وقود غشاء تبادل البروتون (PEM) مع قنوات الغاز المستقيمة، تشير نتائج النموذج إلى أن تركيز الأكسجين في مواقع التفاعل يتأثر بشكل كبير بزيادة الضغط مما يؤدي إلى زيادة طاقة خلايا الوقود؛ كانت هذه الدراسة عام 2010 [41].

وفي ذات السنة تم إجراء دراسة أخرى حول المبادئ الأساسية للتحليل الكهربائي للمياه القلوية باستعمال الخلايا الكهروضوئية. كان الغرض منها هو تقديم بعض الخصائص العامة المتعلقة باقتران المحلل الكهربائي للماء القلوي على نطاق مختبر مدعوم بمجموعة من الألواح الكهروضوئية، وتقديم وصف للاختبارات مختلفة التي تم إجراؤها على هذا النظام وتطوير برنامج تحت Matlab لمحاكاة اقتران مباشر (المحلل الكهربائي-ألواح كهروضوئية). ومن خلال النتائج التجريبية تم التوصل إلى معلومات عملية عن اقتران الألواح وخلايا التحليل الكهربائي. حيث أن كفاءة النظام كانت منخفضة بسبب انخفاض كفاءة الألواح وكذلك عدم التوافق بين الألواح والمحلل الكهربائي. كما تُظهر نتائج محاكاة الاقتران المباشر (المحلل الكهربائي-ألواح كهروضوئية) وفقاً لمستويات الإشعاع المختلفة، إمكانية تحسين أداء النظام لقوة معينة من الألواح [42].

تلتهها دراسة تجريبية أخرى لأداء إنتاج الهيدروجين الشمسي بواسطة التحليل الكهربائي للماء في مدينة ورقلة . تم تغذية التحليل الكهربائي للمياه القلوية، بتركيزات مختلفة من N_aOH ، بواسطة الألواح الكهروضوئية. واختبار النظام في ظروف إدخال مختلفة من الجهود والتيارات. كما تم فحص تأثيرات درجة الحرارة وتركيز الإلكتروليت N_aOH على إنتاج الهيدروجين [43].

وفي سنة 2016 أجريت دراسة تجريبية بذات المنطقة حول إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء باستخدام تيار لوحة كهروضوئية، كان الهدف منها معرفة تأثير طبيعة الإلكتروليت على حجم الهيدروجين المنتج، والتي تضمنت مقارنة بين اثنين من سلوكيات الشوارد القلوية (KOH و N_aOH

(أظهرت أن هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH 3 M) أكثر فعالية من هيدروكسيد الصوديوم (N_aOH 3 M) لنفس ظروف التحليل الكهربائي للضغط ودرجة الحرارة والتيار الحمل وجهد الحمل. حيث بلغ الإنتاج الكلي لخلايا $NaOH$ KOH $5122cm^3$ و $3279cm^3$ من الهيدروجين في الظروف القياسية مع تسجيل أقصى كفاءة 90.25 % و 83.33 % على الترتيب [44].

تلتها دراسة تجريبية أخرى سنة 2017 لإنتاج الهيدروجين الشمسي عن طريق التحليل الكهربائي للماء، وذلك من خلال الربط المباشر بين المحلل الكهربائي (Hoffman voltamètre) واثنين من الألواح الكهروضوئية. تم استخدام هيدروكسيد الصوديوم بتركيز منخفض في التجربة التي أجريت في درجة الحرارة المحيطة. كانت هذه التجربة الأولى من نوعها بالمنطقة من حيث المدة، حيث أجريت على مدار 45 يوم موزعة على معظم أشهر السنة. ولقد أوضحت هذه الدراسة التغيرات في الإشعاع الشمسي والجهد والتيار وكذلك تدفق الهيدروجين خلال يوم وشهر وسنة. كما أوضحت مدى التأثير السلبي لدرجة الحرارة الموسمية على كفاءة الخلايا الكهروضوئية بالمقابل التأثير الإيجابي لدرجة الحرارة الموسمية على عملية إنتاج الهيدروجين [45].

II. الجانب التجريبي

1.II مقدمة:

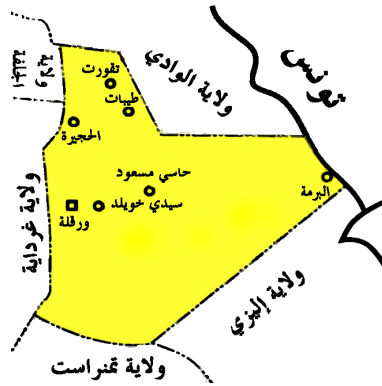
في هذا الفصل سيتم التعرف على كل ما يتعلق بالدراسة التجريبية المجراة والمتمثلة في إنتاج الهيدروجين الشمسي من خلال المياه الصاعدة إلى سطح الأرض بمنطقة ورقلة (الشط) ، بداية بالهدف من العمل التجريبي، مروراً بأهم الخصائص التي تتميز بها المنطقة، الأجهزة المستخدمة في التجربة والخصائص I-V لكل من الألواح الكهروضوئية والمحلل الكهربائي، ووصولاً إلى المقادير المقاسة في التجربة.

2.II الهدف من التجربة:

الهدف من هذه الدراسة المتمثلة في إنتاج الهيدروجين الشمسي عن طريق التحليل الكهربائي للمياه الصاعدة إلى سطح الأرض بمدينة ورقلة (الشط) هو استغلال هذه المياه للحصول على طاقة مفيدة قابلة للاستعمال وفي نفس الوقت المساهمة بشكل كبير في القضاء على المشكلة.

3.II التعريف بالمنطقة:

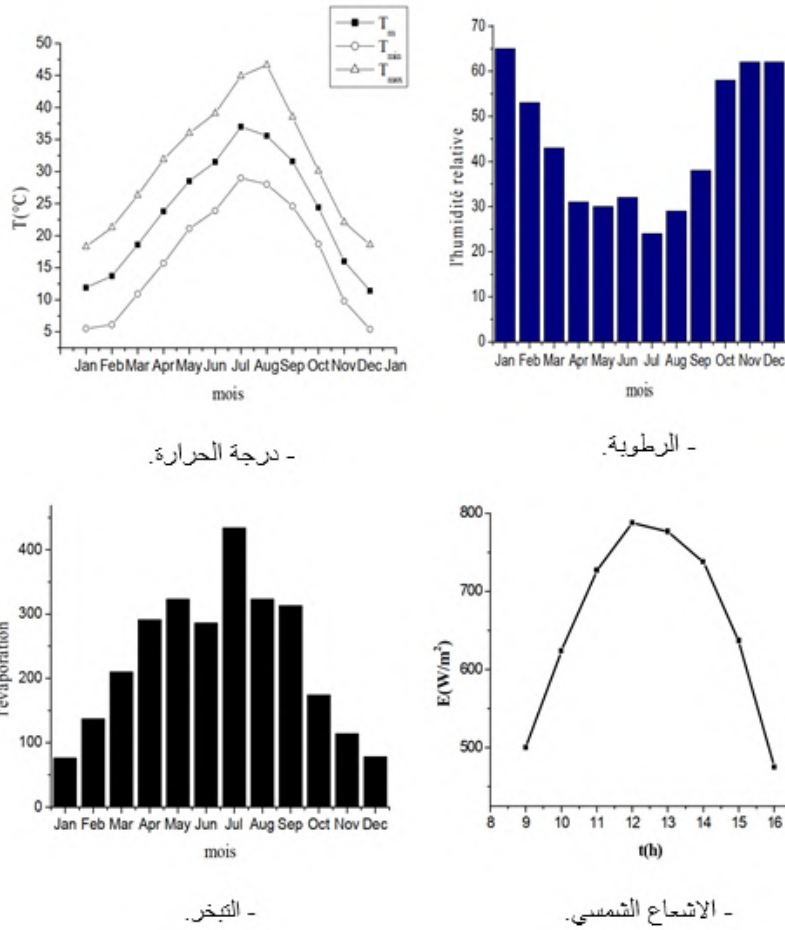
تقع ولاية ورقلة في جنوب شرق الجزائر، تغطي مساحة قدرها 163230Km^2 . ولا تزال واحدة من أكبر المجتمعات الإدارية في البلاد، يقدر عدد سكانها بنحو 579608 نسمة. يحدها شمالاً: ولايات الجلفة والوادي وبسكرة، شرقاً: تونس، غرباً: ولاية غرداية، جنوباً: تمنراست وإليزي. [46]



الشكل II.1: موقع ولاية ورقلة [46]

تقع مدينة ورقلة على ارتفاع 128 متر وخط عرض 32.5° شرقا. تتميز بمناخ صحراوي، مع سقوط أمطار منخفضة للغاية، درجات حرارة عالية في الصيف، تبخر مرتفع وانخفاض التنوع البيولوجي. يقدر الإشعاع الشمسي الواصل الى هذه المنطقة بـ $2900kWh/m^2$ سنوياً. تتغير مدينة ورقلة من $2.280kWh/m^2$ في ديسمبر إلى $7.620kWh/m^2$ في جويلية، على سطح أفقي. ويقدر الإشعاع المنتشر بـ $1.324kWh/m^2$ في جانفي، و $1.984kWh/m^2$ في جويلية [46].

