



جمهورية السودان
جامعة أم درمان الإسلامية
كلية الدراسات العليا

نتبع مسار الظل ودراسة تأثيره على إنتاجية حقول الخلايا الشمسية

مرسالة مقدمة إلى قسم الهندسة الميكانيكية في جامعة أم درمان الإسلامية لنيل درجة الماجستير في
علوم الهندسة الميكانيكية (اختصاص طاقة شمسية)

إعداد الطالب

حيدر حسن هادي

رقم القيد : 6/50650

إشراف

الدكتور

مزمّل موسى علي حميدان

رئيس قسم الهندسة الميكانيكية

كلية العلوم الهندسية

جامعة أم درمان الإسلامية - جمهورية السودان

الدكتور

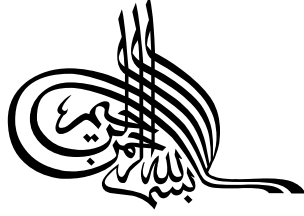
ياسر فتحى نصّار

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية العلوم الهندسية والتقنية

جامعة سبؤا - الجماهيرية العظمى

العام الجامعي : ٢٠٠٥-٢٠٠٦ م



﴿ ألم تر إلى ربك كيف مد الظل ولو شاء لجعله
ساكناً ثم جعلنا الشمس عليه دليلاً ﴿ ثم قبضناه
إلينا قبضاً يسيراً ﴾

صدق الله العظيم
سورة الفرقان الآيات (٤٥-٤٦)

إقرار الشرفين

نشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة (تتبع مسار الظل ودراسة تأثيره على إنتاجية حقول الخلايا الشمسية)، قد تمت تحت إشرافنا وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير في علوم الهندسة الميكانيكية. اختصاص طاقة شمسية.

التوقيع:

اسم المشرف: الدكتور ياسر فتحي نصار

الدرجة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: 2006-11-25م

التوقيع:

اسم المشرف: الدكتور مزمل موسى علي حميدان

الدرجة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: 2006-11-25م

الأهداء

إلى

والدِّيأهدي ثمرة جهدي المتواضع هذا إلى والدي ووالدي الذين نرسوا في حب الخير والغير أطال الله في عمرهما.

رفيقة دربي ... التي شاركتني حلو الحياة ومرها وصبرت على انشغالي في أثناء فترة إعداد هذا البحث تحقيقاً للأمل فكانت خير رفيق.

أبنائي فلذات كبدي ... حباً واعتزازاً فمنحوني حبهم وتمنوا لي النجاح في العمل.

أساتذتي الأفاضل ... الذين كانوا مصابيح تنير لي الطريق.

أصدقائي الأعماء ... الذين كانوا عوناً لي في كل ضيق .

كل من يتمنى لي التوفيق

أهدي إليهم خلاصة فكري وثمره جهدي

مع محبتي

الباحث

شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

[[وآت كل ذي حقاً حقه]]

الحمد لله على ما انعم والشكر له على ما الهم والثناء له على ما قدم والصلاة والسلام على رسوله الأعظم محمد وعلى اله الطيبين الطاهرين.

لا يسعني بعد إعداد هذا البحث إلا أن أتقدم بجزيل شكري وعظيم امتناني وتقديري إلى مشرفي الفاضلين الدكتور ياسر فتحي نصار والدكتور مزمل موسى علي حميدان لما قدماه لي من نصح وتوجيهات سديدة كانت مناراً لي طوال مدة البحث، وفقهم الله وجزاهما عني خير الجزاء في خدمة العلم.

كما أتقدم بالشكر والتقدير إلى أساتذتي الفاضل في قسم الهندسة الميكانيكية - كلية الهندسة - جامعة سبها وخص منهم الأستاذ الدكتور أبو بكر أعويدات والدكتور محمد أبو بكر عليوة والدكتور عبد الجبار نعمة خليفة الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الميكانيكية - جامعة النهرين - العراق والأخوة في مركز بحوث الطاقة الشمسية - بغداد للرعاية والاهتمام البالغين لطلبة الدراسات العليا.

ويسرني أن أعرب عن أمتناني لجامعة أم درمان الإسلامية كلية الدراسات العليا لإتاحتها هذه الفرصة لنيل شهادة الماجستير.

وأقدم ببالغ شكري وامتناني إلى بلدي الثاني (الجماهيرية) الذي أتاحت لي فيه الفرصة مع خالص امتناني لأهله بالتوفيق والرخاء والتقدم.

وأخيراً لكل من ساندني ولو بكلمة طيبة أقدم شكري وامتناني له...

والله ولي التوفيق

الباحث

الملخص العام

يعتبر الظل من أهم عناصر تصميم الحقول الشمسية والتي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم أي منظومة شمسية، فالخلايا الشمسية تنتج طاقة كهربائية نتيجة توصيلها على التوالي، وعند سقوط الظل على إحدى هذه الخلايا تقل إنتاجيتها، وتكون الخسارة في الطاقة المنتجة أكبر بكثير من طاقة إنتاجية الجزء المظلل، حيث يقلل الظل الواقع على سطح المجمعات الشمسية من كمية الطاقة الإنتاجية للحقل.

ولهذا السبب تم تحديد الهدف من هذه الدراسة في تعيين مسار الظل كدالة في الزمن وتأثيره على إنتاجية الحقول الشمسية.

ولإنجاز هذا العمل تم تحديد مسارين للدراسة، المسار الأول: المسار النظري وفيه تم اشتقاق وتحليل الصيغ الرياضية الخاصة بالتمثيل اللحظي للظل في معظم أنواع الحقول الشمسية وحساب شدة الإشعاع الشمسي وكذلك تقدير الطاقة الإنتاجية للحقل الشمسي. أما المسار الثاني: فيتضمن إجراء عدد من التجارب للحصول على بعض المعلومات التي خلقت منها المصادر تماماً، كشدة الإشعاع الشمسي على الصفوف وتأثير الظل على الخواص الكهربائية للوح الشمسي (I-V).

حيث جاءت الدراسة لتعويض النقص في المكتبات العلمية التخصصية وخاصة باللغة العربية، وتمت معالجة البيانات ببرنامج حاسوب تم إعداده بلغة الفورتران. وأبرز النتائج التي تم التوصل إليها البحث والتي يقوم هذا البرنامج بحسابها تحدد بالنقاط الآتية:

١. إيجاد إحداثيات الظل اللحظي في جميع أنواع الحقول الشمسية.

٢. تحديد تأثير متغيرات الحقل على مساحة الظل.

٣. حساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على صفوف الحقل الشمسي H_{field} كدالة

في الزمن.

٤. تقدير الطاقة الكهربائية المنتجة من الحقل الشمسي.

كما تم إعداد برنامج بلغة Visual Basic يقوم بتمثيل نتائج برنامج الفورتران في

صورة مرئية والتي من خلالها يمكن إدراك تأثير المتغيرات على شكل وموقع مساحة

الظل في صفوف الحقل الشمسي.

وقد أسهمت هذه الدراسة في فهم أفضل لطبيعة حدوث الظل، الموضوع الذي طالما

ظل غائباً في الكثير من المراجع، وذلك من خلال اشتقاق معادلة رياضية واحدة تمثل

إحداثيات الظل لكافة أنواع الحقول الشمسية. ولعل المساهمة الأكثر أهمية في هذا المجال

هو شرح مفصّل عن كيفية توقع إنتاجية اللوح الشمسي، والصفوف في حالة سقوط ظل

عليها، من خلال دراسة تجريبية ومن ثم عمل محاكاة لأنواع أخرى من التوصيلات

الداخلية للخلايا الشمسية في اللوح الشمسي. إن دراسة موضوع الظل وتأثيراته على

إنتاجية الحقول الشمسية كهذا لم تشهدها ساحة البحث العلمي العربي من قبل. بقي لنا

الإشارة إلى أنه تم نشر والقبول للنشر ثلاثة بحوث في موضوع الرسالة وهي:

١. ياسر فتحي نصّار، حيدر حسن هادي، أبوبكر اعويدات سالم، "الترتيب

المثالي لاقطات الشمسية المستوية"، المؤتمر العربي الدولي لتطبيقات

الطاقة الشمسية، طرابلس- الجماهيرية العظمى، 20-2004/11/22 م.

٢. ياسر فتحي نصّار، حيدر حسن هادي، أبوبكر اعويذات سالم، "تعيين شدة الإشعاع الشمسي في الحقول الشمسية"، المؤتمر الدولي للطاقات المتجددة والبيئة، ذات العماد- طرابلس- الجماهيرية العظمى، 2006/1/24-22 م.

3. Yasser F. Nassar, Haider H. Hadi, Abubaker A. Salem, "*Evaluation of Instantaneous Shading in Solar Fields of Flat-Plate Collectors*", World Renewable Energy Congress IX and Exhibition Conference, 19-25 August 2006, Florence-Italy.

المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
أ	الآية القرآنية
ب	إقرار المشرفين
ت	الإهداء
ث	كلمة الشكر
ج	الملخص العام
الفصل الأول (تعريف البحث)	
1	1-1 : تمهيد
2	2-1 : نبذة تاريخية عن البحث
4	3-1 : أهمية البحث والحاجة إليه
6	4-1 : مشكلة البحث
6	5-1 : أهداف البحث
6	6-1 : تساؤلات البحث
7	7-1 : مبررات البحث
7	8-1 : منهج البحث
8	9-1 : حدود البحث
8	10-1 : الدراسات السابقة
11	11-1 : وجهة نظر الباحث في الدراسات السابقة
الفصل الثاني (مدخل لدراسة الظل)	
13	1-2 : المقدمة
13	2-2 : علاقة الأرض بالشمس
22	3-2 : الطرق المتبعة لتوزيع اللواقط الشمسية
24	1-3-2 : حقل مستوي
25	2-3-2 : حقل مدرج
26	3-3-2 : حقل مائل
31	4-2 : ملخص الفصل الأول

الفصل الثالث (التمثيل الرياضي للظل اللحظي)

- 32 1-3: المقدمة
- 32 2-3: دراسة سلوك الظل اللحظي لسطح مائل على المستوي الأفقي
- 35 3-3: دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقول المستوية
- 39 4-3 : دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقل المدرج
- 40 5-3: دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقل المائل
- 42 6-3: نتائج البرنامج
- 44 7-3 : مناقشة نتائج البرنامج
- 59 8-3: ملخص الفصل الثالث

الفصل الرابع (تقدير شدة الإشعاع الشمسي في الحقول الشمسية)

- 61 1-4: المقدمة
- 61 2-4 : حساب شدة الإشعاع الشمسي
- 63 3-4 : نموذج السماء الصافية آشراي
- 64 4-4 : تقدير شدة الإشعاع الشمسي على الأسطح المائلة
- 68 5-4 : حساب شدة الإشعاع الشمسي في الحقول الشمسية
- 68 1-5-4 : وصف التجربة 1
- 68 2-5-4 : الأدوات المستعملة
- 69 3-5-4 : الإجراءات المتبعة
- 71 4-5-4 : خطوات إجراء التجربة 1
- 71 5-5-4 : نتائج التجربة 1
- 72 6-5-4 : مناقشة نتائج التجربة 1
- 73 6-4 : تأثير الظل على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الحقل الشمسي
- 75 1-6-4 : وصف التجربة 2
- 75 2-6-4 : نتائج التجربة 2
- 76 3-6-4 : مناقشة نتائج التجربة 2
- 77 7-4 : ملخص الفصل الرابع

الفصل الخامس (تأثير الظل الجزئي على أداء الخلايا الشمسية)

- 78 1-5: المقدمة
- 80 2-5 : الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية
- 81 3-5 : تأثير الظل على إنتاجية اللوح الشمسي

81	1-3-5: وصف التجربة
82	2-3-5: الأدوات المستعملة
83	3-3-5 : التصميم الكهربائي للوح الشمسي
84	4-3-5 : طريقة عمل التجربة
84	5-3-5 التظليل على طول البعد العمودي (الطول)
86	6-3-5: التظليل على طول البعد الأفقي للوح (العرض)
87	7-3-5 : نتائج التجربة
88	4-5 : محاكاة أنواع أخرى من توصيلات الألواح الشمسية
88	1-4-5 : لوح شمسي نوع الربط (1S – 4P)
89	2-4-5 : لوح شمسي نوع الربط (2S – 2P)
90	5-5 : تأثير الظل على إنتاجية صفيح الألواح الشمسية
97	6-5 : نتائج المحاكاة
98	7-5 : تقدير إنتاجية الحقل الشمسي
98	8-5 : ملخص الفصل الخامس

الفصل السادس (الاستنتاجات والتوصيات)

100	1-6 : الاستنتاجات
102	2-6: التوصيات
103	المصادر

قائمة الأشكال

رقم الشكل	اسم الشكل	الصفحة
1-2	أ- مخطط الموضع النسبي للشمس والأرض في أوقات مختلفة من السنة؛ ب- مخطط لمواقع الدوائر القطبية الشمالية والجنوبية وخطي السرطان والجدي وخط الاستواء بالنسبة للشمس للفصول الأربعة	14
2-2	رسم تخطيطي يبين زاوية ميل السطح s ، زاوية اتجاه السطح ν ، زاوية ارتفاع الشمس α ، زاوية اتجاه الشمس ϕ وزاوية سمت الشمس z	15
3-2	رسم تخطيطي يبين زاوية خط العرض L ، وزاوية الساعة h وزاوية ميلان محور الأرض δ	15
4-2	زاوية الظل β مع زاوية ارتفاع الشمس α ، وزاوية اتجاه الشمس ϕ	19
5-2	منحنيات العلاقة بين زاوية ارتفاع الشمس (α) والوقت لمدينة سبها ($L=27^\circ$)	20
6-2	منحنيات العلاقة بين زاوية اتجاه الشمس (ϕ) والوقت لمدينة سبها ($L=27^\circ$)	21
7-2	بعض أشكال الظل التي تقع على الخلايا (a) ظل سارية نحيفة (b) ثلج ملتصق فوق الألواح	23
8-2	مخطط لحقل مستوي	24
9-2	مخطط لحقل مدرج	25
10-2	مخطط لحقل مائل	27
11-2	علاقات نسبة أقل مسافة لتجنب سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني (x) إلى طول اللاقط الشمسي (λ) وعلاقة نسبة الارتفاع اللازم لتفادي سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني (y_{sh}) إلى طول اللاقط الشمسي (λ) ويوم 21 من كل شهر لمدينة سبها ($L = 27^\circ$)	28
12-2	علاقات نسبة طول اللاقط الشمسي المظلل (L_{sh}) إلى طول اللاقط الشمسي الكلي (L_c) لجميع الحقول ويوم 21 من كل شهر عند الزوال الشمسي (12:00) لمدينة سبها ($L = 27^\circ$)	30
1-3	مخطط هندسي لمسطح شمسي وظله على مستوى أفقي	33
2-3	منحنيات نسبة المساحة المظللة على المستوي الأفقي الى المساحة الكلية للاقط الشمسي (A_{sh}/A_c) والزمن لأيام 21 لكل شهر لمدينة سبها ($w=4m, \ell=2m, S=27^\circ$)	35
3-3	مخطط الحالة العامة لتوزيع اللواقط الشمسية في حقل في المستوى الكارتيزي	36
4-3	مخطط هندسي يبين المسقط الأفقي لظل مسطحين شمسين	37

- 40 مخطط هندسي يبين ظل مسطحين شمسين في الحقل المدرج 5-3
- 41 مخطط هندسي يبين ظل مسطحين شمسين في الحقل المائل 6-3
- 43 مخطط عمليات البرنامج 7-3
- 48 المساحة النسبية: $W_c = 4m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير V و n يوم 21 من كل شهر a-8-3
- 49 شكل (3.8.b) المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير V و n يوم 21 من كل شهر b-8-3
- 50 المساحة النسبية: $L_c = 2m, \psi = 0, W_c = 150m$ والمتغير V, S 9-3
- 51 المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, V = L_c \times \cos(s)$ والمتغير S 10-3
- 52 المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0$ والمتغير $S, \frac{V}{L_c}$ 11-3
- 53 المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, S = 27^\circ$ والمتغير V, ψ 12-3
- 54 المساحة النسبية: $W_c = 150m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير V, L_c 13-3
- 55 المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير V, W_c 14-3
- 56 المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير Y_{step}, V 15-3
- 57 المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, Y_{step} = 0, \bar{s} = 27, S = \bar{S} + \lambda$ في حالة الحقل المائل والمتغير V و λ ليوم 21 يناير 16-3
- 58 المساحة النسبية في حالة الحقل المستوي عندما تكون: $Y_{step} = 0, S = 27^\circ, W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, V = 2m$ والمتغير n يوم 21 من كل شهر 17-3
- 58 المساحة النسبية في حالة الحقل المدرج عندما تكون: $Y_{step} = 0.1m, S = 27^\circ, W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, V = 2m$ والمتغير n يوم 21 من كل شهر 18-3
- 59 المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير L 19-3
- 62 مركبات الإشعاع الشمسي 1-4
- 67 منحنيات شدة الإشعاع الشمسي الكلي والزمن لأيام 21 من كل شهر لمدينة سبها ($L=27^\circ$, وزاوية ميل المسطح $S=27^\circ$) 2-4
- 69 توزيع اللاقطات الشمسية في حقل شمسي نوع التوزيع خطي 3-4