- درجات الحرارة الشهرية المسجلة في أكثر الشهور حرارة (جويلية) هي من $37^\circ C$ إلى $50^\circ C$.
- بينما تتراوح درجات الحرارة في الشهر الأكثر برودة (جانفي) من $7.9^\circ C$ إلى $8.1^\circ C$.
- هطول الأمطار نادر وغير منتظم ويتراوح بين 1 mm و 180 mm في السنة، حيث يتراوح متوسط هطول الأمطار السنوي من 48.8 mm/an إلى 77 mm/an .
- يمكن ملاحظة سيروكو (الرياح الساخنة والجافة) في أي وقت من السنة.
- تسجل الرطوبة النسبية معدلات تتراوح من 24 % إلى 65 % ، بينما يسجل التبخر (434mm) .



الشكل 2.II: بيانات المناخ لمنطقة ورقلة [46]

4.II مشكلة المياه الصاعدة:

- تعتبر منطقة ورقلة بيئة صعبة بشكل طبيعي أدى الاستغلال المفرط للموارد المائية فيها إلى ظاهرة فائض المياه، حيث زاد حجم هذه الظاهرة بشكل كبير بسبب عدم وجود نظام تصريف وصرف فعال. في وسط المدينة، هناك ركود برك ضخمة من المياه العادمة بشكل شبه دائم على الطرق العامة وفي أحياء الساكنة. تتحول هذه البرك، في الموسم الحار، إلى أعشاش حقيقية للبعوض والحشرات الضارة الأخرى. والوضع ليس أفضل بكثير في بساتين النخيل حيث تكون المصارف، عند وجودها، ضعيفة التنظيم وغالبًا ما يكون تسلسلها الهرمي عشوائي. بالإضافة إلى هذا التنظيم الضعيف، هناك نقص صارخ في الصيانة. غالبًا ما يتم إهمال الشبكة وتركها لأجهزتها الخاصة، حيث تتكاثر الأعشاب الضارة بشكل مزعج، أو في بعض الأحيان تعيق التدفقات تمامًا. في العديد من قطع الأراضي، لا تقاد المصارف الثانوية إلى أي مكان، بل تضيع في بساتين النخيل حيث تؤدي إلى ظهور مساحات شاسعة من المياه الراكدة التي تسبب التشبع بالمياه وتراجع

بساتين النخيل هذه [47].



الشكل II.3: منظر طبيعي نموذجي يوضح ظاهرة فائض المياه ونتائجها على بستان نخيل ورقلة [47]

ملاحظة:

تم إجراء الدراسة التجريبية بمدينة ورقلة وبالتحديد بقرية الشط التي تقع في الشمال الشرقي للمدينة.

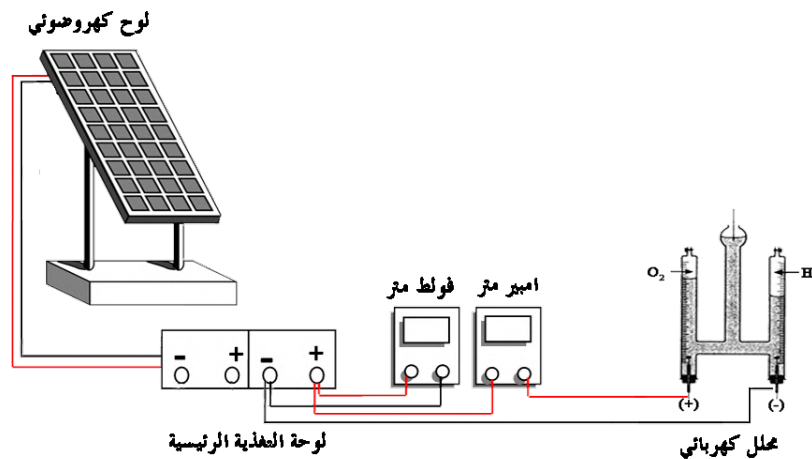
5.II عناصر النظام:

يتكون نظام العمل من عنصرين رئيسيين:

• ألواح كهروضمسية.

• جهاز التحليل الكهربائي للماء.

بالإضافة الى لوحة التغذية الرئيسية، وهي عبارة عن رابط بين الألواح الكهروضمسية والمحلل الكهربائي للماء. وللتحكم المنتظم في التجارب، نستخدم بعض أجهزة القياس مثل الفولط متر وجهاز قياس التيار الكهربائي الأمبير متر.



الشكل II.4: البروتوكول التجريبي

1.5.II الألواح الكهروضوئية:

اللوحة الكهروضوئية مسؤولة عن التحويل الفوري للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بفضل التأثير الكهروضوئي. في هذا العمل، تم استعمال لوح كهروضوئي واحد. حيث وضع بزاوية ميل محددة عند 30 نحو الجنوب، كزاوية مثالية لهذه المنطقة. الوحدة الكهروضوئية هي عبارة عن مولد تيار كهربائي مباشر يتكون من مجموعة من الخلايا الكهروضوئية المتصلة ببعضها البعض كهربائياً. وهي بمثابة وحدة أساسية للتركيبات الكهروضوئية وخاصة في محطات الطاقة الكهروضوئية.



الشكل 5.II: الوحدة الكهروضوئية SM50

الوحدة الكهروضوئية المستخدمة هي من نوع SM50 ، مع تقنية متعددة البلورات (poly-cristalline) ولها الخصائص المعروضة في الجدول أدناه :

الجدول 1.II: خصائص الوحدة الكهروضوئية SM50 [48]

الخاصية	القيمة
ذروة الاستطاعة P_c	50 [W]
الحد الأدنى من الجهد	12 [V]
ذروة التيار	2.87 [A]
ذروة الجهد	17.39 [V]
تيار الدارة المغلقة I_{cc}	3.15 [A]
جهد الدائرة المفتوحة V_{oc}	21.35 [V]
NOCT	45.3 [°C]
معامل درجة الحرارة عند I_{cc}	1.48 [A/°C]
معامل درجة الحرارة عند V_{oc}	-2.3 [V/°C]
الطول	1075 [mm]
العرض	418 [mm]
عدد الخلايا	36

2.5.II لوحة التغذية الرئيسية:

لوحة التغذية الرئيسية هي من جهة حلقة وصل بين الألواح الكهروضوئية والمحلل الكهربائي للمياه. ومن جهة أخرى، يتم استخدامها لتوصيل الألواح الكهروضوئية على التسلسل أو على التوازي.



الشكل 6.II: لوحة التغذية الرئيسية

3.5.II محلل كهربائي من نوع (الفولطمتر هوفمان):

يستخدم الفولطمتر هوفمان كخلية إلكتروليزية ، وهي مصنوعة من الزجاج وتتكون من ثلاث أسطوانات عمودية متصلة ببعضها البعض. الأسطوانة الداخلية مفتوحة في الأعلى للسماح بإضافة الماء. يتم وضع قطب كهربائي من الفحم في أسفل كل من الأسطوانتين الجانبيتين، يبلغ حجم كل أسطوانة 25 ml ، ترتبط الأقطاب الكهربائية بالحدود الموجبة و السالبة لمصدر الكهرباء. عندما يتدفق التيار من خلال الفولط متر هوفمان، يتكون الأكسجين الغازي عند الأنود (موجب) وغاز الهيدروجين عند الكاثود (سالب). يقوم الغاز بإزاحة الماء الذي يتم جمعه في أعلى الأنبوبين حيث يمكن قياس حجم الهيدروجين الناتج. [45]



الشكل 7.II: تمثيل تخطيطي لجهاز فولطمتر هوفمان

4.5.II محلل كهربائي من نوع (PH441):

يكون المحلل PH441 في شكل وعاء أسطواني من زجاج شبكي بقاع مرتفع. يبلغ ارتفاعه الإجمالي حوالي 12 سم وقطره 9 سم تقريباً. يوجد في الجزء السفلي (أسفل القاع) مأخذان محددان باللونين الأحمر (القطب الموجب لمصدر الطاقة) والأسود (القطب السالب). يتم توصيلها بأقطاب كهربائية محمولة بواسطة سدادات مطاطية ذات ألوان متشابهة موضوعة عند مدخل أنابيب زجاج شبكي ذات مقاييس ملحوظة. توضع الأقطاب الكهربائية شاقولياً في المحلل الكهربائي، حيث تدعم بقبضة نابضة في الجزء العلوي من الجهاز [49].



الشكل 8.II: جهاز التحليل الكهربائي البسيط.

5.5.II المحلول المستخدم:

في هذا العمل تم استخدام عينة من المياه الصاعدة الى سطح الأرض بمدينة ورقلة، والتي تم الكشف عن بعض العناصر الموجودة فيها وهي موضحة في الجدول التالي [50]:

الطرق المستخدمة	النتائج	التقرير
751/90 NA	6.95	PH عند 20.1°C
جهاز متعدد المقادير	15400 $\mu\text{S}/\text{cm}$	الموصلية عند 20.3 °C
جهاز متعدد المقادير	7709 mg/l	TDS عند 20.3 °C
6058 Iso	453.91 mg/l	الكالسيوم Ca_2^+
مقياس الطيف الضوئي	720 mg/l	البوتاسيوم K^+
مقياس الطيف الضوئي	860 mg/l	البوتاسيوم K_2O

6.5.II أجهزة المستعملة في القياس:

• جهاز متعدد القياسات:

جهاز قياس متكامل يحتوي على عدد من أجهزة القياس ضمن جهاز واحد، هذا الجهاز يمكن أن يكون بتصميم تماثلي أو بتصميم رقمي ، يحتوي هذا الجهاز الشامل على الأجهزة التالية بالشكل الأساسي [51]:

- أمبيرمتر - لقياس التيار الكهربائي.

- فولط متر - لقياس الجهد الكهربائي.
- أوم متر - لقياس المقاومة الكهربائية.
- هناك خواص إضافية يمكن توفرها في بعض النماذج من هذا الجهاز:
- إصدار صوت عند تمام الدائرة الكهربائية.
- قراءة رقمية بدلا من قراءة تماثلية .
- تضخيم لقراءات الجهد والتيار الصغيرة و المقاومة الكبيرة.
- قياس المحاطة للملفات والسعة للمكثفات الكهربائية في الدوائر الإلكترونية.
- فحص الدايودات والترانستورات المستخدمة في الدوائر الإلكترونية.
- قياس درجات الحرارة ومعايرته المزدوجات الحرارية.

في هذا العمل تم استخدام جهازين للقياسات المتعددة، أحدهما (9.II) خصص لأجل قياس التيار الكهربائي المار من خلال وعاء التحليل الكهربائي للماء، والآخر (10.II) استعمل كمقياس الفولط متر لقياس الجهد الناتج عن الألواح الكهروضوئية المستخدمة، ووحدة القياس هي الفولط (V) .



الشكل 10.II: جهاز متعدد القياس



الشكل 9.II: جهاز متعدد القياس

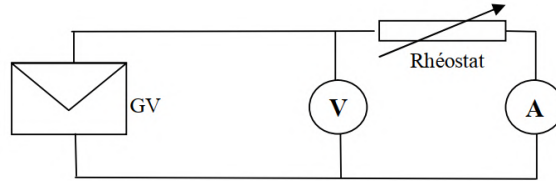
6.II دراسة خصائص النظام:

1.6.II خصائص I-V للألواح الشمسية :

في هذه التجربة، تربط الألواح الشمسية بما يلي:

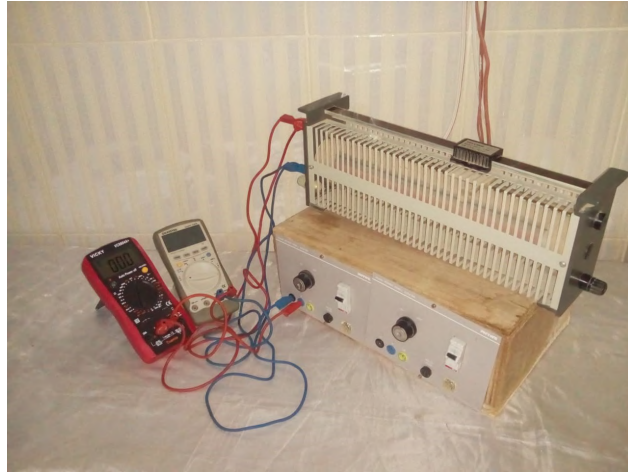
- جهاز قياس التيار (Un ampèremètre): لقراءة قيم تيار الألواح الشمسية.

- جهاز قياس الجهد (Un voltmètre): لقراءة قيم جهد الألواح الشمسية.
- ريوستات (Un rhéostat): مقاومة متغيرة تستخدم للتحكم في التيار مع جهد النظام الكهروضوئي. وفقاً لمخطط التجميع التالي:



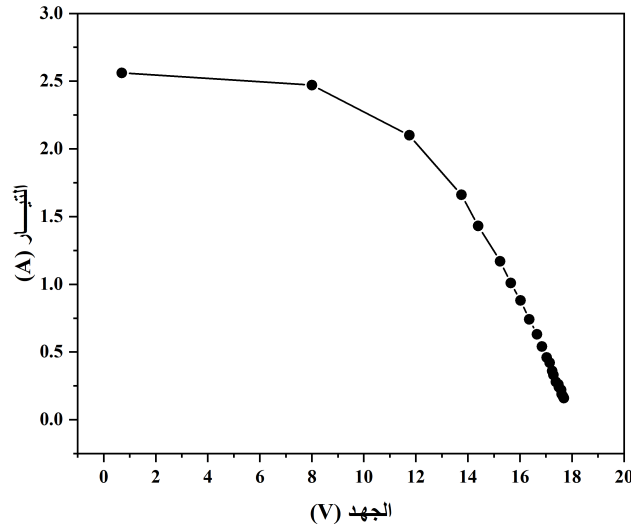
الشكل II.11: التركيب الكهربائي لتجربة دراسة خصائص I-V للألواح الشمسية.

لتحديد خصائص لوحة PV ، أجرينا سلسلة من قياسات الجهد والتيار وذلك من خلال تغيير قيمة المقاومة التي يتم تغذيتها من الألواح الكهروضوئية. يتم تنفيذ التجربة الموضحة أعلاه خلال فترة زمنية قصيرة (حوالي 5 دقائق) من أجل ضمان الإضاءة المستمرة خلال التجربة بأكملها.



الشكل II.12: تجربة دراسة خصائص I-V للألواح الكهروضوئية

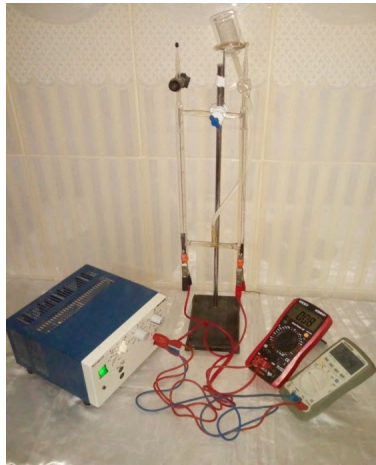
تسمح لنا قراءات قيم التيار والجهد برسم منحنى خصائص I-V للألواح عند كل إضاءة مقاسة كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل II.13: خصائص I-V للوح الشمسي

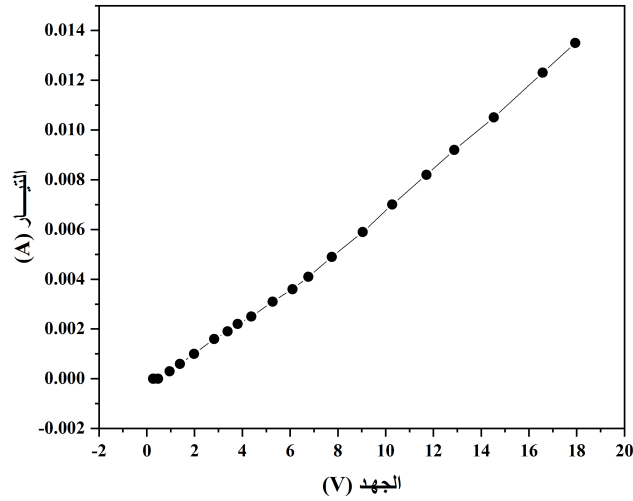
2.6.II خصائص I-V للمحلل الكهربائي:

تعد قدرة المحلل الكهربائي عامل مهم في اقتران المحلل الكهربائي بالخلايا الكهروضوئية ، لهذا السبب تصبح دراسة خصائص التيار- الجهد خطوة ضرورية . في هذه الدراسة، يتم توصيل المحلل الكهربائي بمولد التيار المستمر DC ، من الأفضل أن تبدأ التجربة بجهد منخفض (على سبيل المثال: 2V)، وزيادة هذه القيمة تدريجياً



الشكل II.14: تجربة دراسة خصائص I-V للمحلل الكهربائي

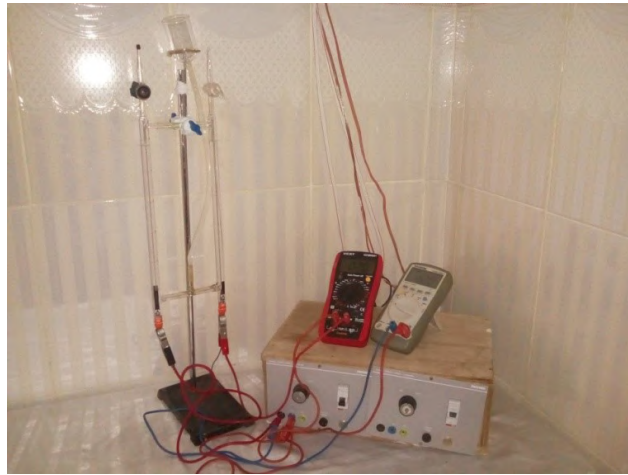
يتم تسجيل قيم التيار والجهود ثم رسم المنحنى المميز للمحلل الكهربائي.



الشكل 15.II: خصائص I-V للمحلل الكهربائي

7.II اقتران المحلل الكهربائي-اللوحة كهروضوئي (إنتاج الهيدروجين الشمسي) :

إن الاقتران المباشر هو التركيب الأكثر كفاءة . يتم توصيل لوح من الخلايا الكهروضوئية أولاً بلوحة الطاقة الرئيسية، ثم يوصل المحلل الكهربائي مباشرة بلوحة الطاقة الرئيسية كما هو موضح في الشكل.



الشكل 16.II: النظام محلل كهربائي - لوح كهروضوئي

8.II المقادير المقاسة:

في هذا العمل التجريبي، تم قياس ثلاث مقادير مهمة لها علاقة كبيرة بعملية إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء باستخدام الطاقة الشمسية.

1.8.II الجهد الكهربائي للألواح الكهروضوئية المستخدمة:

يتم توصيل الفولط متر بلوحة التغذية الرئيسية، والتي ترتبط بلوح الخلايا الكهروضوئية.

2.8.II التيار المار خلال المحلل الكهربائي:

يتم قياس التيار الكهربائي باستخدام الأمبير متر الذي يتم توصيله على التسلسل مع المحلل الكهربائي ولوحة التغذية الرئيسية.

3.8.II حجم الهيدروجين الناتج:

يتم قياس حجم الهيدروجين الناتج كل نصف ساعة من الزمن.