70	رسم تخطيطي للتجربة	4-4
73	علاقة نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) والمسافة الفاصلة بين الصفوف على طول صف الحقل الشمسي	5-4
77	نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) والمسافة بين الصفوف	6-4
79	خلية شمسية، لوح شمسي، صفيف، صفوف وحقل شمسي	1-5
81	منحني I-V لخلية شمسية	2-5
83	مخطط كهربائي للوح	3-5
85	تظليل لوح الاختبار على طول البعد العمودي للوح (الطول)	4-5
85	منحنيات (I-V) لتظليل على طول البعد العمودي (الطول)	5-5
87	تظليل ألواح على طول البعد الأفقي للوح (العرض)	6-5
87	منحنيات (I-V) المظلة على طول البعد الأفقي للوح (العرض)	7-5
88	مخطط المسقط الأفقي للوح شمسي نوع الربط (1S – 4P)	8-5
89	منحنيات (I-V) لتظليل على طول البعد العمودي للوح (1S – 4P)	9-5
90	مخطط المسقط الأفقي للوح شمسي نوع الربط (2S – 2P)	10-5
90	منحنيات (I-V) لتظليل على طول البعد العمودي للوح (2S – 2P)	11-5
91	مخطط لصفيف PV مركبة من (12) لوح خلايا شمسية	12-5
96	التمثيل الرقمي للبرنامج، التمثيل التخطيطي والتمثيل البياني لصفيف ألواح PV مركبة من اثني عشر لوح	13-5
97	القدرة الإنتاجية للصفيف مع المساحة النسبية للظل	14-5

قائمة الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	الصفحة
1-4	ثوابت معادلة أشراي لأيام 21 من كل شهر	63
2-4	شدة الإشعاع الشمسي للمسافات المبينة بالجدول خلف الصف الأول	72
3-4	شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) مع المسافة الفاصلة بين الصفوف	76
1-5	مواصفات اللوح الشمسي	84

الرموز المستخدمة في البحث

الرموز اللاتينية

الرمز	المعنى	الوحدات
δ	زاوية ميلان محور الأرض	°
ψ	زاوية اتجاه السطح	°
α	زاوية ارتفاع الشمس	°
ϕ	زاوية اتجاه الشمس	°
β	زاوية الظل	°
λ	زاوية ميل المنحدر	°
ρ_g	انعكاسية سطح الأرض لكل من الأشعة المباشرة والمنتشرة	—
$\rho_g (1 - \cos s)/2$	نسبة ما ستعكسه الأرض من الأشعة على السطح المائل	—

الرموز الإنكليزية

A	الإشعاع الشمسي المرئي لكتلة الهواء صفر	W/m^2
A_c	مساحة اللاقط الشمسي	m^2
A_s	مساحة ظل اللاقط الشمسي على المستوي الأفقي	m^2
A_{sh}	مساحة ظل اللاقط الشمسي وهي تشبه مساحة شبه منحرف	m^2
A_{sht}	المساحة الكلية للظل في الحقل الشمسي	m^2
C, B	ثابت معامل الإشعاع المنتشر وقيمه مدرجة في الجدول (4.1)	—
F_{c-d}	معامل الشكل بين اللاقط والقبة السماوية	—
F_{c-g}	معامل الشكل بين اللاقط وسطح الأرض	—

—	معامل الشكل بين اللاقط و ظهر السطح المائل للصف السابق	F_{c-r}
°	زاوية الساعة	h
W/m^2	الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي	H_b
W/m^2	الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح مائل	$H_{b,t}$
W/m^2	الإشعاع الشمسي المنعكس من السماء الساقط على سطح مائل	$H_{d,t}$
W/m^2	الإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض الساقط على سطح مائل	$H_{g,t}$
W/m^2	حزمة الإشعاع الشمسي العمودي	H_{bn}
W/m^2	الإشعاع المنتشر من السماء الصافية والساقط على سطح أفقي	H_d
W/m^2	شدة الإشعاع الشمسي للحقل الساقط على الصفوف الواقعة خلف السطر الأول	H_{field}
—	نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي	H_{field}/H_t
W/m^2	الإشعاع الشمسي المنعكس من ظهر سطح الصف السابق	H_r
°	زاوية ساعة الغروب للسطح المائل	h'_{ss}
W/m^2	الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح مائل	H_t
°	زاوية سقوط الشعاع الشمسي	i
أمبير	تيار الدائرة المغلق	I_{sc}
أمبير	أعظم تيار للقدرة القصوى	I_{mp}
°	منحني التيار والفولتية	$I-V$
°	زاوية خط العرض	L
m	طول ظل السطح الثاني	λ_{sh}
m	طول اللاقط الشمسي	λ, L_c
W/m^2	نقطة قدرة عظمى ثنائية	MPP
W/m^2	أعظم قدرة	P_{mp}
—	يمثل رقم اليوم في السنة من 1 يناير	n
—	الفوتوضوئية	PV
—	نسبة الإشعاع المباشر الساقط على سطح مائل إلى الإشعاع	R_b

	المباشر الساقط على سطح أفقي	
°	زاوية ميل سطح اللاقط الشمسي	S
°	زاوية ميل اللواقط الشمسية بالنسبة لمستوى الأرض المنحدرة	s'
	الظروف القياسية لشدة الإشعاع الشمسي 1000 W/m^2	STC
	ودرجة حرارة الخلية 25°C	
	وكتلة الهواء (Spectrum air mass) 1.5	
	زمن بداية ونهاية فترة الساعة	t_2, t_1
بالساعات	طول اليوم	T_d
بالساعات	زمن الشروق للسطح الأفقي	tsr
بالساعات	زمن الغروب للسطح الأفقي	tss
—	وقت الشروق	T_r
—	وقت الغروب	T_s
m	المسافة الفاصلة بين صفوف الحقل المدرج	V_{step}
m	المسافة الفاصلة بين صفوف الحقل المائل	V_{slope}
volts	فولتية الدائرة المفتوحة	V_{oc}
volts	أعظم فولتية للقدرة	V_{mp}
m	المسافة الفاصلة بين صفوف الحقل المستوي	V
—	البعد اللازم لتفادي سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني	V/L_c
m	عرض اللواقط الشمسية	w, w_c
	محور إحداثيات اللاقط الشمسي	X
m	ارتفاع ظل السطح الثاني	Y_{sh}
m	ارتفاع الصف الثاني للاقط الشمسي	Y_{step}
°	زاوية سمت الشمس	Z

الفصل الأول

تعريف البحث

- 1-1 : تمهيد
- 2-1 : نبذة تاريخية عن البحث
- 3-1 : أهمية البحث والحاجة إليه
- 4-1 : مشكلة البحث
- 5-1 : أهداف البحث
- 6-1 : تساؤلات البحث
- 7-1 : مبررات البحث
- 8-1 : منهج البحث
- 9-1 : حدود البحث
- 10-1 : الدراسات السابقة
- 11-1 : وجهة نظر الباحث في الدراسات السابقة

1-1 تمهيد

يعتبر معدل استهلاك الطاقة الكهربائية من دلائل تقدم الشعوب. إن الطاقة الكهربائية سهلة التوصيل والتحويل لأية صورة من صور الطاقات الأخرى، ومتوفرة بمجرد الضغط على المفتاح، وما زالت تعتبر المصدر الرئيسي للاستخدامات المنزلية والتجارية وفي معظم التطبيقات الصناعية. وتمثل الطاقة الكهربائية ما نسبته 40% من المجموع العالمي للطاقة المستهلكة.

تواجه العديد من الدول النامية تحديات كبيرة في سبيل الحصول على مصدر إمداد للطاقة آمن، لتلبية احتياجات الطاقة لديها في ظل التزايد السريع للنمو الاقتصادي في هذه الدول، بالإضافة إلى العديد من المشاكل المترامنة مع الزيادة في التوليد الكهربائي، وأخص بالذكر منها الدعم المادي والمشاكل البيئية. أما في الدول المتقدمة فالضغوط تتزايد لإيجاد بدائل للطاقات التقليدية وزيادة كفاءة الإنتاج والاستهلاك في قطاع الطاقة الكهربائية، في محاولة للحد من انبعاث الغازات العادمة من مداخل محطات الطاقة التقليدية، والتي تسبب في تلوث البيئة ليس فقط محلياً وإنما ينتشر الضرر أيضاً عالمياً كما هو الحال في ظاهرة الاحترار الكوني والتي تعاني منها الكرة الأرضية. وللحد من هذا التلوث، سنت الكثير من الدول قوانين صارمة على انتشار غاز CO₂، المتهم الأول في ظاهرة الاحتباس الحراري، وذلك بالرجوع إلى نسب تركيزه في الهواء الجوي إلى عام 1990. كما أقدمت العديد من دول العالم بما فيها الدول النامية على توقيع معاهدات مثل

بروتوكول Kyoto للتقليل من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂، وبهذا أصبحت المشكلة عالمية وغير مقتصرة على دول متقدمة أو نامية. ولهذا السبب وإحساساً من جانبها بالمسئولية، أقدمت العديد من الدول المتقدمة على منح بعض الدول النامية مساعدات مالية لإنشاء محطات قوى تعمل بالطاقة الشمسية.

فمجال صناعة الطاقة يحظى باهتمام بالغ ودعم كبير، لذا ننتظر كل يوم تغيرات جديدة في مجال تحول إنتاج الطاقة في اتجاه الطاقات الجديدة والمتجددة وإلى الطاقة الشمسية على وجه الخصوص.

يمكن توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية بطريقتين: الطريقة الأولى هي الطريقة الغير مباشرة، وذلك عن طريق المحطات الحرارية لتوليد الطاقة الكهربائية. والثانية هي الطريقة المباشرة، وذلك عن طريق استخدام الخلايا الفوتوضوئية أو ما يعرف بالخلايا الشمسية.

الخلايا الشمسية هي عبارة عن نبائط الكترونية مصنوعة من مواد أشباه الموصلات التي لها القدرة على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية على أساس النظرية الكمية في تحويل طاقة الفوتونات الضوئية إلى طاقة كهربائية.

2-1 نبذة تاريخية عن البحث

تمت ملاحظة ظاهرة التأثير الفوتوضوئي في سنة 1839، وتم تصنيع أول خلية شمسية من مادة أشباه الموصلات سنة 1950، بكفاءة تحويل حوالي 6%. وأقتصر

استخدام الخلايا الشمسية في البداية على توفير الطاقة الكهربائية للمركبات الفضائية. إلا أن الاهتمام بهذه التقنية الجديدة ازداد عالمياً بعد ما سمي بأزمة النفط في سنة 1973، واتسع مجال استخداماتها لتشمل العديد من التطبيقات ومنها: الحماية المهبطية لأنابيب نقل النفط والغاز في قطاع النفط، في حفظ اللقاحات والأمصال في المناطق النائية الصحراوية في مجال الطب، في ضخ المياه من الآبار، في المحطات السنميتيرية وإعادة البث في قطاع الاتصالات. وتجاوزت هذه التطبيقات الصغيرة لتصل إلى التطبيقات الكبيرة في إمداد المناطق النائية المعزولة عن الشبكة العامة للكهرباء بالطاقة الكهربائية، كما شملت وحدات توليد للكهرباء مربوطة مع الشبكة العامة، وغيرها من التطبيقات الأخرى [1].

من مميزات توليد الكهرباء باستخدام الخلايا الشمسية عدم إحداث ضجيج أو انبعاث غازات أثناء أدائها. فاستغلال 50% من مساحة صحاري العالم ينتج طاقة كهربائية تزيد 15 مرة ما أستهلكته البشرية من الطاقة الكهربائية في عام 1995 م، وحالياً تنتج 400Mw من الطاقة الكهربائية عن طريق الخلايا الشمسية، وتشير الإحصائيات إلى نمو سريع لسوق تقنية الخلايا الشمسية يصل إلى 25% سنوياً [2].

غير أن التوسع في القدرة الإنتاجية لحقول الخلايا الشمسية يواجه تحديات عدة والتي

يمكن حصرها في العناصر التالية:

١. قلة كفاءة الخلايا الشمسية وإرتفاع تكلفتها بالمقارنة مع التقنيات الأخرى لإنتاج الطاقة.

٢. التأثير السلبي لدرجة الحرارة على إنتاجها.

٣. تأثير الظل الكبير على إنتاجها.

الأول فهو تقني صناعي بحث. والثاني تم دراسته في العديد من الأبحاث المتخصصة ويمكن التغلب عليه بتبريد الخلايا الشمسية. أما تأثير الظل فهو مرتبط بأبعاد الحقل التصميمية والذي سيتم مناقشته خلال هذا البحث. والذي لم يلق عناية كافية من قبل المتخصصين، كما دل عليه المسح المكتبي في العديد من مكاتب الجامعات ومراكز بحوث الطاقة الشمسية في الدول العربية.

يعتبر موضوع الظل حديثاً نسبياً حيث كانت بدايته في منتصف 1980 إثر ملاحظة Don kilfoyle (عضو هيئة مركز بحوث الطاقة الشمسية بفلوريدا) [3] انخفاض ملحوظ في معدل القدرة الخارجة من منظومة شمسية كهربائية منزلية بقدرة 300 واط في منطقة بولاية فلوريدا، وكان السبب هو وقوع ظل صغير على هذه المنظومة خلال فصل الصيف في فترتي الصباح والمساء.

3-1 أهمية البحث والحاجة إليه

تكمن أهمية دراسة الظل، في الحصول على الترتيب المثالي لحقول اللاقطات الشمسية، (الخلايا الشمسية والمجمعات الشمسية المستوية) وصولاً إلى المساحة المثالية لإستيعاب اللاقطات الشمسية اللازمة لتغطية حمل معين. والعوامل المهمة المتحكمة في هذه المساحة في الدرجة الأولى هي العامل الاقتصادي والمتمثل في: ثمن مساحة قطعة الأرض المزمع إقامة الحقل عليها، والعامل الآخر هو إنتاجية الحقل لفترة عمر المحطة.

ويكمن الترتيب الأمثل في المفاضلة بين هذه العوامل والطاقة المغيبة من الحقل إثر وجود ظل صفوف اللواقط الشمسية بعضها على بعض، جراء تغير مسار الشمس المستمر.

فبالرغم من أثر الظل البالغ على إنتاجية الحقل، إلا أن هذا الموضوع ظل غائباً عن الكثير من المهتمين في هذا المجال، حيث يوجد خلط في عملية تقييم أثر الظل في إنتاجية الحقول الشمسية، كما أشار إلى ذلك العديد من الباحثين [4].

ومن هنا فإن تتبع مسار ظل سطح ما على سطح آخر باستمرار تكون ذات أهمية علمية وعملية كبيرتين. إضافة إلى أن دراسة بهذه الشمولية مازالت غائبة في الدراسات العلمية المتخصصة، فلم تتطرق البحوث والمراجع العلمية المتخصصة إلى هذا الموضوع ولم تستوفيه حقه من البحث، وإذا ما تمت الإشارة إليه فيكون ذلك سطحياً، ويتم التقييم فقط عند ساعة الزوال الشمسي، وهو الوقت الذي يكون فيه الظل أقصر ما يمكن، وبهذا فإن تقييم إنتاجية الحقل على أساس هذه الحسابات يكون غير دقيقاً. فالظل يلحق خسائر فادحة في إنتاجية الحقول الشمسية بالأخص في حقول الخلايا الشمسية.

فالخلايا الشمسية تنتج طاقة كهربائية نتيجة توصيلها على التوالي، وعند وقوع الظل على إحدى هذه الخلايا تقل إنتاجيتها، وتكون الخسارة في الطاقة المنتجة أكبر بكثير من طاقة إنتاجية الجزء المظلل كما أشارت التجربة العملية التي سوف نورد لها في هذه الدراسة، وذلك نتيجة ما يعرف بظاهرة القطبية العكسية (reverse bias)، حيث تعمل الخلية المظللة كمقاومة كهربائية وتقوم الخلايا الأخرى بتغذيتها بالتيار الكهربائي مما ينتج

عنه رفع درجة حرارتها بصورة كبيرة وقد تصل إلى 120°C مما يسبب بظهور النقط الساخنة (hot spots) وبالتالي عطب اللوح بالكامل [4].

4-1 مشكلة البحث

تكمن المشكلة الأساسية في عملية التوزيع الأمثل لحقول اللاقطات الشمسية المستوية في ظاهرة سقوط ظل صفوف الخلايا الشمسية على بعضها البعض خاصة في فصل الشتاء، مما يقلل من قدرة إنتاجية الحقول الشمسية، حيث إن نسبة الفقد في الطاقة تكون أكبر من نسبة المساحة المظلمة للخلايا الشمسية.

في الحقيقية لا يمكن تحاشي الظل نهائياً وإلا سيتطلب ذلك مساحة أكبر من الأرض، فالظل سوف يقع على الخلايا الشمسية إن لم يكن صيفاً فشتاءً، ويبقى من واجب المهندس المصمم تقييم إنتاجية الحقل على مدار السنة.

5-1 أهداف البحث

تأتي هذه الدراسة لتقديم رؤية واضحة عن سلوك الظل على مدار السنة، كما تهدف أيضاً إلى الحصول على التمثيل الرياضي للظل في الحقول الشمسية وتأثيره على إنتاجية الحقول الشمسية على مدار الساعة.

6-1 تساؤلات البحث

يطرح البحث بعض التساؤلات والإجابة عن هذه الأسئلة تكون مجمل البحث وهي:

١. كيف يمكن تقدير شدة الإشعاع الشمسي الساقط على صفوف الحقل الشمسي؟

٢. ما هو تأثير الظل الجزئي على أداء الخلايا الشمسية؟

٣. كيف يمكن حساب المساحة المظللة من المسطح الشمسي؟

٤. كيف يمكن تقدير إنتاجية الحقل الشمسي؟

7-1 مبررات البحث

لا تكمن مشكلة الظل الحقيقية في كونها منطقة معتمة في سطح اللاقط الشمسي لا تنتج طاقة فحسب، وإنما تعمل هذه المنطقة كبالوعة تسريب أو استقطاب للطاقة من باقي اللاقط الشمسي، مما يجعل الصف الذي يحتوي على الخلية المظللة يخرج بكامله من الخدمة وبالتالي تقل إنتاجية الحقل بالكامل، ولذا يجب حساب المساحة المظللة من حقل اللاقط الشمسي لمعرفة كمية الطاقة الفعلية المتحصل عليها من الحقل.

8-1 منهج البحث

ولإنجاز ما تم ذكره من أهداف سلك البحث المنهجية التالية:

أولاً: الدراسة التجريبية

الهدف من الدراسة التجريبية تعيين الآتي:

١. إيجاد العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط على صفوف اللواقط الشمسية إلى شدة

الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الصف الأول من الحقل مع المسافة الفاصلة بين

الصفوف.

٢. إجراء تجربة معملية لتعيين منحني (I-V) للخلايا الشمسية المظللة جزئياً، عن طريق جهاز تتبع النقطة العظمى للقدرة (MPP).

ثانياً: الدراسة النظرية

تشتمل الدراسة النظرية على ما يأتي:

١. تمثيل مستوي الظل رياضياً لجميع أنواع الحقول على مدار الساعة.
٢. تعيين الطاقة المنتجة من الحقل الشمسي (مع وجود ظل)، وذلك بالربط مع نتائج التجربة في تعيين النقطة العظمى للقدرة.
٣. دراسة تحليل وتمثيل نتائج الدراسة التجريبية.

9-1 حدود البحث

(مدة الدراسة: المسح المكتبي 3 أشهر، الدراسة النظرية 9 أشهر والدراسة العملية 6 أشهر، برامج الكمبيوتر شهران)

10-1 الدراسات السابقة

يلقى موضوع الظل عناية كبيرة من قبل الباحثين، إلا أن هذا الموضوع لم يلق البحث بشمولية كافية إضافة إلى وجود الكثير من الخلط والخطأ في عملية التقييم. أعدت بحوث عديدة من أجل معرفة تأثير الظل على تصميم الحقول الشمسية، شدة الإشعاع الشمسي وعلى خصائص الخلية نفسها، لذلك تم في هذا الفصل استعراض العديد من البحوث السابقة التي تختص في هذا المجال أو التي لها علاقة به.

العرض :

❖ اعتبر الباحثون [4] Woyte, Nijs, Belmans أن التظليل الجزئي لصفوف المجمعات الشمسية هو السبب الرئيسي لانخفاض طاقة إنتاجية الحقول الشمسية، حيث سجلت أبعاد الظل وقدرت الخسارة في الطاقة، بطريقتين أساسيتين مختلفتين مبنية على نتائج سنتين من التحليل والمراقبة، الأولى: هي محاكاة للظل المتكون من الأشجار على صفوف PV بواسطة حصر الحواجز وتغيرها مع الزمن، أظهرت النتائج بأن شكل الحواجز يكون غير منتظم وتعتبر هذه العملية غير دقيقة، والثانية: هي من خلال وصف الانخفاض في إشعاعية ألواح PV لنقاط امتصاص دقيقة مثبتة على ألواح PV حيث أظهرت المحاكاة لهذه الطريقة نتائج جيدة.

❖ قام الباحثون [5] & Bishop [6] Spirito, Albero بتحليل كامل للخلايا الشمسية، فقد توصلوا إلى إن تظليل خلية واحدة مفردة ضمن صف من الخلايا الشمسية المربوطة على التوالي يؤدي إلى ظاهرة القطبية العكسية وتكسر خلايا المايكرو بلازما، الذي تم صياغته ووصفه فيزيائياً.

❖ أسهم الباحثون: [7] Gupta & Milnes, [8] Arnett & Gonzales, [9]; Bhattacharya & Neogy, [10]; Shepard & Sugimura, وعدد آخر في عام 1980 العديد من البحوث لغرض حماية الخلايا الشمسية المظللة من الإنهيار السريع، بإستخدام صمامات ثنائية عند تصميم ألواح PV لتجنب حدوث

النقط الساخنة وتحديد أكبر عدد ضروري من الخلايا الشمسية التي تحتاج صمام ثنائي.

❖ قام الباحثان [12,11] Appelbaum & Bany بتحليل ظل المجمعات الشمسية الناتج من سقوط أشعاع شمسي على عمود قائم، عمود مائل، مجمع قائم ومجمع مائل، وتوصلوا إلى إن لكل زاوية خط عرض مسافة حرجة فاصلة بين صفوف المجمعات، حيث عندما تكون المسافة الفاصلة بين الصفوف أكبر من المسافة الحرجة فإن تأثير الظل يكون غير مهم.

❖ استخدم الباحثون [13] Abete, Barbisio, Cane & Demartini طريقة المحاكاة لدراسة الحالة الكهربائية عند تظليل صفوف ألواح PV المحتوية على صمامات ثنائية، وقد استنتجوا بوجود نقطة حمل حرجة تحدد دخول وخروج الصمامات الثنائية إلى الخدمة.

❖ طبق الباحث [14] Kovach نموذج Bishop لتحليل ظاهرة القطبية العكسية ورسم الاستنتاجات المتولدة من النقط الساخنة وانخفاض الإنتاجية لصفوف PV.

❖ قدم الباحث [15] Ross, M., Royer, J., page 19 محاكاة عن أنظمة PV وأستنتج أنه في الأماكن الباردة فوق $60^{\circ}N$ يكون اختلاف معدل شدة الإشعاع الشمسي الكلي في مستوي الصفوف بمقدار %30-5 عنه على سطح مفرد.

❖ قام الباحثون [16] Herrmann, Adrian, Wiesner بدراسة تضمنت سلوك

ظاهرة القطبية العكسية للخلايا الشمسية التي أدت إلى هبوط الفولتية إلى أكثر من

7.2V- وتغير بالتيار يصل إلى 1.4A وارتفاع درجة حرارة الخلية إلى أكثر من

125°C عند فولتية عكسية تصل إلى 10V-.

❖ قدم الباحثان [17] Herrmann & Wiesner دراسة تضمنت بيانات عن أداء

اللوحة الشمسية (I_{sc} , V_{op} , I_{mp} , V_{mp} , P_{max}) المتحصل عليها من خصائص منحنى

(I-V) تحت الظروف القياسية (STC)، وكذلك دراسة التأثيرات الأساسية لتوزيع

الإشعاع الشمسي الغير منتظم على أداء اللوح الشمسي، وذلك عن طريق محاكاة

برنامج حاسوب COIMO، واستنتجوا بتأثر تيار الدائرة القصير I_{sc} و نقطة

القدرة العظمى MPP بصورة رئيسية وبقاء فولتية الدائرة المفتوحة بدون تغير عند

زيادة الإشعاع الشمسي الغير منتظم.

❖ قدم الباحثون [18] Stefan, Kim & Volker نتائج اختبارات الألواح الشمسية

مستخدمين شدة إضاءة مختلفة لمستويات تظليل الواح، وذلك عن طريق تجارب

معملية، بينوا فيها تغير سلوك منحنى (I-V).

11-1 وجهة نظر الباحث في الدراسات السابقة

في الحقيقة، يتغير طول واتجاه الظل كل لحظة في اليوم، وذلك بسبب التغير المستمر

لموقع الشمس النسبي في السماء، وتجاهل هذه الحقيقة يعتبر خطأً. وبهذا فإن التقييم

الطاقة لإنتاجية الحقول الشمسية المعتمدة على نقطة تصميم واحدة، يكون بعيداً عن الحقيقة، الأمر الذي قد يعطي تنبؤاً خاطئاً عن إنتاجية الحقول الشمسية. ففي الوقت الذي يكون فيه الظل أقصر ما يمكن عند الزوال في فصل الصيف، وذلك بسبب قرب الشمس من مدار السرطان بالنسبة للنصف الشمالي للكرة الأرضية (وكذلك الحال بالنسبة للنصف الجنوبي للكرة الأرضية)، لذا يكون ذلك الظل طويلاً في فصل الشتاء حتى عند ساعة الزوال. غير أن الحقول الشمسية تعمل على مدار السنة، وبهذا يجب تتبع مسار الظل وتقييم تأثيره عند كل لحظة وليس عند ساعة التصميم فقط.

الفصل الثاني

مدخل لدراسة الظل

1-2 : المقدمة

2-2 : علاقة الأرض بالشمس

3-2 : الطرق المتبعة لتوزيع اللواقط الشمسية

1-3-2 : حقل مستوي

2-3-2 : حقل مدرج

3-3-2 : حقل مائل

4-2 : ملخص الفصل الثاني

1-2 المقدمة

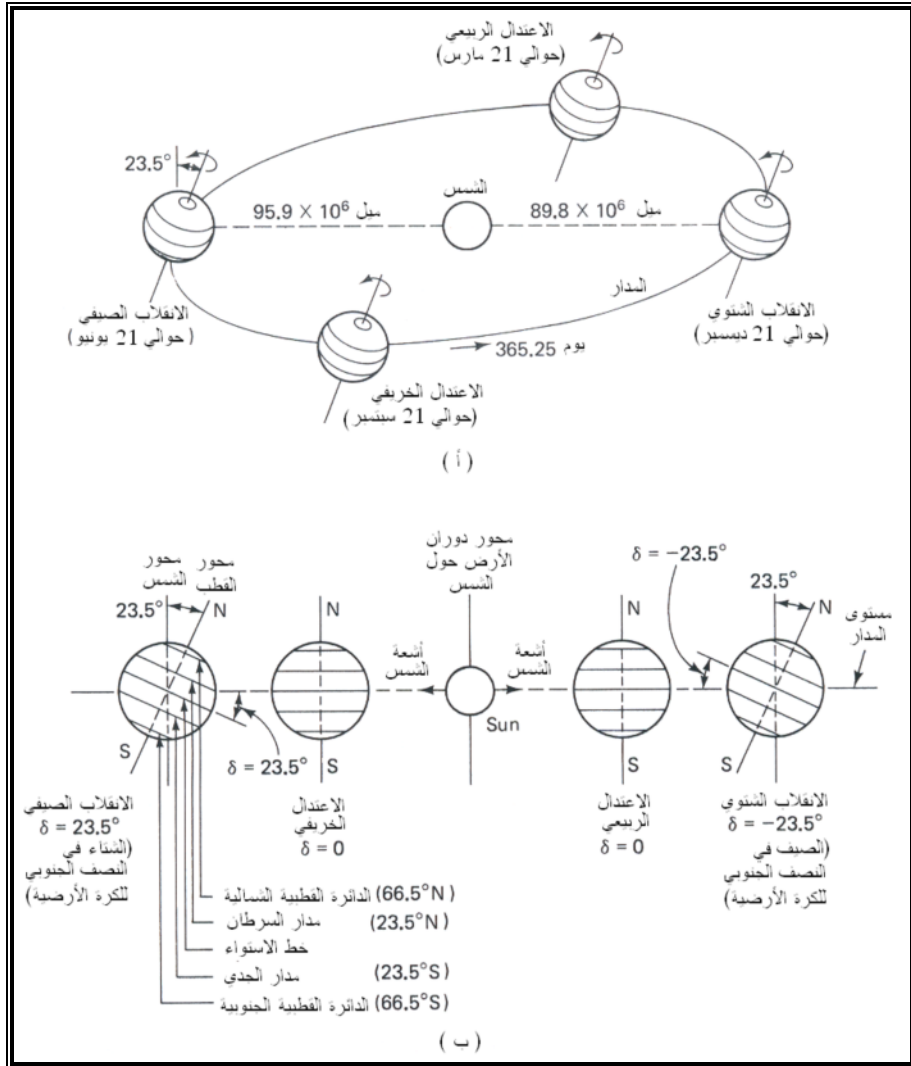
تعتمد المنظومات الشمسية بشكل كبير على عملية تجميع الطاقة الشمسية. فيما يعتمد أداء المجمعات الشمسية على عدة عوامل أهمها: مقدار واتجاه الأشعة الشمسية الساقطة على سطح المجمع. والغرض من هذا الفصل هو تعريف الزوايا الشمسية المختلفة ذات العلاقة وتقديم العلاقات الرياضية الضرورية لإيجاد شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح ما في فترة زمنية محددة.

2-2 علاقة الأرض بالشمس

تدور الأرض حول الشمس في مدار يشبه القطع الناقص، والمسافة بين مركز الأرض ومركز الشمس غير ثابتة، فتكون عند أقصى بعد لها يوم 21 يونيو، ويسمى بالانقلاب الصيفي، وتقدر المسافة بحوالي 95.9×10^6 ميل، بينما تكون أدنى قيمة لها يوم 21 ديسمبر ويسمى بالانقلاب الشتوي، وتقدر المسافة بحوالي 89.8×10^6 ميل.

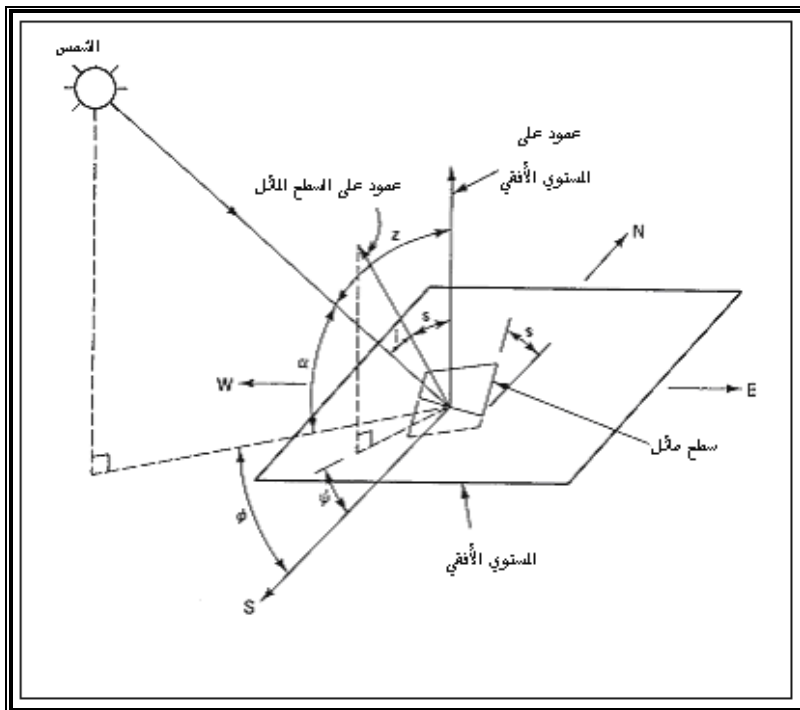
الشكل (2-1-أ) يوضح مخطط الموضع النسبي للشمس والأرض في أوقات مختلفة من السنة. بينما تعمل الأرض دورتها اليومية حول نفسها ودورتها السنوية حول الشمس، فالشمس كذلك تدور حول محورها تقريباً مرة واحدة كل شهر أرضي. الشكل (2-1-ب) يبين تخطيطاً لمواقع الدوائر القطبية الشمالية والجنوبية ومداري السرطان والجدي وخط الاستواء بالنسبة للشمس للفصول الأربعة. فعند الانقلاب الشتوي (عند 21 ديسمبر)، يميل القطب الشمالي بزاوية 23.45° بعيداً عن الشمس، ولهذا يكون الجزء الشمالي للدائرة

القطبية الشمالية مظلاً تماماً، بينما يكون الجزء الجنوبي من الدائرة القطبية الجنوبية مشمساً دائماً. يكون العكس صحيحاً في فصل الصيف (21 يونيو).