III. تحليل النتائج التجريبية

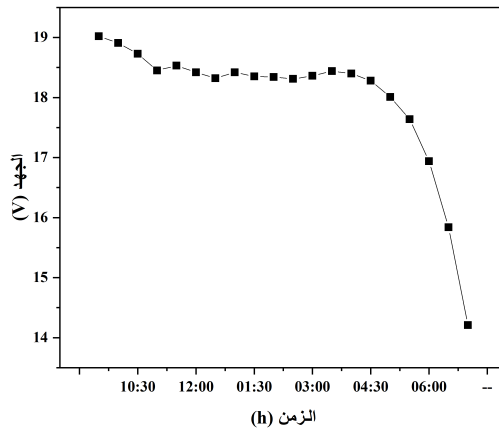
1.III مقدمة:

في هذا الفصل سيتم مناقشة النتائج المتحصل عليها من خلال المقادير التي تم قياسها أثناء الدراسة التجريبية لإنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة الشمسية عن طريق المياه الصاعدة الى سطح الأرض بمدينة ورقلة (الشط) ، والتي هي (جهد الألواح الكهروضوئية، التيار المتدفق خلال المحلل الكهربائي، حجم الهيدروجين المنتج). كما يتم دراسة بعض العوامل المؤثرة على إنتاج الهيدروجين الشمسي من خلال الوسائل المتاحة، لتهيئة ظروف أفضل للتشغيل.

2.III دراسة إنتاج الهيدروجين الشمسي:

1.2.III دراسة جهد الألواح الكهروضوئية:

يتضح من خلال الشكل (1.III) أن الجهد يبلغ أعلى قيمة في بداية فترة الصباح $V = 19.02$ (v) في حدود الساعة 08 : 00 وذلك لأن الإشعاع الشمسي عندها يكون ذو قيم عالية مع انخفاض محسوس في درجة الحرارة، وارتفاع مقاومة المحلول.



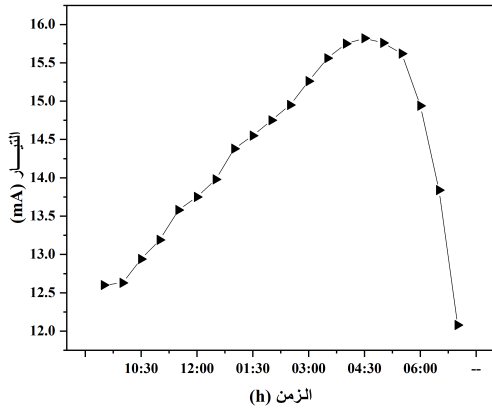
الشكل 1.III: تغيرات الجهد بدلالة الزمن (19 ماي)

بالرغم من تزايد الإشعاع الشمسي في الفترة من 08 : 00 صباحا الى غاية 03 : 30 مساء إلا أن الجهد

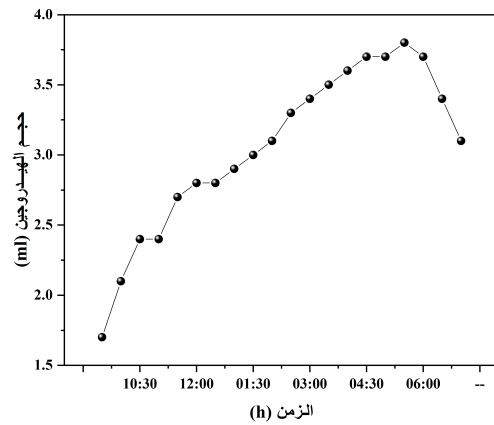
الكهربائي الألواح الكهروضوئية يتناقص نسبيا في هذه الفترة، يرجع هذا الى تناقص مقاومة المحلول تدريجيا مما يؤدي الى زيادة تفريغ التيار الكهربائي خلال المحلل الكهربائي، بالإضافة الى التأثير السلبي لدرجة الحرارة على فولتية الخلية الكهروضوئية. ثم يتناقص الجهد بشكل كبير وواضح ويرجع هذا الى تناقص قيم الإشعاع الشمسي.

2.2.III دراسة التيار الكهربائي وحجم الهيدروجين:

يتضح من خلال الشكلين أدناه زيادة كل من حجم الهيدروجين الناتج والتيار المار خلال المحلل الكهربائي من بداية فترة الدراسة الى غاية 03 : 30 مساءً، ثم يتناقص الى أن تغرب الشمس.



الشكل 3.III: تغيرات التيار بدلالة الزمن الزمن (19 ماي)



الشكل 2.III: تغيرات حجم الهيدروجين بدلالة الزمن (19 ماي)

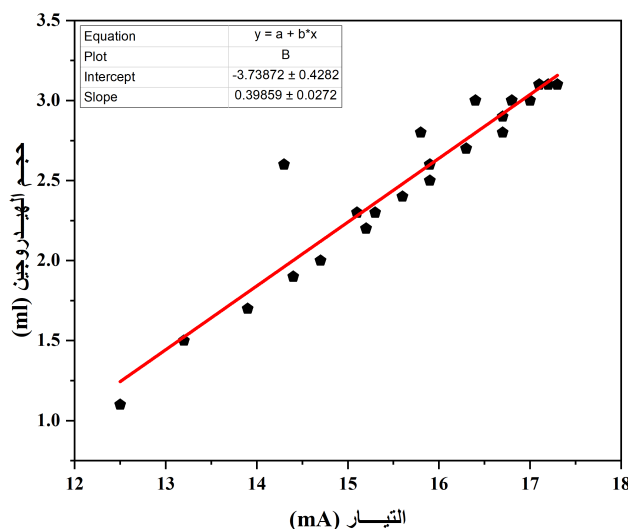
خلال فترة صباح الى غاية 04:30 مساءً تتزايد درجة حرارة المحلول بسبب حركة الشحنات داخله، الشيء الذي يؤدي الى تناقص مقاومته ومنه الى زيادة الموصلية الكهربائية، وعليه يتزايد التيار الكهربائي المار خلال المحلل الكهربائي وهذا ما يترجم تزايد في حجم الهيدروجين الناتج. ثم يتناقص كل من التيار الكهربائي وحجم الهيدروجين الناتج في الفترة المسائية وذلك بسبب تناقص الإشعاع الشمسي، وهذا ما يوافق سلوك الجهد الكهربائي.

3.2.III العلاقة بين التيار وحجم الهيدروجين:

يوضح الشكل الآتي العلاقة بين حجم الهيدروجين والتيار الكهربائي I ، وهذا ما يوافق العلاقة النظرية لفاراداي [52]:

$$v_{H_2} \text{ calculated} = \frac{RI_{el}T_a t}{FPZ} \quad (1)$$

حيث I_{el} هو التيار المار خلال المحلل الكهربائي، t هو الزمن الذي يتم فيه تزويد المحلل الكهربائي بالتيار الكهربائي، F هو ثابت فاراداي (96485 C/mol) ، T_a هي درجة الحرارة المحيطة (298K) ، P هو الضغط الجوي (1.01325 10^5 Pa) ، R هو ثابت الغاز المثالي (8.314 J/mol K) و Z هو العدد الإلكتروني المشاركة في التفاعل (إنتاج الهيدروجين)، $Z=2$.



الشكل 4.III: تغيرات حجم الهيدروجين بدلالة التيار (22 جوان)

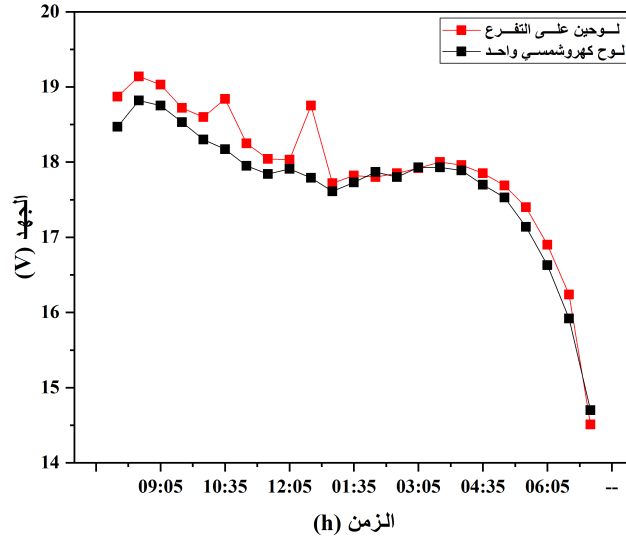
3.III دراسة بعض العوامل المؤثرة على إنتاج الهيدروجين:

من المعلوم أن هناك العديد من العوامل التي تؤثر إما سلباً أو إيجاباً على إنتاج الهيدروجين. في هذا الباب سنقوم بدراسة بعض من تلك العوامل المؤثرة والمتمثلة في: تأثير نوع التغذية (تفرع، تسلسل)، تأثير وضعية المحلل (مفتوح، مغلق)، تأثير نوع الأقطاب الكهربائية وسندرس أيضاً تأثير نوع المحلل على إنتاج الهيدروجين.

1.3.III تأثير نوع التغذية الكهربائية:

أ - تأثير زيادة التغذية الكهربائية عن طريق ربط الألواح الكهروضوئية على التفرع:

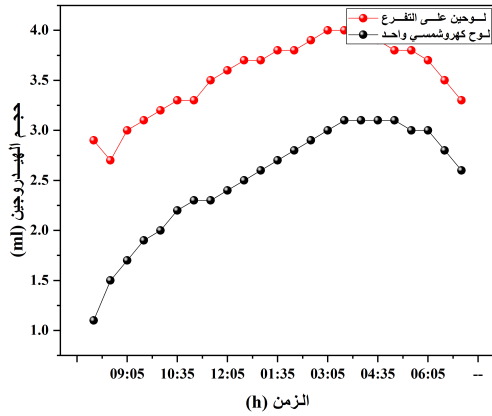
تمثل الأشكال الآتية تأثير ربط لوحين على التفرع على كل من الجهد المولد من الخلايا الكهروضوئية، التيار المار خلال المحلل الكهربائي وحجم الهيدروجين الناتج.