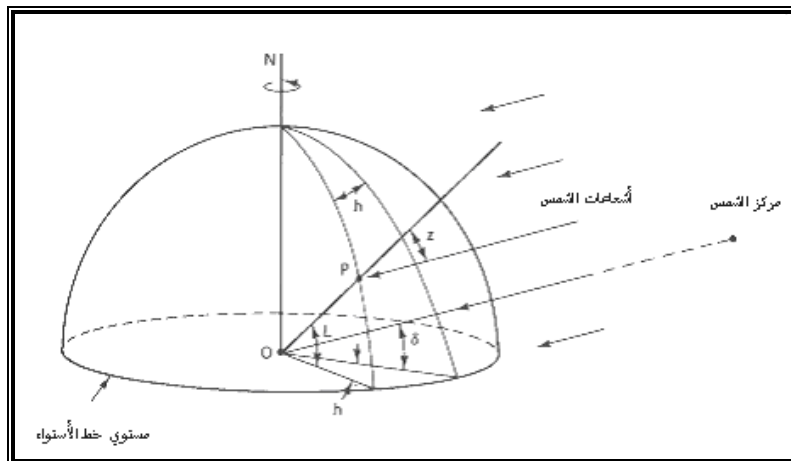


شكل (2-1-أ) مخطط الموضع النسبي للشمس والأرض في أوقات مختلفة من السنة؛ ب- مخطط لمواقع الدوائر القطبية الشمالية والجنوبية وخطي السرطان والجدي وخط الاستواء بالنسبة للشمس للفصول الأربعة. عند الأعتدالين: الربيعي والخريفي (21 مارس و 21 سبتمبر)، على التوالي، فإن القطبين الشمالي والجنوبي يكونان على مسافة واحدة من الشمس، ولهذا يكون طول اليوم على كل الأرض 12 ساعة نهاراً و 12 ساعة ليلاً، وعندها فقط تشرق الشمس من شرق خط الاستواء وتغرب في غربه تماماً.

تعتمد شدة الشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض على طول مسار الأشعة الشمسية في الجو، طول المسار يؤثر في الأشعة الشمسية وذلك نتيجة لظاهرتي الامتصاص والتشتت للأشعة خلال مسارها في الجو. مما سبق يتبين أن شدة الإشعاع الشمسي تكون دالة في موضع الشمس والتي يمكن أن يعبر عنها بدلالة الزوايا الشمسية.



شكل (2-2) رسم تخطيطي يبين زاوية ميل سطح S، زاوية اتجاه السطح ψ ، زاوية ارتفاع الشمس α ، زاوية اتجاه الشمس ϕ وزاوية سمت الشمس Z.



شكل (3-2) رسم تخطيطي يبين زاوية خط العرض L، زاوية الساعة h وزاوية ميلان محور الأرض δ.

بالإشارة إلى الشكلين (2-2&2-3) فإن هذه الزوايا يمكن تعريفها كالآتي [19]:

δ : زاوية ميلان محور الأرض، وهي الزاوية المحصورة بين الخط الممدود من

مركز الشمس إلى مركز الأرض وخط الاستواء للكرة الأرضية، وتتراوح بين

$$-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$$

.....(٢.١)

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

حيث n يمثل رقم اليوم في السنة بداية من 1 يناير.

L : زاوية خط العرض، وهي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة ما

على سطح الأرض و مستوى خط الاستواء.

s : زاوية ميل السطح، وهي زاوية ميل السطح عن المستوى الأفقي.

ψ : زاوية اتجاه السطح، وهي الزاوية المحصورة بين مسقط الخط العمودي على

السطح على المستوى الأفقي واتجاه الجنوب، وتكون هذه الزاوية موجبة في

اتجاه الغرب وسالبة في اتجاه الشرق ومساوية صفراً في اتجاه الجنوب.

h : زاوية الساعة، وهي الزاوية المحصورة بين مسقط الشعاع الشمسي عند زمن

معين والزوال الشمسي الساعة 12:00. كل ساعة من الزوال تساوي 15°

وتكون الإشارة موجبة بعد الزوال أو مساءً وسالبة قبل الزوال أو صباحاً.

$$h = \pm \frac{1}{4} \times (\text{مجموع الدقائق عن الزوال الشمسي}) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Z : زاوية السميت، وهي الزاوية المحصورة بين الشعاع الشمسي والخط العمودي على المستوي الأفقي .

$$Z = \cos^{-1} [\sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h)] \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

α : زاوية ارتفاع الشمس، وهي الزاوية المحصورة بين الشعاع الشمسي ومسقط الشعاع على المستوى الأفقي وبهذا تكون $\alpha = 90^\circ - Z$.

$$\alpha = \sin^{-1} [\sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h)] \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

ϕ : زاوية اتجاه الشمس، وهي الزاوية المحصورة بين محور الجنوب والمسقط الأفقي للشعاع الشمسي، وتكون الزاوية موجبة في اتجاه الغرب وسالبة في اتجاه الشرق ومساوية صفرًا في اتجاه الجنوب.

$$\phi = \sin^{-1} \left[\cos(\delta) \frac{\sin(h)}{\cos(\alpha)} \right] \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

i : زاوية سقوط الشعاع، وهي الزاوية المحصورة بين الشعاع الشمسي والعمودي على السطح.

$$i = \cos^{-1} [\sin(L) \sin(\delta) \cos(s) - \cos(L) \sin(\delta) \sin(s) \cos(\psi) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(s) + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \sin(s) \cos(\psi) + \cos(\delta) \sin(h) \sin(s) \sin(\psi)] \quad (2.6)$$

ومن الضروري حساب ساعات الشروق والغروب وطول النهار ليوم محدد، وذلك عن طريق حل المعادلة (٢.٤) لزاوية ساعة الغروب h_{ss} عندما تكون $\alpha = 0$ ، وبهذا تكون زاوية ساعة الغروب هي:

$$h_{ss} = \cos^{-1}[-\tan(L)\tan(\delta)] \quad \dots\dots\dots(٢.٧)$$

حيث تكون زاوية الساعة موجبة عند الغروب. بما أن زاوية الساعة عند الزوال تكون صفراً، والساعة الواحدة تكافئ 15° ، بهذا يمكن أن نحسب وقت الشروق (T_r) والغروب (T_s) بالساعة من ساعة الزوال، على الصورة الآتية:

$$\dots\dots\dots(٢.٨)$$

$$T_s = \frac{1}{15} \cos^{-1}[-\tan(L)\tan(\delta)]$$

$$T_r = 12:00 - T_s \quad \dots\dots\dots(٢.٩)$$

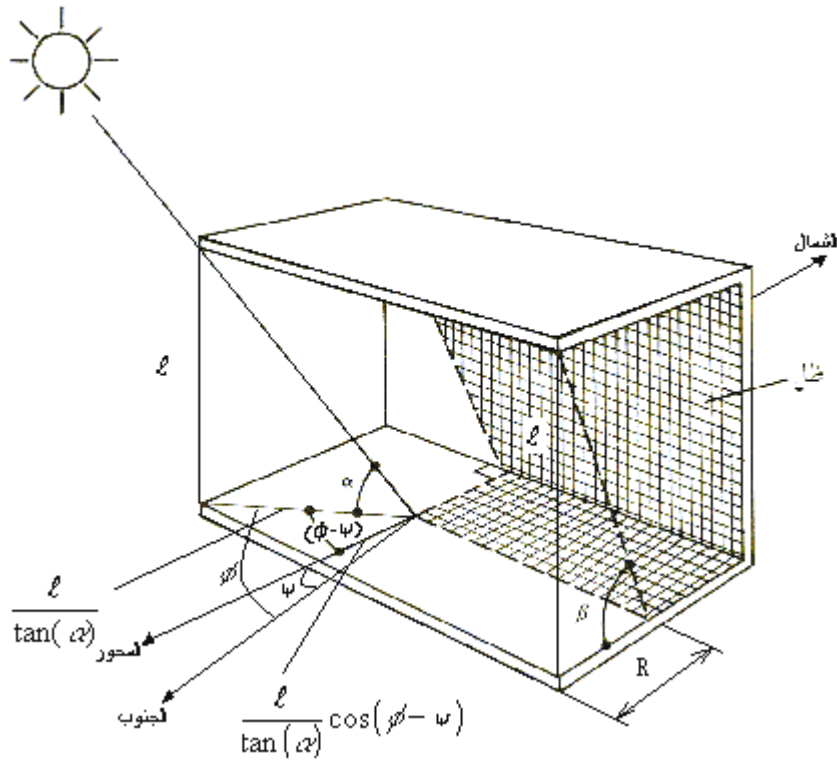
وطول اليوم بالساعات T_d يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$T_d = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan(L)\tan(\delta)] \quad \dots\dots\dots(٢.١٠)$$

β : زاوية الظل، وهي الزاوية المحصورة بين المحور العمودي على السطح

ومسقط الشعاع الشمسي في المستوى العمودي على السطح، وكما هو مبين

بالشكل (4-2).



شكل (4-2) زاوية الظل β مع زاوية ارتفاع الشمس α ، وزاوية اتجاه الشمس ϕ

$$R = \frac{\lambda}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi)$$

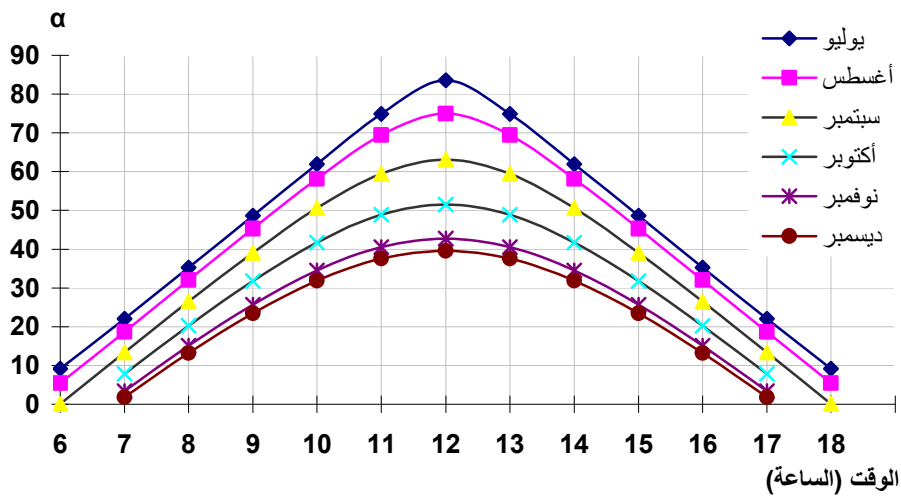
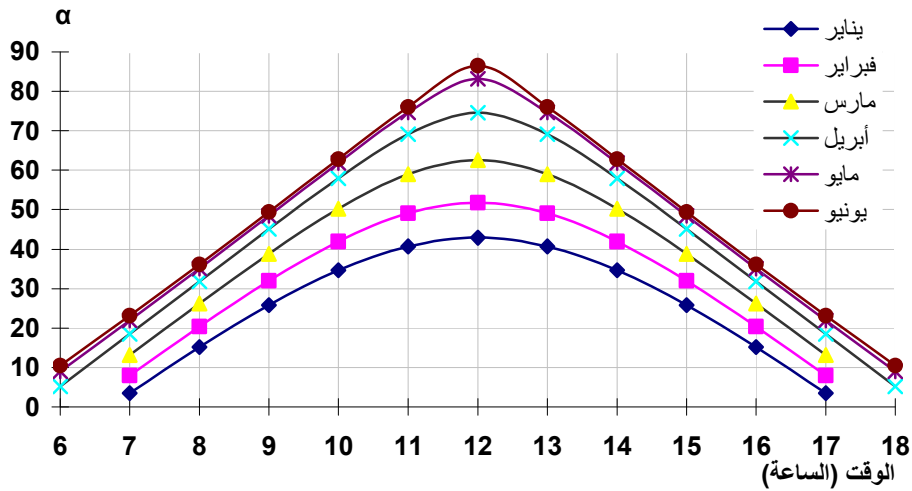
$$\tan(\beta) = \frac{\lambda}{\frac{\lambda}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi)} = \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\phi - \psi)}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left[\frac{\tan(\alpha)}{\cos(\phi - \psi)} \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

تم إعداد برنامج حاسوب بلغة فورتران يحسب الزوايا الشمسية على مدار السنة من ساعات الشروق الى ساعات الغروب. يوضح الشكل (5-2) زاوية ارتفاع الشمس والشكل

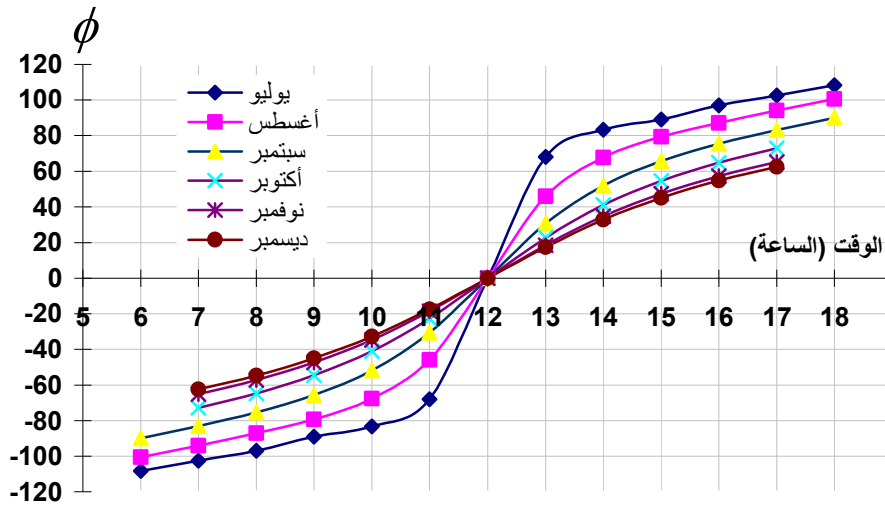
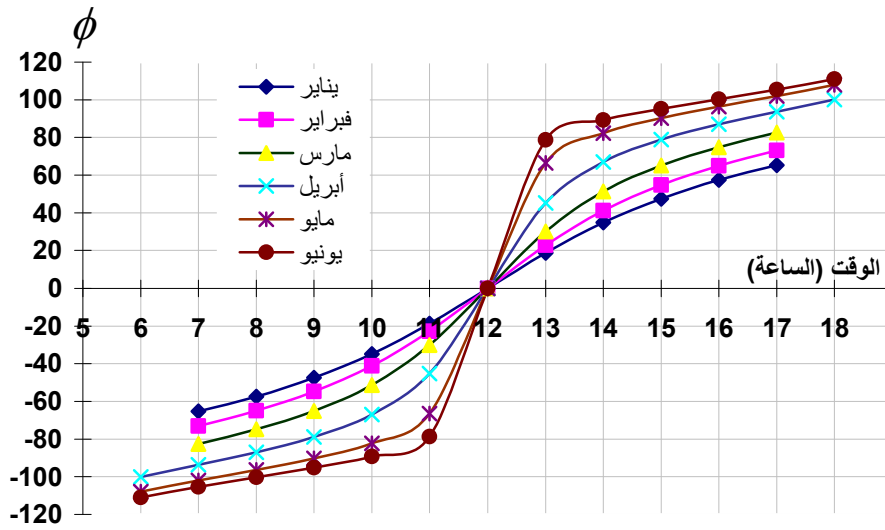
(6-2) زاوية إتجاه الشمس وذلك ليوم 21 من كل شهر من ساعة الشروق الى ساعة

الغروب لمدينة سبها (زاوية خط عرض $L=27^\circ$).



شكل (5-2) منحنيات العلاقة بين زاوية ارتفاع الشمس (α) والوقت

لأيام 21 من كل شهر لمدينة سبها ($L=27^\circ$).



شكل (2-6) منحنيات العلاقة بين زاوية إتجاه الشمس (ϕ) والوقت

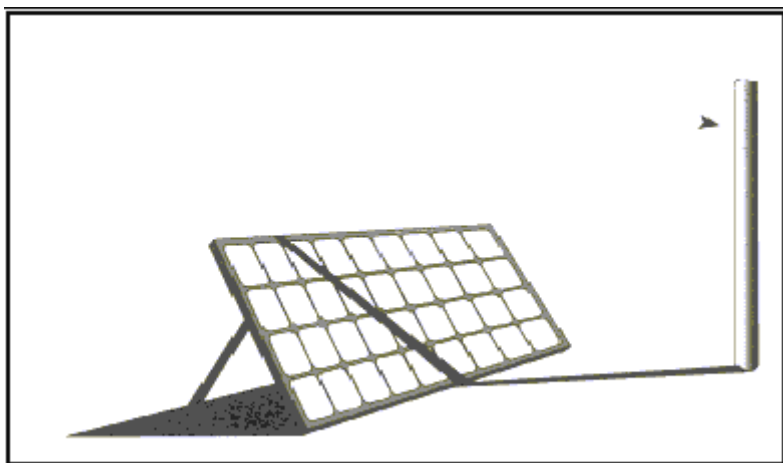
لأيام 21 من كل شهر لمدينة سبها ($L=27^\circ$).

وتعتبر كلاً من زاوية ارتفاع الشمس (α) وزاوية إتجاه الشمس (ϕ) من الزوايا الأهم في عملية تقييم الظل.

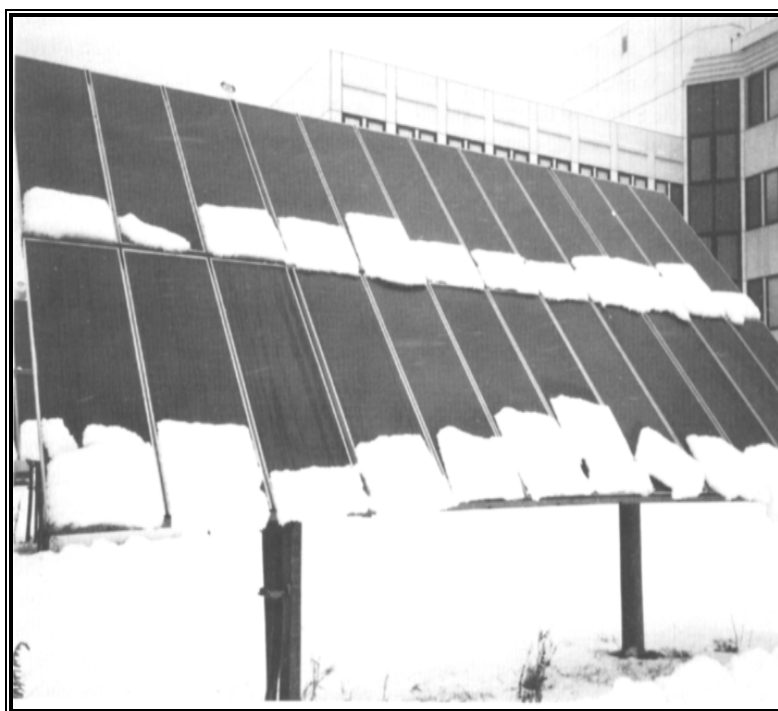
3-2 الطرق المتبعة لتوزيع اللواقط الشمسية

يعتبر الظل من العوامل المهمة التي تؤخذ في الحسبان عند تصميم الحقول الشمسية، وحساب شدة الشعاع الشمسي المتاح . حيث ينهار عطاء المنظومات الشمسية عند تظليلها. فالظل يمثل مشكلة في فصل الشتاء في النصف الشمالي من الكرة الأرضية حيث تكون الشمس منخفضة نسبياً في السماء وبهذا يكون الظل أطول. ولتقليل الظل يجب أن يكون موقع المنظومة في منطقة مرتفعة أو بعيدة عن الأشجار والأشياء الأخرى المسببة للظل. وحقول الخلايا الشمسية المحتوية على عدة صفوف يجب أن تفصلها مسافات بحيث يكون طول ظل الصف على الصف الذي يليه أقصر من المسافة الفاصلة بين الصفوف ما أمكن ذلك.

فمجرد تظليل خلية واحدة من المسطح الشمسي سيقفل من خرج المسطح. لأن التيار سيمر في كل خلية من خلايا المسطح الشمسي المتصلة على التوالي، والخلايا المظللة ستقاوم تدفق التيار. لهذا يجب إبعاد أي أشياء مهما كانت صغيرة أو رفيعة يمكن أن يقع ظلها على الخلية (أنظر شكل (a-7-2)، (b-7-2))، وهذا يتضمن البنايات، الأعمدة، الأسلاك، الثلوج وهوائيات الإرسال... الخ. وعند عدم التمكن من تجنب حدوث الظل فإن حقل الخلايا الشمسية سوف يكبر لكي يبقى الإنتاج بالكمية المطلوبة من الطاقة الكهربائية [20].



(a) ظل سارية نحيفة



(b) ثلج ملتصق فوق الألواح

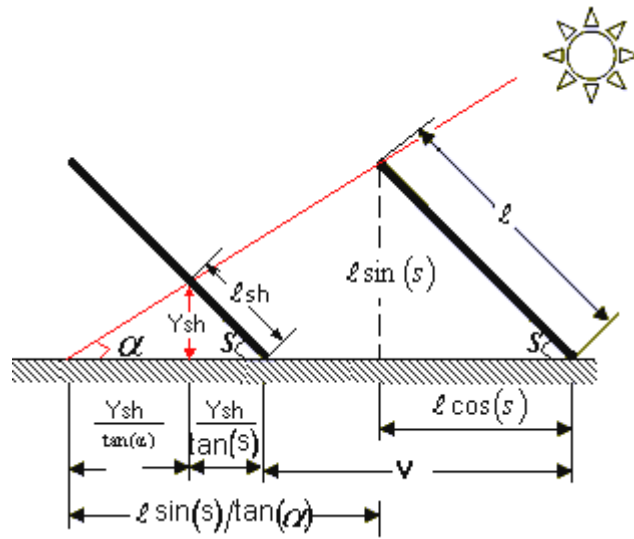
شكل (7-2) بعض أشكال الظل التي تقع على الخلايا

بالرغم من استحالة تجنب الظل في الحقول الشمسية، وذلك لتغير موضع الشمس اللحظي، حيث يصل طول الظل إلى ما لا نهاية عند الشروق والغروب، ويكون أطول ما يكون في فصل الشتاء في النصف الشمالي للكرة الأرضية، إلا أنه من الممكن تقليله إلى

الحد الأدنى، وذلك بزيادة المسافة الفاصلة بين صفوف الحقل، وهذا الإجراء يتطلب عمل موازنة اقتصادية بين كلفة مساحة الحقل الإضافية لتجنب حدوث الظل مع الطاقة الإضافية المتحصل عليها من الحقل جراء هذه الزيادة في المساحة.

يمكن توزيع اللواقط الشمسية في الحقل الشمسي بثلاث طرق، وذلك اعتماداً على المتاح من المساحة وتضاريس قطعة الأرض المزمع إنشاء الحقل عليها، وهي كالتالي:

1-3-2 حقل مستوي: يمثل الشكل (8-2) مخططاً لحقل شمسي في مستوى أفقي. حيث تصطف الصفوف خلف بعضها البعض بمسافة فاصلة (V) وتميل اللواقط الشمسية جميعها بزاوية (S) وطول وعرض اللواقط الشمسية (λ)، (W)، على التوالي.



شكل (8-2) مخطط لحقل مستوي

تبيين المعادلة التالية ارتفاع ظل السطح الثاني (Y_{sh}) عند الزوال:

$$Y_{sh} = \frac{\lambda \left[\frac{\sin(S)}{\tan(\alpha)} + \cos(S) - \frac{V}{\lambda} \right]}{\left[\frac{1}{\tan(S)} + \frac{1}{\tan(\alpha)} \right]} \dots\dots\dots(2.12)$$

ويساوي طول ظل السطح الثاني (λ_{sh}):

$$\lambda_{sh} = \frac{Y_{sh}}{\sin(S)}$$

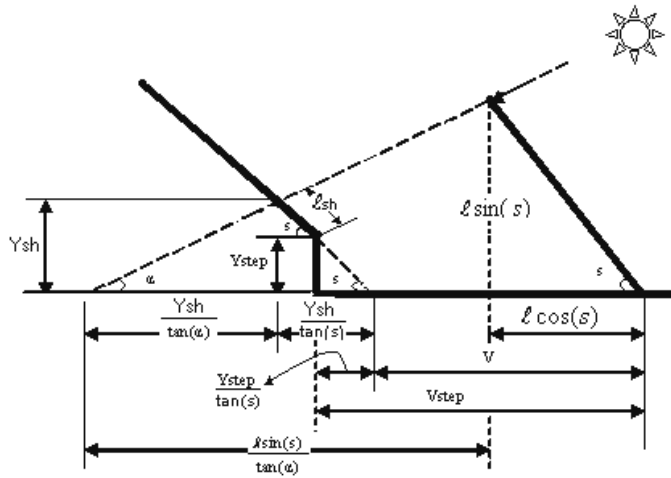
أذن، تكون معادلة مساحة ظل السطح الثاني في الحقل المستوي كما يلي:

$$A_{sh} = \lambda_{sh} \times w \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

وبهذا فإن نسبة البعد اللازم لتفادي سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني (V) إلى طول اللاقط الشمسي (λ) عند الزوال الشمسي، تكون على النحو الآتي:

$$\frac{V}{\lambda} = \frac{\sin(s)}{\tan(\alpha)} + \cos(s) \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

2-3-2 حقل مدرج: يمثل الشكل (9-2) مخططاً لحقل شمسي، حيث تصطف اللواقط الشمسية في صفوف خلف بعضها البعض ويرتفع الصف التالي عن الأمامي بارتفاع (Y_{step}) والمسافة الفاصلة بين الصفوف (V_{step}). ويلجأ المصممون إلى هذا الخيار في حالة عدم وجود مساحة كافية لترتيب مصفوفات الحقل، كتلك التي تركيب على أسطح المباني مثلاً.



شكل (9-2) مخطط لحقل مدرج

وطريقة عمل حساب وتقدير مساحة الظل هي نفسها في الحقول المستوية مع تغيير بسيط

في معادلة المسافة وطول ظل السطح الثاني كما يأتي:

$$V = V_{step} - \frac{Y_{step}}{\tan(S)} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

وسوف يحدث الظل عندما يكون ارتفاع الظل (Y_{sh}) اكبر من ارتفاع المدرج (Y_{step}) لذلك

$$\lambda_{sh} = \frac{(Y_{sh} - Y_{step})}{\sin(S)} \text{ : يكون طول ظل اللاقط:}$$

وبمعلومية ارتفاع المدرج (Y_{step}) تكون نسبة البعد اللازم لتقادي سقوط ظل السطح الأول

على السطح الثاني (V_{step}) إلى طول اللاقط الشمسي (λ) على النحو الآتي :

$$\frac{V_{step}}{\lambda} = \frac{\sin(s) - \frac{Y_{step}}{\lambda}}{\tan(\alpha)} + \cos(s) \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

وبمعلومية المسافة الفاصلة بين الصفوف (V_{step}) تكون نسبة الارتفاع اللازم لتقادي سقوط

ظل السطح الأول على السطح الثاني (Y_{step}) إلى طول اللاقط الشمسي (λ) على النحو

الآتي :

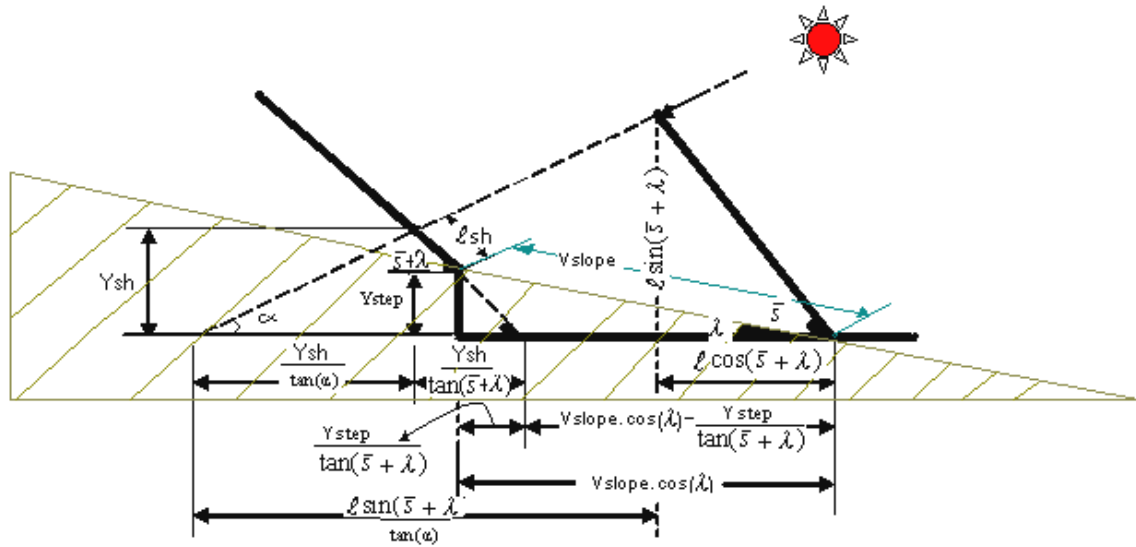
$$\frac{Y_{step}}{\lambda} = \sin(s) + \left[\cos(s) - \frac{V_{step}}{\lambda} \right] \tan \alpha \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

3-3-2 حقل مائل: وهو مناسب في حالة ما إذا كان هناك انحدار إلى جهة الجنوب في

سطح الأرض المزمع إنشاء الحقل فيها بزاوية (λ)، وبالتالي فإن زاوية ميل اللواقط

الشمسية بالنسبة لمستوى الأرض المنحدرة (s') بحيث يكون ($s = \lambda + s'$)، كما هو مبين

في الشكل (2-10).



شكل (10-2) مخطط لحقل مائل

وتعامل هذه الحقول بنفس طريقة الحقول المدرجة بحيث يكون:

$$V_{step} = V_{slope} \times \cos(\lambda) \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

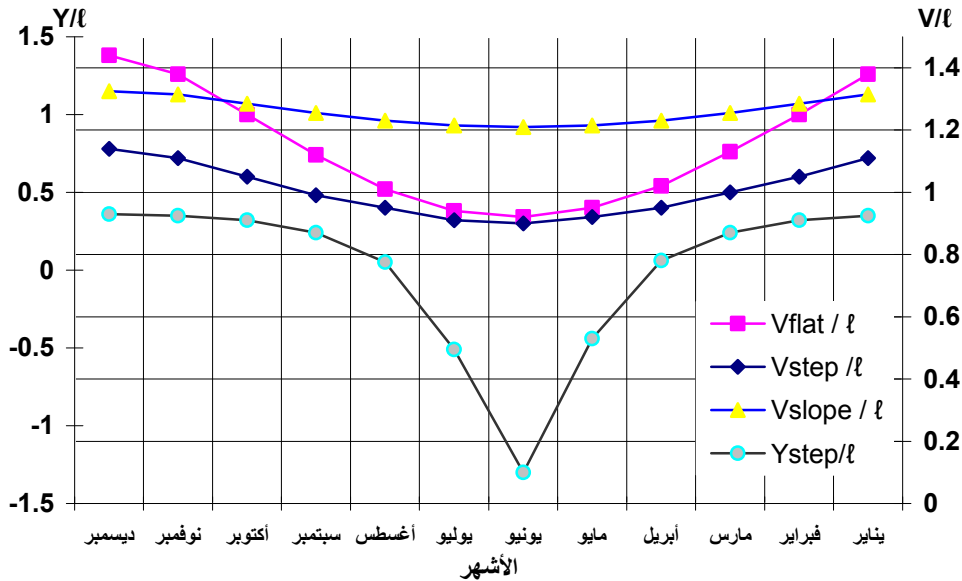
وارتفاع المدرج: $Y_{step} = V_{slope} \times \sin(\lambda)$

وبذلك فإن نسبة البعد اللازم لتفادي سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني (V_{slope})

إلى طول اللاقط الشمسي (λ) تكون على النحو الآتي:

$$\frac{V_{slope}}{\lambda} = \left[\frac{\sin(\bar{\sigma} + \lambda) - \frac{Y_{step}}{\lambda}}{\tan(\alpha)} + \cos(\bar{\sigma} + \lambda) \right] \cos(\lambda) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

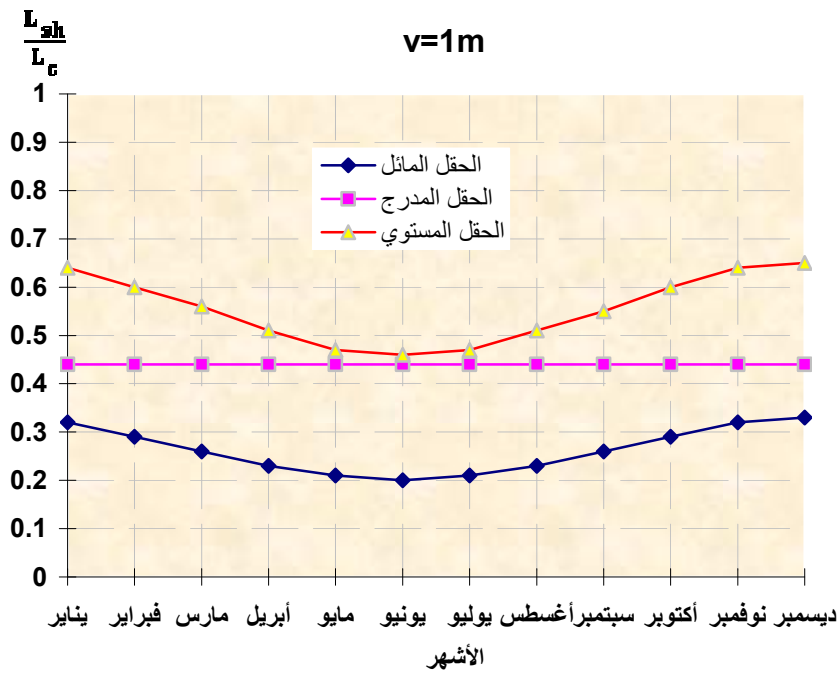
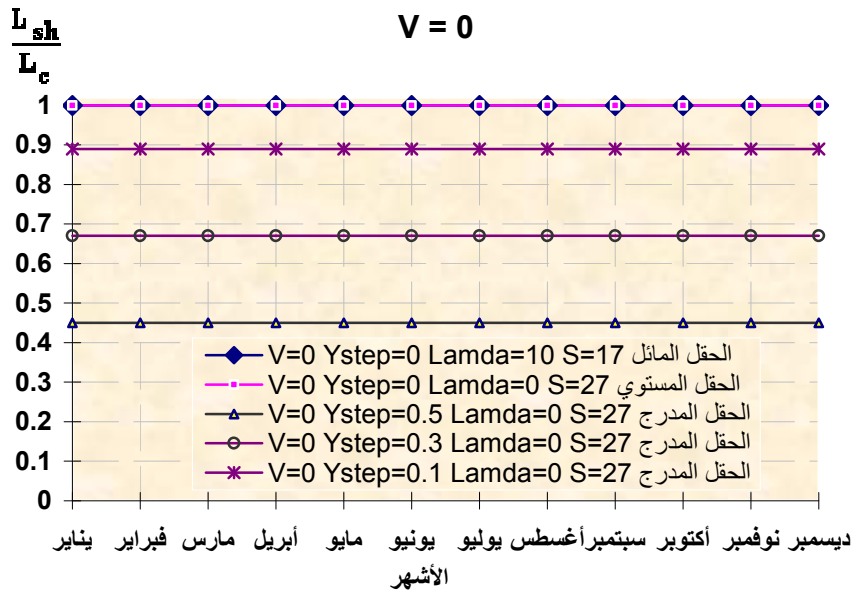
ومن البرنامج يمكن تمثيل علاقات نسبة أقل مسافة لتجنب سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني لجميع الحقول المذكورة أعلاه إلى طول اللاقط الشمسي (λ) ويوم 21 من كل شهر لمدينة سبها ($L = 27^\circ$) كما هو موضح بالشكل (11-2).