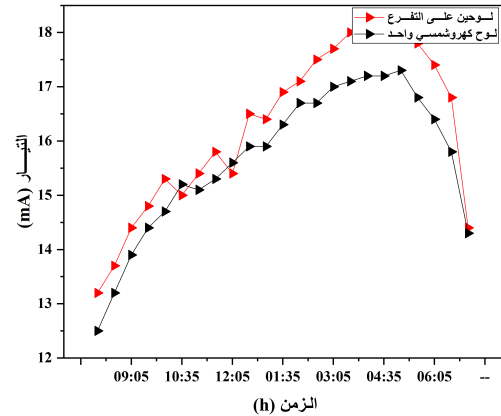
الشكل 5.III: تأثير التغذية بالتفرع على جهد الخلية الكهروضوئية (20 جوان)

من خلال الشكل (5.III) ، نلاحظ أن الجهد المولد من خلال لوحين كهروضوئيين مربوطين على التفرع يزيد زيادة نسبية على الجهد المولد من خلال لوح شمسي واحد، يرجع سبب هذه الزيادة إلى نقصان تيار معطى من قبل لوح كهروضوئي واحد. (مع العلم أن الجهد المكافئ للوحين على التفرع يساوي الجهد المولد من قبل لوح كهروضوئي واحد، والتيار المار خلال الدارة هو عبارة عن مجموع التيارات المولدة من قبل اللوحين مع بقاء المقاومة ثابتة).

الفصل III. تحليل النتائج التجريبية



الشكل 7.3: تأثير التغذية بالتفرع على حجم الهيدروجين الناتج (20 جوان)



الشكل 6.3: تأثير التغذية بالتفرع على تيار المحلل الكهربائي (20 جوان)

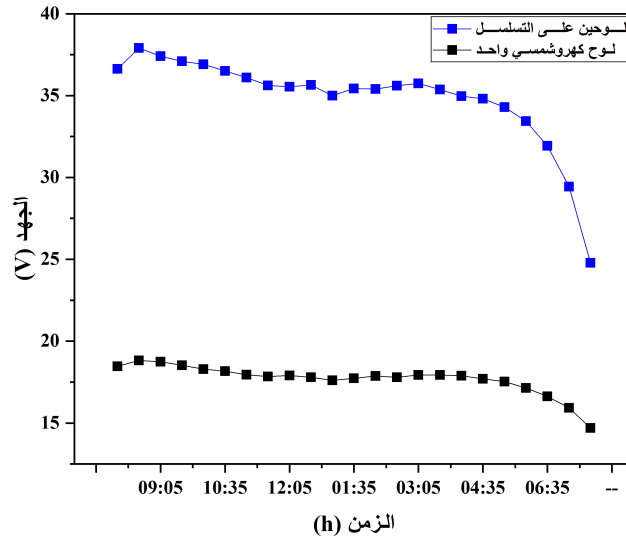
يبين الشكل (6.3) أن التيار المار خلال المحلل الكهربائي المدفوع بجهد اللوحين المربوطين على التفرع يكون أكبر من تيار اللوح الكهروضمسي الواحد، وذلك بسبب الزيادة في الجهد الكهربائي، تؤدي الزيادة في التيار الكهربائي إلى زيادة في حجم الهيدروجين الناتج، وهذا ما يوضحه الشكل (7.3)، والجدول الموضح أدناه يبين نسبة هذه الزيادة.

الجدول 1.3: نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند الربط على التفرع

نسبة الزيادة (%)	حجم الهيدروجين عندالربط على التفرع (ml)	حجم الهيدروجين من لوح كهروضمسي واحد (ml)
41.24	81.5	57.7

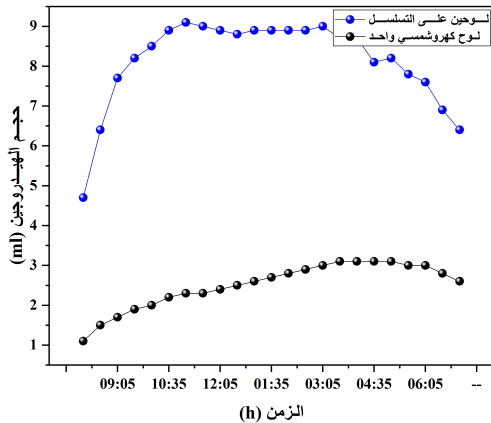
ب - تأثير زيادة التغذية الكهربائية عن طريق ربط الألواح الكهروضمسية على التسلسل:

تمثل الأشكال الآتية تأثير ربط لوحين على التسلسل على كل من الجهد المولد من الخلايا الكهروضمسية، التيار المار خلال المحلل الكهربائي وحجم الهيدروجين الناتج.

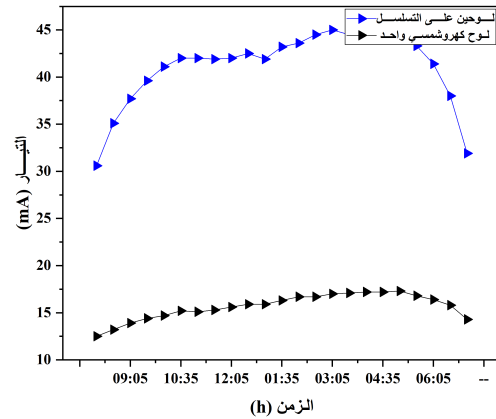


الشكل 8.III: تأثير التغذية بالتسلسل على جهد الخلية الكهروضمسية (16 جوان)

يتضح من خلال الشكل (8.III) أن الجهد الكهربائي المولد عند ربط لوحين على التسلسل تصل الى $V = 37.9$ (v) كأعلى قيمة، حيث تقارب هذه القيمة ضعف الجهد الكهربائي المولد من قبل لوح كهروضمسي $V = 18.82$ (v) ، ويرجع هذا الى أنه عند الربط على التسلسل فإن الجهد المكافئ يكون مساوي الى مجموع جهود الألواح الكهروضمسية.



الشكل 10.III: تأثير التغذية بالتسلسل على حجم الهيدروجين الناتج (16 جوان)



الشكل 9.III: تأثير التغذية بالتسلسل على تيار المحلل الكهربائي (16 جوان)

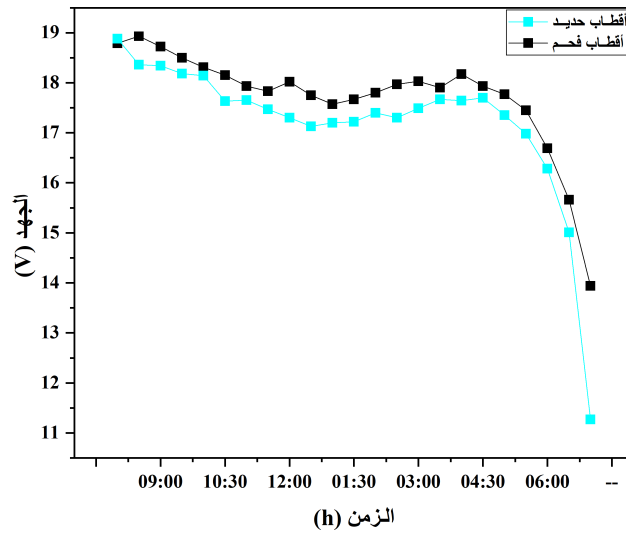
عند ربط لوحين على التسلسل يزيد التيار الكهربائي المار خلال المحلل الكهربائي زيادة محسوسة، وذلك بسبب زيادة الجهد الكهربائي المولد، وبالمقابل فإن هذه الزيادة للتيار الكهربائي تؤدي بدورها الى زيادة معتبرة في حجم الهيدروجين الناتج. يظهر هذا من خلال الشكلين (9.III) (10.III) الموضحين أعلاه.

الجدول 2.III: نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند الربط على التسلسل

نسبة الزيادة (%)	حجم الهيدروجين من لوحين على التسلسل (ml)	حجم الهيدروجين من لوح كهروشمسي واحد (ml)
224.43	187.2	57.7

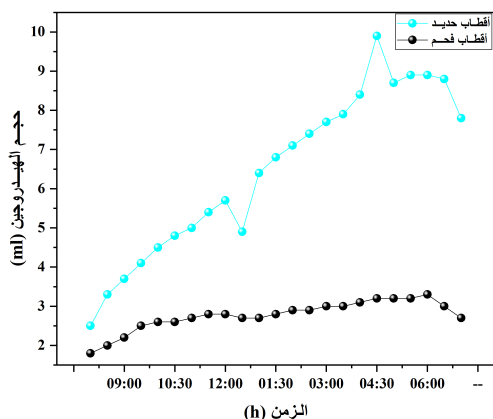
2.3.III تأثير نوع القطب الكهربائي:

تمثل الأشكال الموضحة أدناه المقادير المقاسة في التجربة مع استخدام نوع آخر من الأقطاب الكهربائية.