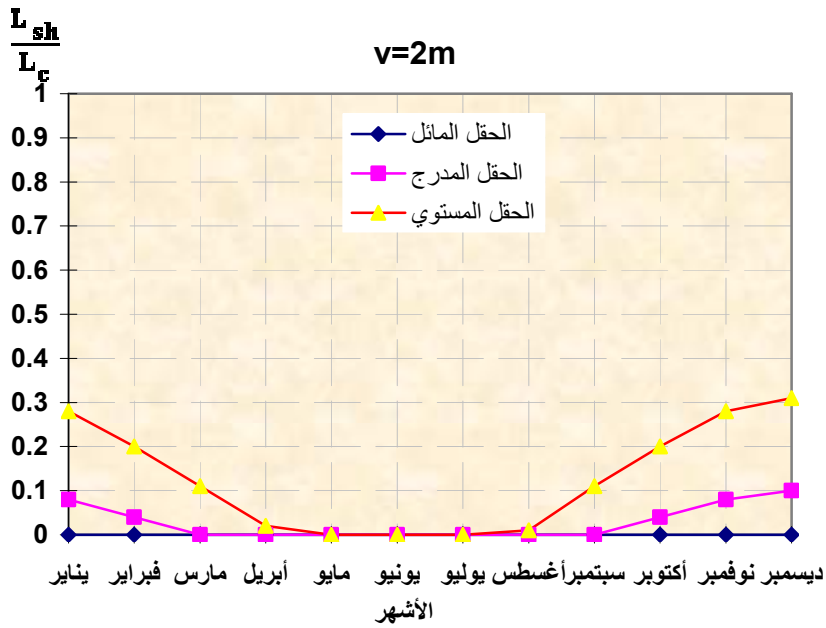
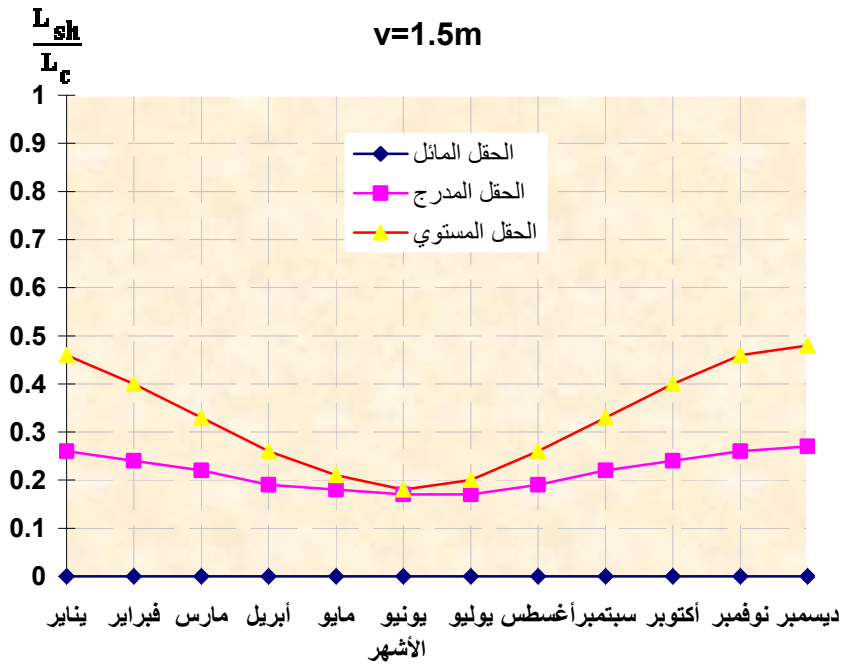


شكل (11-2) علاقات نسبة أقل مسافة لتجنب سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني (V) إلى طول اللاقط الشمسي (λ) وعلاقة نسبة الارتفاع اللازم لتفادي سقوط ظل السطح الأول على السطح الثاني (Y_{step}) إلى طول اللاقط الشمسي (λ) يوم 21 من كل شهر لمدينة سبها ($L = 27^\circ$) مفترض البيانات الآتية:

$$S = 27^\circ, \bar{s} = 17^\circ, V_{step} = 2m, \lambda = 2m, Y_{step} = 0.5m, \lambda = 10^\circ$$

وكذلك تمثيل نسبة المساحة المظللة إلى المساحة الكلية للاقط للحقول الثلاثة لأيام 21 من كل شهر عند الزوال الشمسي (12:00) كما مبين بالشكل (12-2).





شكل (12-2) علاقات نسبة طول اللاقط الشمسي المظلل (L_{sh}) إلى طول اللاقط الشمسي الكلي (L_c) لجميع الحقول ويوم 21 من كل شهر عند الزوال الشمسي (12:00) لمدينة سيها ($L=27^\circ$)

4-2 ملخص الفصل الثاني

من خلال دراسة الزوايا الشمسية وتمثيلها بيانياً مع الوقت، وجد أن زاوية ارتفاع الشمس (α) وزاوية اتجاه الشمس (ϕ)، لهما الأثر الواضح والمهم في عملية دراسة سلوك الظل، وتقييم إنتاجية الحقول الشمسية، كون الظل الناتج يعتمد على عدة عوامل أهمها هاتين الزاويتين المذكورتين أعلاه.

تم تمثيل الظل رياضياً لأنواع الحقول بصيغة واحدة وهي صيغة الحقل المستوي مع ورود بعض التغيير في المصطلحات المستخدمة في المعادلة.

وتم تمثيل علاقة نسبة أقل مسافة لتجنب ظل السطح الأول على السطح الثاني (V) إلى طول اللاقط الشمسي (l) لأيام 21 من كل شهر لمدينة سبها عند الزوال، للطرق المتبعة الثلاث لتوزيع اللاقطات الشمسية، ومن خلال التمثيل البياني يتبين إن أقل مسافة لتجنب الظل هي الحقل المدرج والمائل ثم المستوي، غير انه لا يجوز المفاضلة بينهما إلا بعد دراسة اقتصادية.

الفصل الثالث

التمثيل الرياضي للظل اللحظي

1-3 : المقدمة

2-3 : دراسة سلوك الظل اللحظي لسطح مائل على المستوي الأفقي

3-3 : دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقول المستوية

4-3 : دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقل المدرج

5-3 : دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقل المائل

6-3 : نتائج البرنامج

7-3 : مناقشة نتائج البرنامج

8-3 : ملخص الفصل الثالث

1-3 المقدمة

يعتبر هذا الفصل جديداً على ساحة البحث العلمي، كما دل عليه المسح المكتبي للمراجع والأبحاث في كل من: جامعة الفاتح- كلية الهندسة، مركز بحوث الطاقة الشمسية- طرابلس، المنظمة العالمية للطاقة- طرابلس، جامعة سبها- كلية العلوم الهندسية والتقنية، مركز بحوث الطاقة الشمسية - بغداد، جامعة النهريين - بغداد، الجامعة التكنولوجية - بغداد وكذلك لم تشر الشبكة الدولية للمعلومات من أي معلومات حول هذا الموضوع.

ويقدم هذا الفصل النموذج الرياضي لظل السطح المفرد على المستوي الأفقي وعلى السطح الذي يليه في الحقول الشمسية المستوية والمدرجة والمائلة.

2-3 دراسة سلوك الظل اللحظي لسطح مائل

يمثل الشكل (1-3) مخططاً لسطح شمسي في مستوى أفقي مائل بزاوية S ، تتراوح بين $0 < S \leq 90^\circ$ وبزاوية اتجاه ψ ، تتراوح بين $-90^\circ \leq \psi \leq +90^\circ$ على المستوى الأفقي في الإحداثيات الكارتيزية (X,Z) ، حيث تحدد النقاط المبينة في الشكل إحداثيات السطح والظل والزوايا على النحو الآتي:

S - زاوية ميل اللاقط الشمسي : \hat{ABH}

α - زاوية ارتفاع الشمس : \hat{AOE}

\overline{OE} - مسقط الشعاع الشمسي على المستوى الأفقي

ϕ - زاوية اتجاه الشمس : $E\hat{O}P$

\overline{OG} - مسقط اللاقط الشمسي على المستوي الأفقي

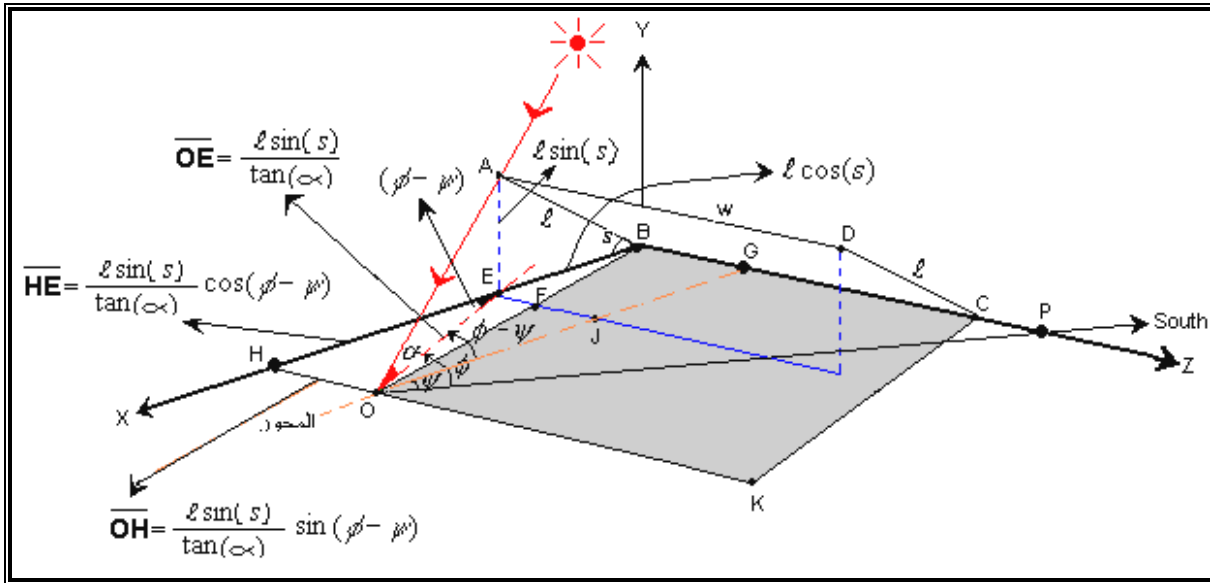
ψ - زاوية اتجاه اللاقط الشمسي : $G\hat{O}P$

W - عرض اللاقط الشمسي : \overline{AD}

λ - طول اللاقط الشمسي : \overline{DC}

A_c - مساحة اللاقط الشمسي : $\overline{BC} \times \overline{DC}$

A_{sh} - مساحة ظل اللاقط الشمسي : $\overline{OG} \times \overline{AD}$ (شكل متوازي أضلاع)



شكل (1-3) مخطط هندسي لمسطح شمسي وظله على مستوى أفقي

ومن الشكل (1-3) يمكن إشتقاق الأطوال السابقة على النحو الآتي:

$$\overline{EB} = \lambda \cos(s) \quad (3.1)$$

$$\overline{AE} = \lambda \sin(s) \quad (3.2)$$

$$\overline{OE} = \lambda \sin(s) / \tan(\alpha) \quad (3.3)$$

$$\overline{OH} = OE \sin(\phi - \psi) = \frac{\lambda \sin(s)}{\tan(\alpha)} \sin(\phi - \psi) \quad (3.4)$$

$$\overline{HE} = OE \cos(\phi - \psi) = \frac{\lambda \sin(s)}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) \quad (3.5)$$

$$OJ = HE$$

$$JG = EB$$

$$\overline{OG} = \overline{OJ} + \overline{JG} = \frac{\lambda \sin(s)}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) + \lambda \cos(s)$$

$$\overline{OG} = \lambda \left[\frac{\sin(s)}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) + \cos(s) \right] \quad (3.6)$$

وبهذا فإن إحداثيات ظل اللاقط الشمسي على المستوى الأفقي هي إحداثيات النقاط $KCOB$ ، وهي كالآتي:

$$(0,0) = B \text{ إحداثيات النقطة } B$$

$$(\overline{OG}, \overline{BG}) = O \text{ إحداثيات النقطة } O$$

$$(\overline{OG}, \overline{W} + \overline{OH}) = K \text{ إحداثيات النقطة } K$$

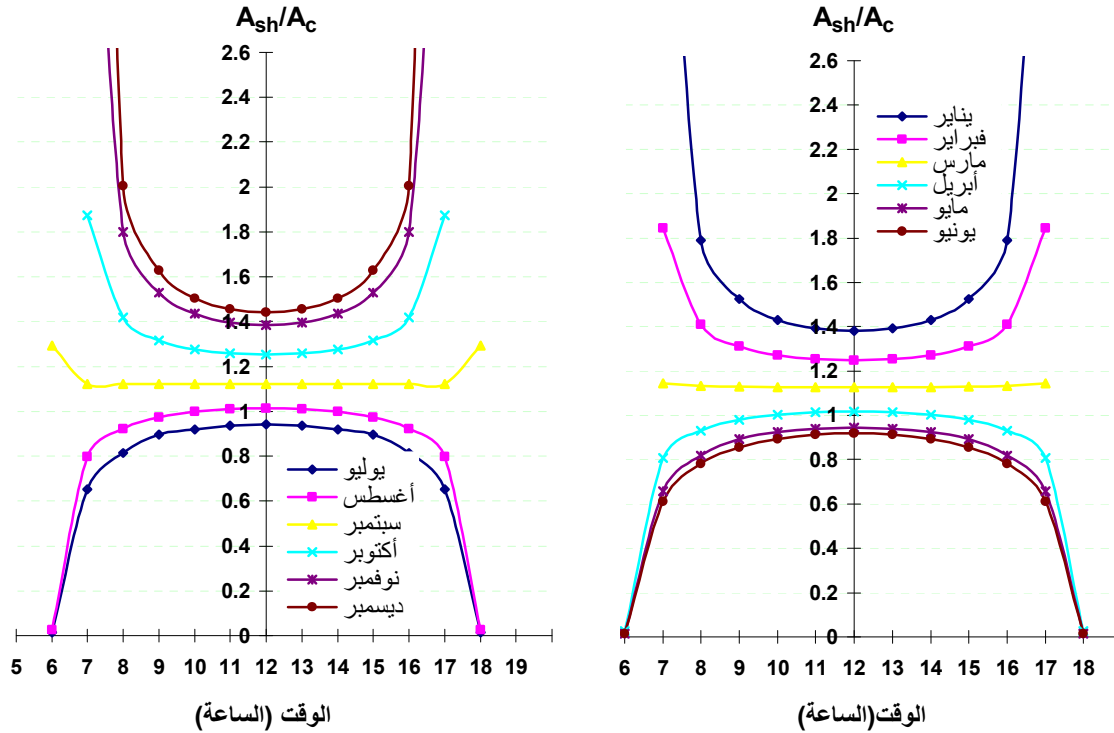
$$(0, \overline{W}) = C \text{ إحداثيات النقطة } C$$

شكل الظل المتكون هو عبارة عن متوازي أضلاع وبالتالي فإن مساحته ستكون حاصل ضرب

طول المستقيم \overline{BC} (والذي يمثل عرض اللاقط الشمسي (W)) في طول المستقيم \overline{OG} :

$$A_{sh} = W * \lambda * \cos(\phi - \psi) \left[\frac{\sin(s)}{\tan(\alpha)} + \frac{\cos(s)}{\cos(\phi - \psi)} \right] \quad (3.7)$$

مثلت النتائج المتحصل عليها من البرنامج بيانياً في الشكل (2-3) والذي يمثل نسبة المساحة المظللة إلى المساحة الكلية (A_{sh}/A_c) الساقطة على مستوى أفقي كعلاقة مع الزمن لأيام 21 لكل شهر لمدينة سبها (خط عرض $L=27^\circ$ ، وزاوية ميل المسطح $S=27^\circ$) الناتجة من مسطح شمسي واحد طولته (λ) 2m وعرضه (w) 4m.