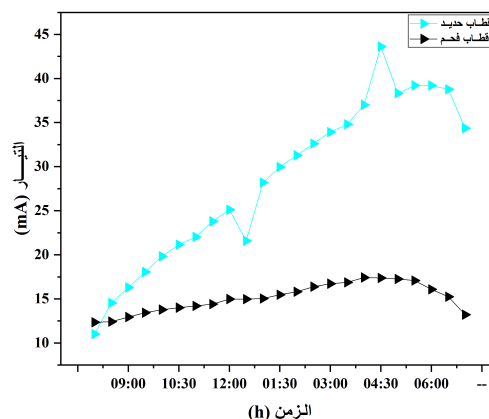


الشكل 11.III: تأثير نوع الأقطاب الكهربائية على جهد الخلية (17 ماي)

يتبين من خلال الشكل (11.III) أن جهد الخلية الكهروشمسية للمحلل الكهربائي ذو أقطاب حديد ينقص نقصان نسبي على جهد الخلية الكهروشمسية للمحلل الكهربائي ذو أقطاب فحم، ويرجع هذا إلى الإرتفاع الذي سجله التيار الكهربائي المار خلال المحلل الكهربائي.



الشكل 13.III: تأثير نوع الأقطاب الكهربائية على حجم الهيدروجين الناتج (17 ماي)



الشكل 12.III: تأثير نوع الأقطاب الكهربائية على التيار الكهربائي (17 ماي)

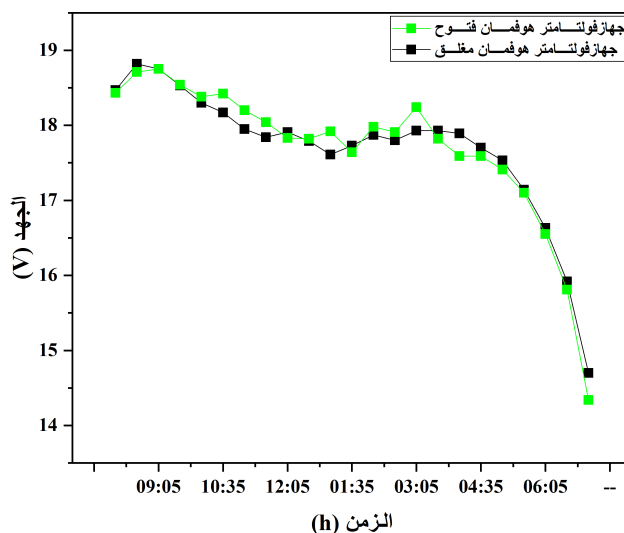
من خلال الشكل (12.III) تتضح القيم الكبيرة التي سجلها التيار الكهربائي عند استعمال أقطاب كهربائية غير "الفحم"، تعزى هذه الزيادة إلى تناقص مقاومة المحلول بسبب حركة الشحنات وزيادة درجة حرارته، مما يؤدي إلى إنتاج كبير لغاز الهيدروجين وهذا ما يوافق الشكل (13.III).

الجدول 3.III: نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند تغيير الأقطاب الكهربائية

نسبة الزيادة (%)	حجم الهيدروجين عند تغيير الأقطاب الكهربائية (ml)	حجم الهيدروجين من لوح كهروشمسي واحد (ml)
133.28	148.6	63.7

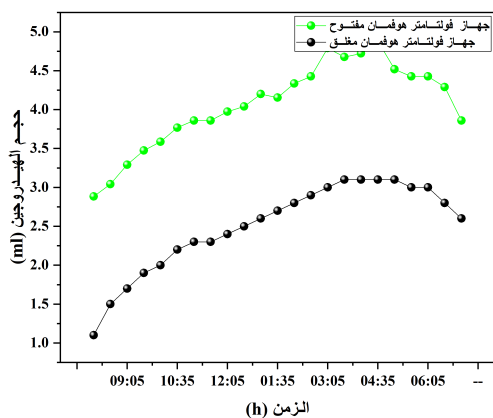
3.3.III تأثير فتح المحلل الكهربائي (فولتامتر هوفمان):

نتائج كل من الجهد المولد من الألواح الكهروشمسية، التيار المار خلال المحلل الكهربائي وحجم الهيدروجين الناتج موضحة في الأشكال الآتية، حيث تم الحصول على هذه النتائج من خلال فتح المحلل الكهربائي طوال مدة الدراسة. ولأجل هذه الوضعية فإنه يتعذر قراءة حجم الهيدروجين المتشكل، وعليه يتم استخدام علاقة فاراداي.

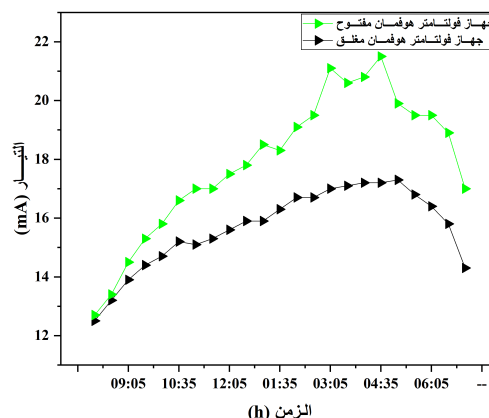


الشكل 14.III: تأثير فتح المحلل الكهربائي على جهد الخلية الكهروضوئية (23 جوان)

يتبين من خلال الشكل (14.III) أن جهد الخلية الكهروضوئية للمحلل الكهربائي المفتوح ينطبق تماما على جهد الخلية الكهروضوئية للمحلل الكهربائي المغلق.



الشكل 16.III: تأثير فتح المحلل الكهربائي على حجم الهيدروجين الناتج (23 جوان)



الشكل 15.III: تأثير فتح المحلل الكهربائي على التيار المار خلاله (23 جوان)

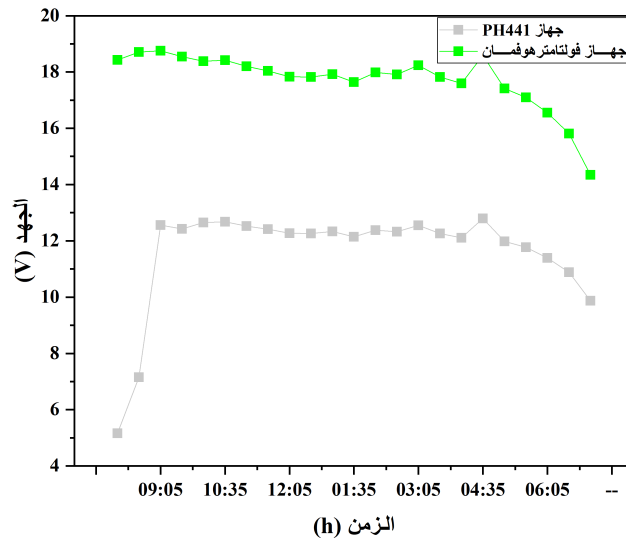
من خلال الشكل (15.III) نلاحظ الزيادة التي سجلها التيار الكهربائي المار خلال المحلل الكهربائي المفتوح منه في المحلل الكهربائي المغلق، حيث عند غلق المحلل الكهربائي يطبق غاز الهيدروجين الناتج ضغطا على الماء السائل، فيزيحه بقدر حجمه المتشكل، مما يضعف التيار الكهربائي. والزيادة في التيار الكهربائي تؤدي بالضرورة الى زيادة في حجم الهيدروجين الناتج وهذا ما يوافق الشكل (16.III).

الجدول 4.III: نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند فتح المحلل الكهربائي

نسبة الزيادة (%)	حجم الهيدروجين عند فتح المحلل الكهربائي (ml)	حجم الهيدروجين من لوح كهروشمسي واحد (ml)
62.01	93.48	57.7

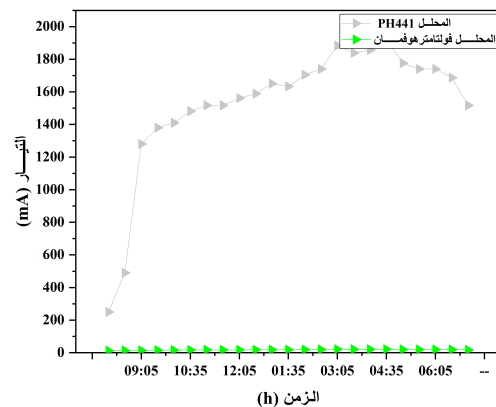
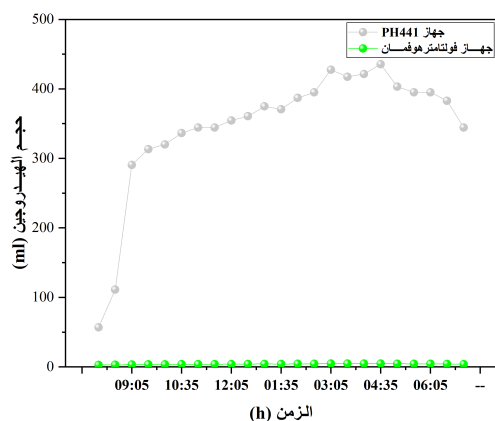
4.3.III تأثير نوع المحلل الكهربائي:

تدرس الأشكال الآتية كل من سلوك الجهد الكهربائي المولد من الألواح الكهروشمسية، التيار المار خلال المحلل الكهربائي وحجم الهيدروجين الناتج لمحلل كهربائي من نوع PH441 (حيث يبقى هذا الأخير مفتوح طوال مدة الدراسة) بالمقارنة بالنتائج المتحصل عليها من خلال فتح المحلل الكهربائي (فولتامتر هوفمان).



الشكل 17.III: تأثير المحلل الكهربائي PH441 على جهد الخلية الكهروشمسية (05 جويلية)

من خلال الشكل (17.III) يتبين نقصان الجهد الكهربائي للمحلل PH441 بالمقارنة مع جهد المحلل (فولتامتر هوفمان) المفتوح، وذلك بسبب التفريغ الكبير والملاحظ للتيار الكهربائي خلال المحلل الكهربائي.