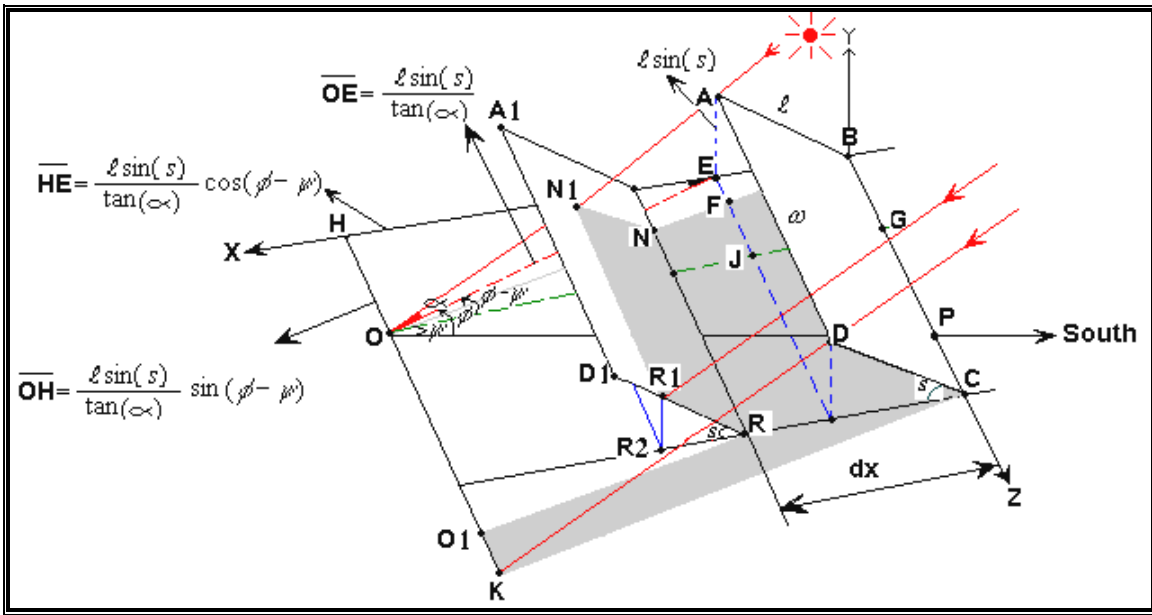
شكل (2-3) منحنيات نسبة المساحة المظللة على المستوي الأفقي الى المساحة الكلية للاقط الشمسي (A_{sh}/A_c) والزمن لأيام 21 لكل شهر لمدينة سبها ($w=4m, \ell=2m, S=27^\circ$).

3-3 دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقول المستوية.

إن الدراسة الواقعية للظل الساقط من سطح مائل بزاوية S تتراوح بين $0 < S \leq 90^\circ$

وبزاوية إتجاه ψ ، تتراوح بين $-90^\circ \leq \psi \leq +90^\circ$ على سطح آخر يميل ويتجه بنفس زاوية سطح الدليل في الإحداثيات الكارتيزية (X,Y,Z) ، وتكمن أهمية الموضوع في أنها تقدم المعطيات اللازمة التي يقوم على أساسها توزيع اللاقطات الشمسية في الحقل والتقييم الحقيقي لإنتاجية الحقل الشمسي وبالتالي يمكننا إجراء التقييم الاقتصادي للحقل.

تتمثل الصورة العامة لتوزيع اللواقط الشمسية في حقل في المستوى الكارتيزي (X,Y,Z) ، حيث تمثل المسافة dz بُعد اللاقط الشمسي عن اللاقط المجاور في اتجاه المحور Z ، بينما تمثل المسافة dx بُعد صف اللواقط الشمسية عن الصف الذي يليه في اتجاه المحور X ، كما هو مبين في الشكل (3-3).



شكل (3-3) مخطط الحالة العامة لتوزيع اللواقط الشمسية في حقل في المستوى الكارتيزي

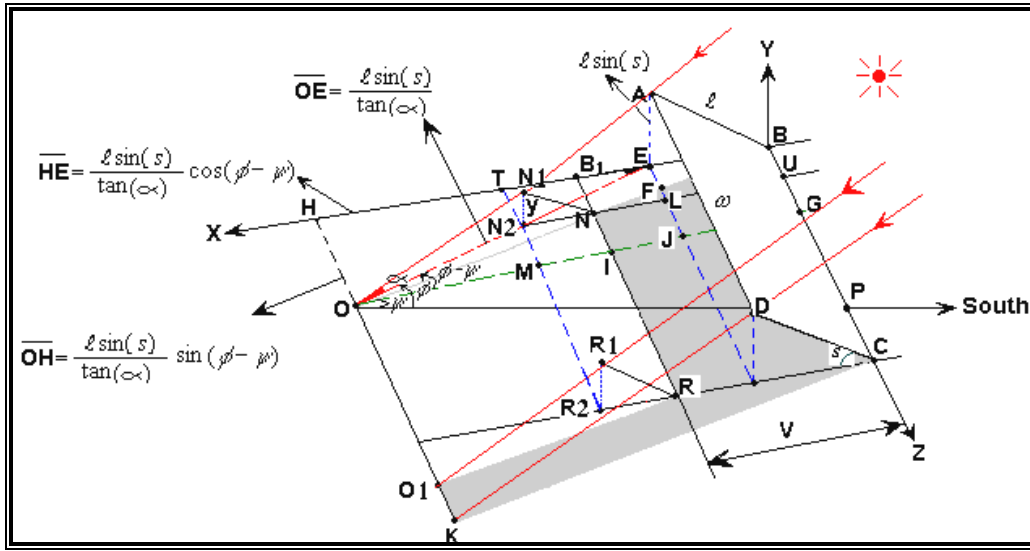
أما عن الصورة الخاصة لترتيب اللواقط الشمسية في الحقل فهي على النحو التالي:

- إذا كانت $dz=0$ ، فإن هذا الترتيب يُسمى بالترتيب الخطي (Inline arrangement).

- إذا كانت $dz=w$ ، فإن هذا الترتيب يُسمى بالترتيب الشطرنجي (Staggered arrangement).

بينما تُحدد المسافة الفاصلة بين الصفوف dx بالمتباينة التالية:

$$dx \geq l \cos(s) \quad (3.8)$$



شكل (4-3) مخطط هندسي يبين المسقط الأفقي لظل مسطحين شمسين

غير أننا في هذا البحث سوف نقوم بإعتماد الترتيب الخطي فقط بناءً على دراسة Nassar وآخرون [21] والتي أشار فيها إلى أن الترتيب الخطي يعتبر الترتيب المثالي في الحقول الشمسية من وجهة النظر الاقتصادية.

وبهذا فإن إحدائيات ظل اللواقط الشمسية على المستوى الأفقي المبينة بالشكل (4-3) هي إحدائيات النقاط الآتية:

$$ON_2 = \frac{y}{\tan \alpha} \quad (3.9)$$

$$MI = N_2N = \frac{y}{\tan(s)} \quad (3.10)$$

$$OM = ON_2 \cos(\phi - \psi) = \frac{y}{\tan \alpha} \cos(\phi - \psi) \quad (3.11)$$

$$N_2M = ON_2 \sin(\phi - \psi) = \frac{y}{\tan \alpha} \sin(\phi - \psi) \quad (3.12)$$

$$HB = HE + EB = OG \quad (3.13)$$

$$\mu = \tan^{-1}\left(\frac{OH}{OG}\right) \quad (3.14)$$

$$NB_1 = v. \tan(\mu) = v. \frac{OH}{OG} \quad (3.15)$$

$$N_1N = y/\sin(s) \quad (3.16)$$

$$Y_b = 0 \quad X_b = 0 \quad Z_b = 0 \quad \text{إحداثيات النقطة B هي:}$$

$$Y_n = 0 \quad X_n = V \quad Z_n = NB_1 \quad \text{إحداثيات النقطة N هي:}$$

$$Y_r = 0 \quad X_r = V \quad Z_r = w \quad \text{إحداثيات النقطة R هي:}$$

$$Y_o = 0 \quad X_o = OG \quad Z_o = OH \quad \text{إحداثيات النقطة O هي:}$$

$$Y_{r1} = Y_{n1} \quad X_{r1} = X_{n1} \quad Z_{r1} = w \quad \text{إحداثيات النقطة R_1 هي:}$$

$$Y_{o1} = 0 \quad X_{o1} = X_o \quad Z_{o1} = Z_o + OH \quad \text{إحداثيات النقطة O_1 هي:}$$

إحداثيات النقطة N_1 هي:

$$V + MI + OM = OG$$

$$V + y/\tan s + y/\tan \alpha \cos(\phi - \psi) = \lambda \left[\frac{\sin(s)}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) + \cos(s) \right]$$

$$\therefore Y_{N1} = \frac{\lambda \left[\frac{\sin(s)}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) + \cos(s) - \frac{V}{\lambda} \right]}{\left[\frac{1}{\tan s} + \frac{1}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) \right]} \quad (3.17)$$

$$X_{n1} = N_2 N + V = y / \tan(s) + V \quad (3.18)$$

$$Z_{n1} = N_2 T = OH - N_2 M = \left[\frac{\lambda \sin(s) - y}{\tan(\alpha)} \right] \sin(\phi - \psi) \quad (3.19)$$

$$R_1 R = \sqrt{(X_{r1} - X_r)^2 + (Y_{r1} - Y_r)^2 + (Z_{r1} - Z_r)^2} \quad (3.20)$$

$$N_1 R_1 = \sqrt{(X_{n1} - X_{r1})^2 + (Y_{n1} - Y_{r1})^2 + (Z_{n1} - Z_{r1})^2} \quad (3.21)$$

$$NR = \sqrt{(X_n - X_r)^2 + (Y_n - Y_r)^2 + (Z_n - Z_r)^2} \quad (3.22)$$

وبما إن شكل الظل على اللاقط الشمسي $R_1 R N N_1$ يشبه شبه المنحرف كما هو موضح بالشكل (3-3)، لذلك فإن مساحة الظل الناتجة (A_{sh})، تحسب كالآتي:

$$A_{sh} = \frac{R_1 R}{2} (N_1 R_1 + NR) \quad (3.23)$$

وتحسب المساحة الكلية للظل في حقل شمسي (A_{sht}) يتألف من عدة صفوف (n_{row}) كالآتي:

$$A_{sht} = A_{sh} \times (n_{row} - 1)$$

4-3 دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقل المدرج

يستخدم هذا النوع من الحقول في حالة عدم توفر مساحة كافية من الأرض كما هو الحال في

أسطح البنايات. وبنفس طريقة اشتقاق الحقول المستوية نستطيع حساب مساحة ظل السطح الثاني

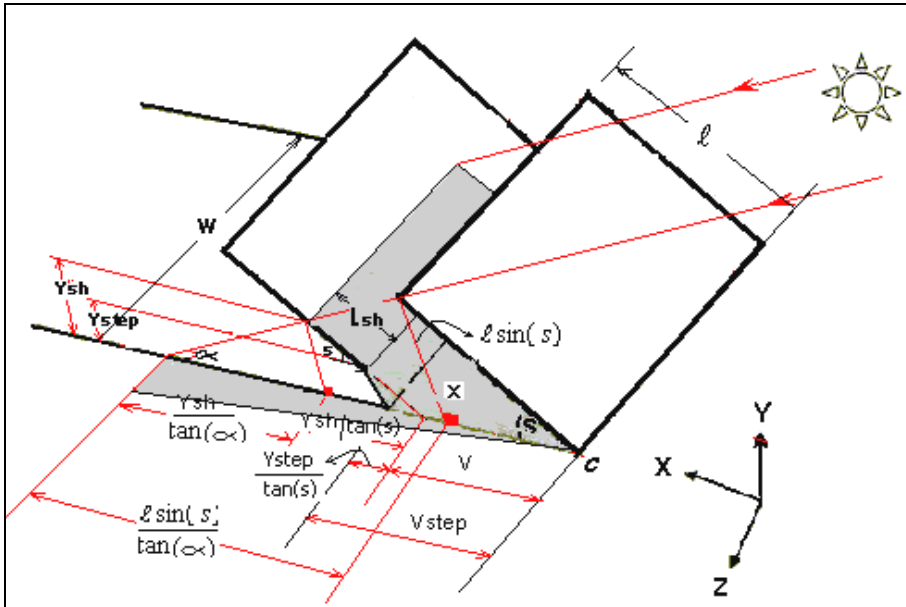
في الحقل المدرج مع تغيير في معادلة المسافة وطول ظل السطح الثاني كما هو مبين بالشكل (5-3):

$$Y_{sh} = \frac{\lambda \left[\frac{\sin(s)}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) + \cos(s) - \frac{V}{\lambda} \right]}{\left[\frac{1}{\tan s} + \frac{1}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) \right]} \quad (3.24)$$

$$V = V_{step} - \frac{Y_{step}}{\tan(S)} \quad (3.25)$$

$$\lambda_{sh} = \frac{(Y_{sh} - Y_{step})}{\sin(S)} \quad (3.26)$$

وسيقع الظل على الصف الثاني إذا كانت: $Y_{sh} > Y_{step}$



شكل (5-3) مخطط هندسي يبين ظل مسطحين شمسين في الحقل المدرج

5-3 دراسة سلوك الظل اللحظي في الحقل المائل

من الممكن استخدام هذا النوع في الأراضي التي تكون غير مستوية السطح كما هو الحال في الجبال والتلال حيث يمكن استخدام هذه الأرض مباشرة دون تمهيدها. وتحسب معادلة ارتفاع الظل وطول الظل للحقل المائل كما هو موضح بالشكل (6-3) كالاتي:

$$Y_{sh} = \frac{\lambda \left[\frac{\sin(s)}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) + \cos(s) - \frac{V}{\lambda} \right]}{\left[\frac{1}{\tan s} + \frac{1}{\tan(\alpha)} \cos(\phi - \psi) \right]} \quad (3.27)$$