الشكل 19.III: تأثير المحلل الكهربائي PH441 على حجم الهيدروجين الناتج (05 جويلية)

الشكل 18.III: تأثير المحلل الكهربائي PH441 على التيار المار خلاله (05 جويلية)

من خلال الشكل (18.III) يتضح لنا أن التيار المار خلال المحلل الكهربائي أكبر بكثير منه خلال المحلل الكهربائي المفتوح (فولتامتر هوفمان)، أدى هذا الى زيادة كبيرة ومعتبرة في حجم الهيدروجين الناتج (19.III). تعزى زيادة التيار الكهربائي الى عدة عوامل منها: قصر المسافة الواصلة بين الأقطاب الكهربائية في المحلل الكهربائي، مساحة تقابل الأقطاب الكهربائية في المحلل PH441 كانت أكبر منها في المحلل فولتامتر هوفمان، بالإضافة الى درجة الحرارة الناتجة عن حركة الأيونات داخل المحلول.

الجدول 5.III: نسبة زيادة حجم الهيدروجين عند تغيير المحلل الكهربائي

نسبة الزيادة (%)	حجم الهيدروجين عند تغيير المحلل الكهربائي (ml)	حجم الهيدروجين من لوح كهروشمسي واحد (ml)
8438.29	7981.48	57.7

ملاحظة: فيما يخص المحلل PH441، فقد تم توقع النتائج المتحصل عليها بعد الساعة 10:05 ص والمتعلقة بكل من جهد الألواح الكهروشمسية والتيار المار خلال المحلل الكهربائي بالتناسب مع نتائج المحلل الكهربائي المفتوح (فولتامتر هوفمان)، وذلك بسبب تآكل القطب الكهربائي المسؤول على إنتاج غاز الأكسجين (Anode).

4.III آفاق إنتاج الهيدروجين:

الجدول 6.III: مقارنة بين نسب الزيادة في حجم الهيدروجين المتعلقة بالعوامل المدروسة

المحلات مفتوحة		المحل فولتامترهوفمان مغلق				العامل المدروس
المحل PH441	المحل فولتامترهوفمان	نوع الأقطاب الكهربائية	لوحين على التسلسل	لوحين على التفرع	لوح كهروشمسي واحد	
7981.48	93.4786	148.6	187.2	81.5	57.7	حجم الهيدروجين (ml)
6.41	0.07	0.11	0.15	0.06	0.04	حجم الماء المكافئ (ml)
8438.29	62.01	133.28	224.43	41.24	/	نسبة الزيادة في حجم الهيدروجين (%)

يبين الجدول الفروق بين نسب الزيادة في حجم الهيدروجين المرتبطة بالعوامل المدروسة، حيث كانت نسبة الزيادة عند التغذية بالتسلسل أكبر من نسبة الزيادة عند التغذية بالتفرع، كما أن لنوع الأقطاب الكهربائية تأثير كبير على زيادة إنتاج الهيدروجين، وبالإضافة إلى ذلك فإن لفتح المحل الكهربائي تأثير إيجابي على الإنتاج. وبمقارنة تأثير نوع المحل الكهربائي على عملية الإنتاج نجد أن استعمال المحل PH441 أحسن من استعمال المحل فولتامترهوفمان.

من خلال كل ما سبق، ومن أجل توقع أفضل لإنتاج الهيدروجين، فإنه يجب اختيار العوامل التي كانت أكثر تأثيراً على زيادة الإنتاج وهي "نوع المحل PH441، التغذية بالتسلسل ونوع الأقطاب الكهربائية"، والجدول التالي يبين حجم الهيدروجين المتوقع مع اعتبار كل العوامل سالفة الذكر:

الجدول 7.III: حجم الهيدروجين المتوقع

حجم الماء المكافئ (ml)	حجم الهيدروجين المتوقع (ml)
48.54	60407.76

لقد كان حجم الهيدروجين الناتج ذو القيمة المعتبر، من أجل محل كهربائي صغير لا يزيد حجمه عن (381.51 ml) مع توصيل مباشر للوحين فقط مربوطين على التسلسل، فضلاً عن إذا قمنا بمضاعفة عدد المحلات الكهربائية ومضاعفة حجمها وتوصيلها بحقل من الألواح الكهروضوئية المربوطة على التسلسل، هذا من المؤكد سيعطي آفاق كبيرة لإنتاج الهيدروجين بالمنطقة وبالتالي المساهمة بشكل كبير في القضاء على مشكلة صعود المياه.

خاتمة عامة وتوصيات

1. خاتمة عامة:

يعد الوقود التقليدي أهم مصادر الطاقة كما يعد المصدر الرئيس لاضطراب الحياة المعاصرة بسبب تزايد معدل استهلاكه وارتفاع أسعاره وتوقع استنزافه ونضوب مصادره خلال العقود القليلة القادمة، وتعد نواتج احتراقه المنبعثة إلى الغلاف الجوي (ومنها ثاني أكسيد الكربون) أهم أسباب التلوث البيئي. هذه الأسباب جعلت المؤسسات البحثية تسعى لإيجاد بدائل غير ملوثة يمكن إنتاجها بموارد غير ناضبة تلبى متطلبات الحياة. وكأحد أهم وأمثل هذه الخيارات هو الهيدروجين وذلك لأنه يعتبر طاقة غير ناضبة وغير ملوثة للبيئة، مع إمكانية تخزينه ونقله بطرق متعددة.

يعد كل من تغويز الفحم والتشكيل البخاري وتغويز الكتلة الحيوية ومختلف الدورات الكيميو-حرارية طرق عملية لإنتاج غاز الهيدروجين. في هذا البحث قمنا بدراسة تجريبية تتمثل في إنتاج الهيدروجين الشمسي عن طريق التحليل الكهربائي للمياه الصاعدة إلى سطح الأرض بمنطقة ورقلة (الشط) ، وذلك بهدف استغلال هذه المياه للحصول على طاقة مفيدة قابلة للاستعمال وفي نفس الوقت القضاء على مشكلة صعود المياه. ومن أجل تحقيق هذا الهدف قمنا بإجراء تركيب تجريبي لربط مباشر بين لوح كهروضمسي ومحلل كهربائي (فولتامتر هوفمان)، بالإضافة إلى بعض أجهزة القياس الأخرى التي تساعدنا في دراسة المقادير المتعلقة بالتجربة والمتمثلة في (الجهد الكهربائي للألواح الكهروضمسية، التيار المار خلال المحلل الكهربائي وحجم الهيدروجين الناتج). وقد خلصت التجربة إلى النتائج التالية:

- ينخفض الجهد الألواح الكهروضمسية نتيجة التأثير السلبي لدرجة الحرارة المحيطة.
- إن لزيادة درجة حرارة المحلول تأثير إيجابي على عملية التحليل الكهربائي للماء، حيث تساهم وبشكل كبير في زيادة حجم الهيدروجين الناتج.
- تعمل كل من زيادة التغذية الكهربائية عن طريق ربط الألواح الكهروضمسية على التسلسل وزيادة التغذية الكهربائية عن طريق ربط الألواح بالتفرع على زيادة حجم الهيدروجين الناتج، إلا أنه يتضاعف أكثر عند زيادة التغذية عن طريق الربط بالتسلسل .
- لقد كان لنوع الأقطاب الكهربائية تأثير كبير على زيادة حجم الهيدروجين الناتج.

- كما كان لنوع المحلل أكبر الأثر في زيادة عملية الإنتاج، وذلك بسبب تقارب الأقطاب الكهربائية وكبير مساحة التقابل بينهما .
- ومن خلال هذه الدراسة توصلنا أيضا الى أن هناك آفاق كبيرة في إنتاج الهيدروجين عن طريق المياه الصاعدة الى سطح الأرض بالمنطقة.

2. توصيات:

من أجل اعتماد هذه الدراسة كمشروع يجب مراعاة الآتي:

- ✓ الاختيار الأمثل للأقطاب الكهربائية من حيث القدرة على التوصيل وعدم التآكل.
- ✓ الاختيار الأمثل لنوع المحلل الكهربائي من حيث تقارب الأقطاب.
- ✓ ترشيح وتصفية المياه من الأتربة والرواسب التي تؤدي التقليل من كفاءة النظام.
- ✓ اختيار الوضعية الصحيحة والمكان الصحيح للمنظومة الكهروضوئية من أجل قيم تشميس عالية، وذلك لتزويد النظام بأكبر قدر ممكن من الطاقة الكهربائية.
- ✓ استخدام بطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية في النهار واستغلالها في عملية الإنتاج خلال فترة غياب الشمس.
- ✓ اعتماد نوع التغذية بالتسلسل في توصيل الألواح الكهروضوئية.

قائمة المراجع

- [1] Makridis, Sofoklis. "Hydrogen storage and compression." arXiv preprint arXiv:1702.06015 (2017).
- [2] رحمان آمال، كيجلي سلمى عائشة، اقتصاديات الهيدروجين و إمكانيات التطبيق لتحقيق التنمية المستدامة، مجمع مداخلات الملتقى الدولي الثاني حول الأداء المتميز للمنظمات والحكومات، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، يومي 22-23 نوفمبر 2011.
- [3] عمر خليل أحمد الجبوري، أحمد حسن أحمد الجبوري، مبادئ الطاقات المتجددة، المعهد التقني، الحويجة، 2010.
- [4] Singh, V. K., and N. S. Chauhan. "Fundamentals And Use Of Hydrogen As A Fuel." International Journal Of Application of Engineering and Technology 2.1 (2014).
- [5] The NEED Project, What Is Hydrogen, Secondary Energy Infobook, 2018
- [6] الطاهر محمد حسن، كيمياء الوقود الأحفوري، كلية العلوم ، جامعة سبها، ليبيا، 2019
- [7] GRIMES, CRAIG, OOMMAN VARGHESE, and SUDHIR RANJAN, eds. Light, water, hydrogen: the solar generation of hydrogen by water photoelectrolysis. Springer Science & Business Media, 2007.
- [8] وداد أبو القاسم الأسطى، تقنيات إنتاج الهيدروجين، الطاقة والحياة، العدد الثالث، 1994.
- [9] Crosbie, Leanne M., and Douglas Chapin. "Hydrogen production by nuclear heat." GENES4/ANP2003 .(2003)
- [10] Riis, Trygve, et al. "Hydrogen production and storage—R&D priorities and gaps." International Energy Agency-Hydrogen Co-Ordination Group-Hydrogen Implementing Agreement (2006).

[11] Tzimas, Evangelos, et al. "Hydrogen storage: state-of-the-art and future perspective." EU Commission, JRC Petten, EUR 20995EN (2003).

[12] Prabhukhot Prachi, R., M. Wagh Mahesh, and C. Gangal Aneesh. "A review on solid state hydrogen storage material." Adv Energy Power 4.2 (2016): 11.

[13] Adolf, Jörg, et al. "Shell Hydrogen study: Energy of the future." Sustainable Mobility through fuel cells and hydrogen. Shell Deutschl Oil GmbH (2017).

[14] Labbé, Julien. L'Hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés. Diss. 2006.

[15] Opu, Md S. "Effect of operating parameters on performance of alkaline water electrolysis." Int. J. Therm. Environ. Eng 9 (2015): .53-60

[16] سلم عباس حسن، التحليل الكيميائي الآلي " طرائق التحليل الكهربائي "، 2014 – 2015

[17] Rand, David Anthony James, and Ronald M. Dell. Hydrogen energy: challenges and prospects. Royal Society of Chemistry, 2007.

[18] Ulleberg, Øystein. "Modeling of advanced alkaline electrolyzers: a system simulation approach." International journal of hydrogen energy 28.1 (2003): .21-33

[19] De Dianous, Valerie, Sylvaine Pique, and Benno Weinberger. "Comparative study of regulations, guides and standards regarding hydrogen electrolyzers and storage. Study report." (2016)

[20] Alleau, AFH2 Th. "'Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau", Mémento de l'hydrogène, fiche 3.2. 1." Révision janvier (2017).

[21] Jannot, Yves. "Thermique solaire." p30-p70) Octobre (2003).

[22] فهد بن سلطان بن حريب، الطاقة الشمسية، العلوم والتقنية، العدد 34، 1995

[23] Graf, J. "Centrales photovoltaïques." guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets, à l'usage des bureaux d'ingénieurs .(1996)

- [24] Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français, Jimmy Royer, and Eric J. Schiller. Le pompage photovoltaïque: Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens. Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français, .1998
- [25] <http://kawngroup.com>
- [26] Bandou, Farida. Contribution à l'analyse des performances électriques et thermiques des modules photovoltaïques de différentes technologies. Diss. Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [27] كاميليا يوسف محمد، الطاقة الكهروضوئية ، مراجعة محمد صلاح السبكي، دار الكتب والوثائق القومية، مصر، 2016
- [28] محمد بن يسلم محفوظ، الإشعاع الشمسي، العلوم والتقنية، العدد 34، 1995
- [29] عمر الشريف، إستخدامات الطاقات المتجددة ودورها في التنمية المحلية المستدامة- دراسة حالة الطاقة الشمسية في الجزائر-، اطروحة دكتوراه، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، قسم العلوم الاقتصادية، جامعة الحاج لخضر باتنة، الجزائر، 2007.
- [30] بوعشة اسمهان، جدوى استغلال الطاقة الشمسية كطاقة متجددة وامكانية استخدامها في التبادلات التجارية الخارجية-دراسة حالة الجزائر-، اطروحة دكتوراه، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، قسم العلوم التجارية، جامعة محمد خيضر بسكرة، الجزائر، 2018
- [31] حسن عز الدين بلال، الطاقة الشمسية واستخداماتها، الهيئة العامة السورية للكتاب، دمشق، 2018
- [32] <https://www.pinterest.com/2020/3/9>
- [33] عزمي طه، دانكان بريوا، لورانس أنسمرم، سابرينا غاسبريتي، عازة بدري، دليل تدريبي لمشروع الطاقة الشمسية في دارفور، منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم مركز أبحاث الطاقة بالسودان بتمويل من صندوق قطر للتنمية، ، سينان العالمية للطباعة.
- [34] يونس محمود محمد سليم, and إحسان علي الجادري. " أثر إستخدام تقنية المنظومات الشمسية كمواد إنهاء خارجية في النتاج المعماري." مجلة الهندسة والتكنولوجيا 11.28 (2010): 520-534.
- [35] <http://elctronicsar.blogspot.com>

[36] <https://phys.org/>

[37] <http://www.matrix219.com/>

[38] ستيفان ك. و كراوتر، توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية "أنظمة الطاقة الفولتوضوئية"، ترجمة عبد الباسط كرمان، سلسلة كتب التقنيات الإستراتيجية والمتقدمة، المنظمة العربية للترجمة، مركز دراسات الوحدة العربية، لبنان، 2.

[39] Helikson, Helen Jean, Dorota Z. Haman, and Carl Direlle Baird. "Pumping water for irrigation using solar energy." EES-Florida Cooperative Extension Service .(1990)

[40] A.Jamil, Énergie solaire photovoltaïque, STPI/P6/2018 – 35, Institut national des sciences appliquées de Rouen, Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur, 2018

[41] Dokkar, Boubekour, et al. "Simulation of species transport and water management in PEM fuel cells." international journal of hydrogen energy 36.6 (2011): 4220-4227.

[42] Djafour, A., et al. "Photovoltaic-assisted alkaline water electrolysis: Basic principles." international journal of hydrogen energy 36.6 (2011): 4117-4124.

[43] Chennouf, N., et al. "Experimental study of solar hydrogen production performance by water electrolysis in the south of Algeria." Energy procedia 18 (2012): 1280-1288.

[44] Sellami, M. Hassen, and K. Loudiyi. "Electrolytes behavior during hydrogen production by solar energy." Renewable and Sustainable Energy Reviews 70 (2017): 1331-1335.

[45] Boualati, Yamina, and Salah Saouli. "Experimental study of hydrogen production using solar energy in Ouargla (South East Algeria)." Journal of Solar Energy Engineering 140.3 (2018).

[46] Office National de Météo ONM, wilaya d'OUARGLA, 2008

[47] Idder, Tahar. "Le problème des excédents hydriques à Ouargla: situation actuelle et perspectives d'amélioration." Science et changements planétaires/Sécheresse 18.3 (2007): .161-167

[48] PVSYST, logiciel pour système photovoltaïque, version 4 .37, A. Mermoud, GAP, Université de Genève, 2009.

[49] www.eduvis.pl/

[50] مخبر الشهابي لتحاليل مراقبة النوعية والمطابقة لولاية وادي سوف

[51] www.marefa.org/

[52] Ghribi, Djamila, et al. "Study of hydrogen production system by using PV solar energy and PEM electrolyser in Algeria." *international journal of hydrogen energy* 38.20 (2013): 8480-8490.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة التجريبية المتمثلة في إنتاج الهيدروجين الشمسي عن طريق التحليل الكهربائي للمياه الصاعدة الى سطح الأرض بمدينة ورقلة (الشط) ، هو استغلال هذه المياه للحصول على طاقة مفيدة قابلة للاستعمال وفي نفس الوقت المساهمة بشكل كبير في القضاء على مشكلة صعود المياه. ومن أجل تحقيق هذا الهدف قمنا بإجراء تركيب تجريبي يتمثل في الارتباط المباشر بين الألواح الكهروضوئية والمحلل الكهربائي، بالإضافة الى بعض أجهزة القياس التي يتسنى لنا من خلالها قياس بعض المقادير الفيزيائية. ومن خلال دراسة بعض العوامل المؤثرة على عملية الإنتاج تم التوصل الى أن كل من زيادة التغذية الكهربائية عن طريق ربط الألواح الكهروضوئية على التسلسل والاختيار الأفضل للأقطاب الكهربائية من حيث القدرة على التوصيل وعدم التآكل، ومراعاة نوع المحلل الكهربائي الذي يفرض وضعية تقارب الأقطاب الكهربائية، تعتبر كخيارات قوية تعطي آفاق كبيرة لإنتاج الهيدروجين بالمنطقة ومنه المساهمة بشكل كبير في القضاء على المشكلة سابقة الذكر.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، إنتاج الهيدروجين، الألواح الكهروضوئية، التحليل الكهربائي للماء، المياه الصاعدة

Abstract

The purpose of this experimental study for produce solar hydrogen By electrolysis of water rising to the surface of the earth in the city of Ouargla (Chott), It is the exploitation of this water to obtain useful and usable energy, At the same time, to contribute greatly to eliminating the problem of water rises. To achieve this purpose, we performed an experimental installation that directly correlates between the PV panels and the electrolyzer, in addition to some measuring devices through which we can measure some physical parameters. And by studying some of the factors affecting the production process It was found that all of the electric alimentation increased by connecting the PV panels In series and the best choice of electrodes for conductivity and non-corrosion, and take into account the type of electrolyzer imposing a position of convergence of the electrodes, They are powerful options it gives great prospects for hydrogen production in the region and from it contribute significantly to eliminating the aforementioned problem.

Key words: solar energy, Hydrogen production, Photovoltaic panels, Water electrolysis, The rising waters of Ouargla region.