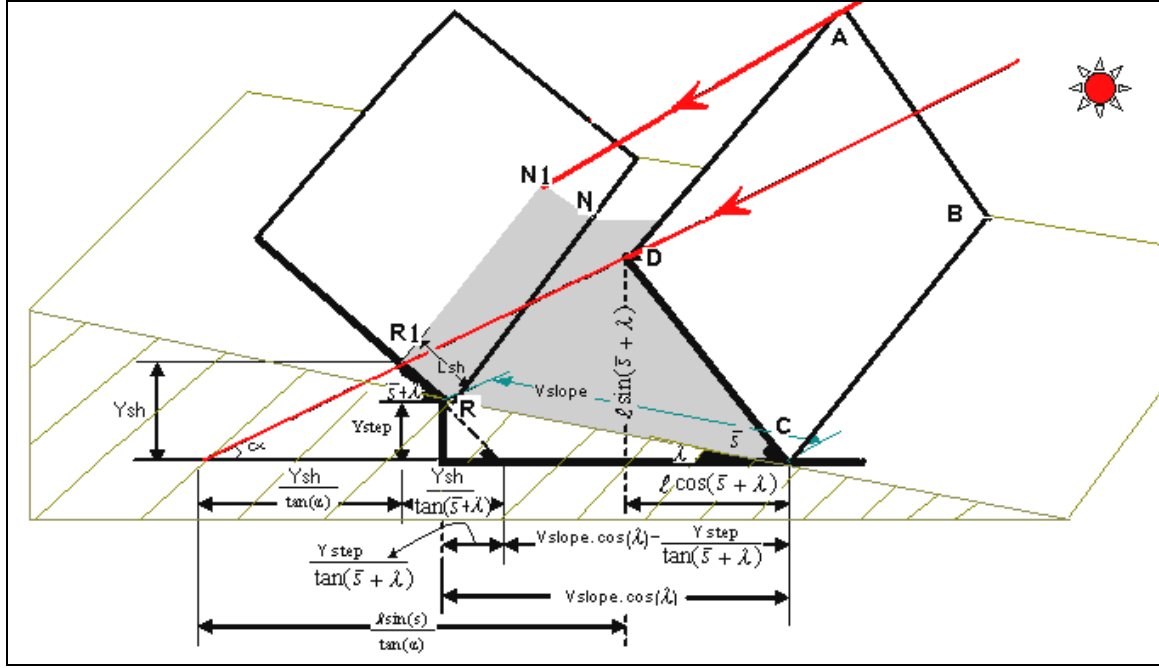
حيث $s = \bar{s} + \lambda$

$$V = V_{step} - \frac{Y_{step}}{\tan(S)} \quad (3.28)$$

$$Y_{step} = V_{slope} \times \sin(\lambda) \quad (3.29)$$

$$V_{step} = V_{slope} \times \cos(\lambda) \quad (3.30)$$

$$l_{sh} = \frac{(Y_{sh} - Y_{step})}{\sin(S)} \quad (3.31)$$



شكل (6-3) مخطط هندسي يبين ظل مسطحين شمسين في الحقل المائل

6-3 نتائج البرنامج

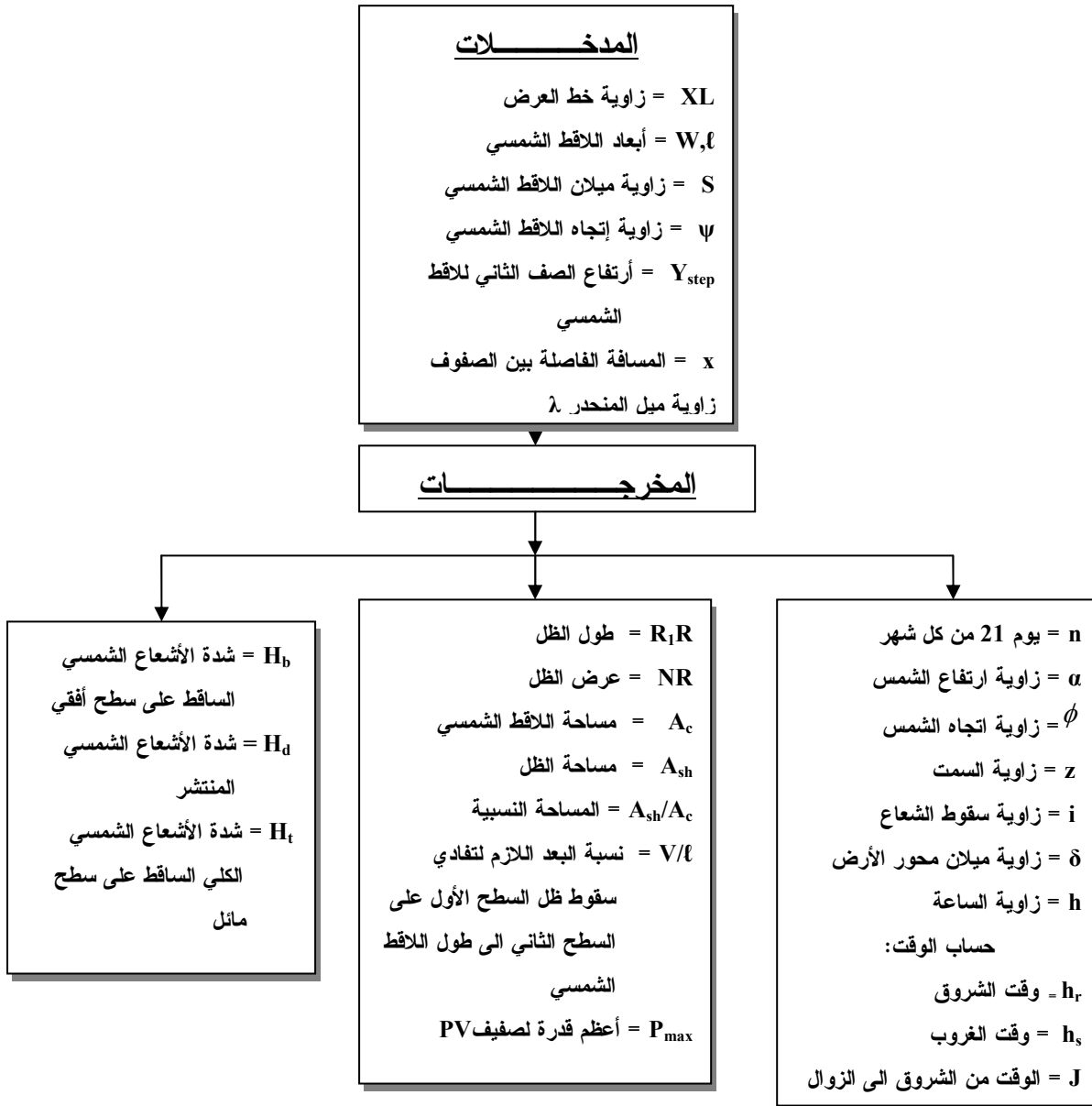
هذه الدراسة تعرض بعض النتائج المتحصل عليها من برنامج الحاسوب العام بلغة فورتران، والذي أنجز لتحديد تأثير متغيرات اللاقط والحقل على الظل $(L_c, W_c, S, \psi, V, Y_{step}, \lambda)$ ، وذلك بحساب جميع الزوايا الشمسية على مدار السنة ومن ساعات الشروق الى ساعات الغروب وكذلك يحسب طول، عرض، ارتفاع ومساحة الظل... الخ كما هو مبين بمخطط عمليات البرنامج شكل (7-3) ومثلت النتائج كنسبة مساحة ظل اللاقط إلى المساحة الكلية للاقط مع الزمن لأيام 21 من كل شهر لمدينة سبها- الجماهيرية، التي تقع $(27^\circ N, 14.5^\circ E)$.

ويمكن للبرنامج أن يحسب إحداثيات الظل لأنواع التالية:

١. ظل لاقط على لاقط آخر بنفس المتغيرات في الحقل المستوي.

٢. ظل لاقط على لاقط آخر بنفس المتغيرات في الحقل المدرج.

٣. ظل لاقط على لاقط آخر بنفس المتغيرات في الحقل المائل.



شكل (7-3) مخطط عمليات البرنامج

7-3 مناقشة نتائج البرنامج

من النتائج المتحصل عليها لمدينة سبها (خط عرض $L = 27^\circ$ ، وزاوية ميل

المسطح $S = 27^\circ$) يمكن توضيح الآتي:

١. يوضح الشكل (a-8-3) المساحة النسبية A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن لأيام 21 لكل شهر،

والمتغيرات الثابتة هي $L_c = 2 m$ ، $\psi = 0$ ، $W_c = 4m$ ، والمتغيرات المتغيرة هي

المسافة الفاصلة بين الصفوف) V (1,1.5,2m)، والشكل (b-8-3) بنفس المتغيرات

الثابتة والمتغيرة للشكل (a-8-3) عدا $W_c = 150 m$ ، حيث تعتبر المسافة الفاصلة بين

الصفوف V (العامل الحرج والمهم في تظليل اللاقط. يؤدي زيادة) V (إلى تقليل

الظل. وهذا مهم في عملية تصميم الحقول ذات الأراضي المحدودة، والانتباه إلى أقل

مسافة تفصل بين الصفوف وهي $(V \geq l \cos(s))$.

٢. يوضح الشكل (9-3) المساحة النسبية A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات

الثابتة هي $L_c = 2 m$ ، $\psi = 0$ ، $W_c = 150 m$ ، والمتغيرات المتغيرة هي المسافة

الفاصلة بين الصفوف) V (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6 m) وبزاوية ميلان متغيرة هي

(S) (5, 30, 50, 90)، حيث عندما تكون المسافة الفاصلة $V = L_c \times \cos(s)$ تكون

العلاقة طردية بمعنى زيادة زاوية ميلان اللاقط يسبب زيادة في مساحة الظل كما هو مبين

بالشكل (10-3)، أما عندما تكون المسافة الفاصلة أكبر من ذلك فإن هذه العلاقة إلى حد ما

ستكون غير صحيحة كما موضح بالشكل ((a-11-3),(b-11-3),(c-11-3))، حيث إن

المساحة النسبية) A_{sh}/A_c (ليست دالة صريحة في زاوية الميلان إنما تعتمد على نسبة المسافة الفاصلة بين الصفوف إلى طول اللاقط الشمسي V/L_c ، والزمن كدالة في زاوية إرتفاع الشمس (α) .

٣. يوضح الشكل (12-3) المساحة النسبية) A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة هي $W_c = 150 m$ ، $S = 27^\circ$ ، $L_c = 2 m$ ، والمتغيرات المتغيرة هي المسافة الفاصلة بين الصفوف (V) (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6 m) وبزاوية اتجاه لاقط (ψ) (0,-20,-30,+30) تشير الإشارة السالبة إلى الشرق والإشارة الموجبة إلى اتجاه الغرب، غالباً ما توجه اللاقطات الشمسية في الحقول الشمسية، إلى اتجاه الجنوب (في النصف الشمالي للكرة الأرضية) $\psi = 0$. عندما $\psi < 0$ سوف يحدث انخفاض في الظل في فترة الصباح لكن يحدث استطالة للظل عند فترة المساء، والعكس صحيح عندما $\psi > 0$.

٤. يوضح الشكل (13-3) المساحة النسبية) A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة هي $W_c = 150 m$ ، $\psi = 0$ ، $S = 27^\circ$ ، والمتغيرات المتغيرة هي المسافة الفاصلة بين الصفوف (V) (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6 m) وطول اللاقط أو طول الصف متغيرة L_c (2, 4, 8, 10 m)، حيث زيادة ارتفاع الصف (أو طول اللاقط الشمسي L_c) يسبب زيادة في التظليل.

٥. يوضح الشكل (14-3) المساحة النسبية) A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة هي $L_c = 2 m$ ، $S = 27^\circ$ ، $\psi = 0$ ، والمتغيرات المتغيرة هي المسافة الفاصلة بين

الصفوف (V) (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6 m)، وعرض الصف W_c أو عرض اللاقط متغير (2, 5, 25, 50)، حيث طول الصف له تأثير قليل على الظل، عندما تكون $W_c < 25 m$ () تنتج زيادة في مساحة الظل مع الزمن! ويرجع ذلك إلى إن جزء من هذا الظل يقع خارج اللاقط عند الصباح والمساء وبزيادة طول الصف ($W_c > 25 m$) يمكن إهمال تأثير الظل. أذن الزيادة في مساحة اللاقطات في اتجاه عرض اللاقط W_c أفضل من الزيادة في اتجاه الطول.

٦. يوضح الشكل (15-3) المساحة النسبية A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة هي $W_c = 150 m$ ، $\psi = 0$ ، $S = 27^\circ$ ، $L_c = 2 m$) والمسافة الفاصلة بين الصفوف (V) (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6 m) ومسافة ارتفاع الحقل المدرج متغيرة (Y_{step}) (0, 0.1, 0.3, 0.5 m)، حيث في الحقول المدرجة يقل الظل بزيادة Y_{step} ()

٧. يوضح الشكل (16-3) المساحة النسبية A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة هي $W_c = 150 m$ ، $L_c = 2 m$ ، $S = 27^\circ$ ، $V = 2 m$ ، $\psi = 0$)، والمتغيرات المتغيرة هي زاوية ميلان المنحدر (λ) في الحقل المائل، حيث يقل الظل بزيادة زاوية ميل المنحدر (λ) ()

٨. يوضح الشكل (17-3) المساحة النسبية A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة هي $W_c = 150 m$ ، $L_c = 2 m$ ، $S = 27^\circ$ ، $V = 2 m$ ، $Y_{step} = 0$ ، $\psi = 0$) في الحقل المستوي.

٩. يوضح الشكل (18-3) المساحة النسبية A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة

هي حالة $Y_{step} = 0.1m, \psi = 0, W_c = 150m, L_c = 2m, S = 27^\circ, V_{step} = 2m$ الحقل المدرج.

١٠. يوضح الشكل (19-3) المساحة النسبية A_{sh}/A_c (كدالة في الزمن، والمتغيرات الثابتة

هي $Y_{step} = 0, \psi = 0, W_c = 150m, L_c = 2m, S = 27^\circ, V = 2m$ ، والمتغيرات المتغيرة

هي زاوية خط العرض (L)، يوضح الشكل إنه كلما كان موقع الحقل بعيد عن خط

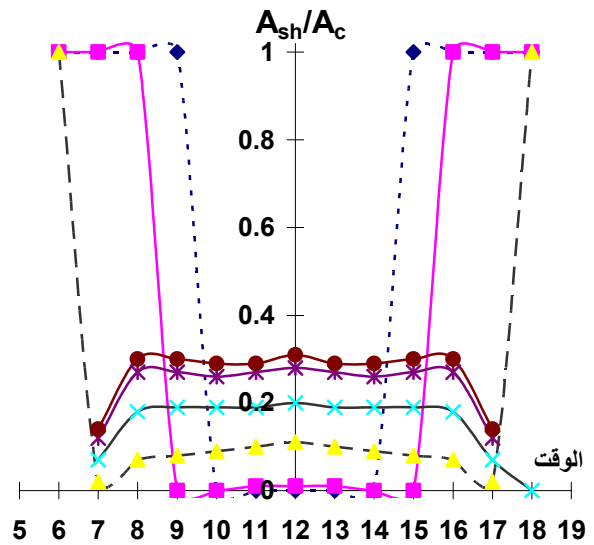
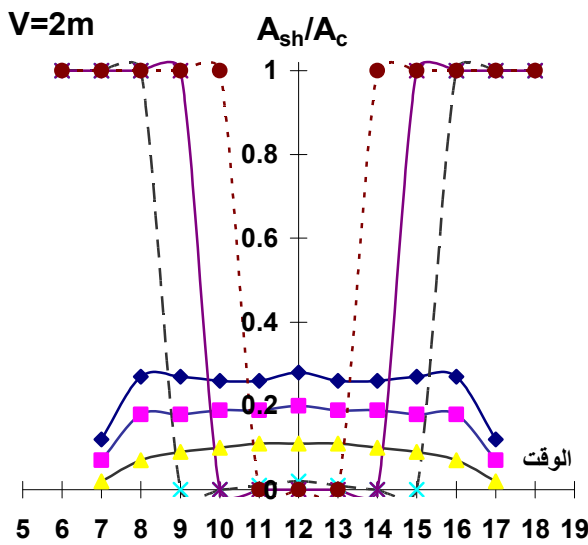
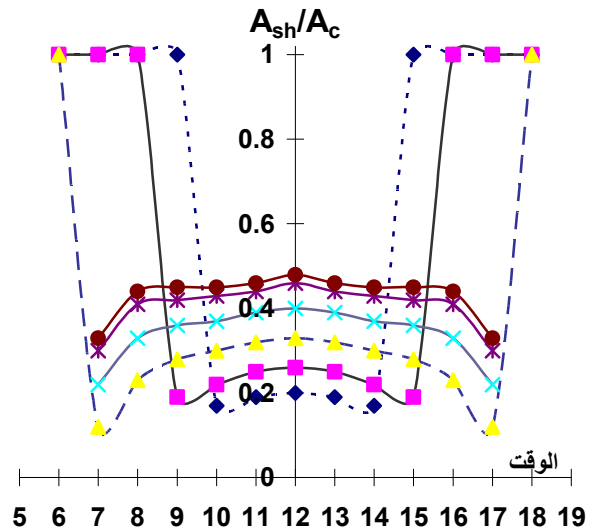
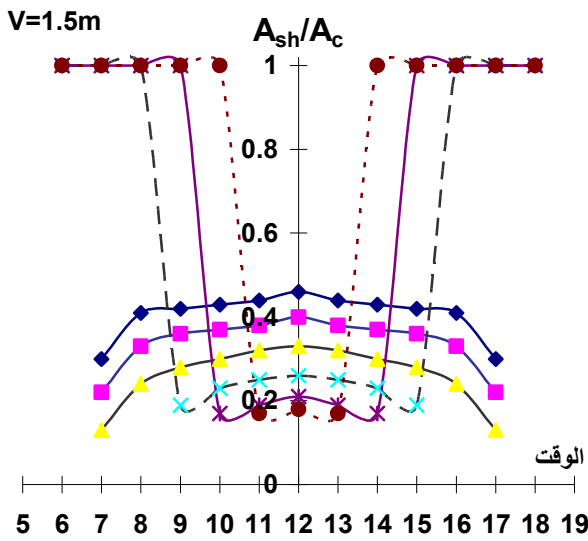
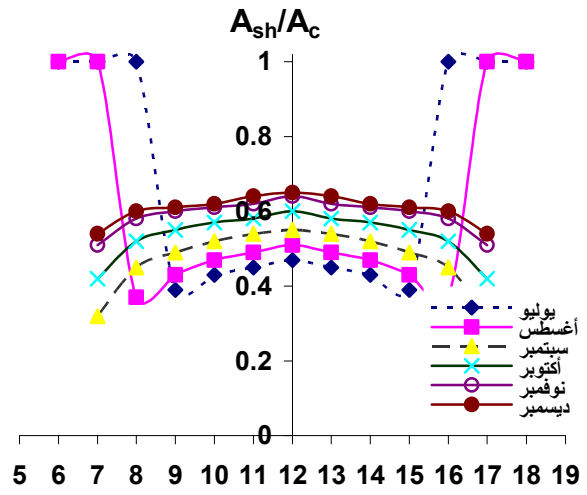
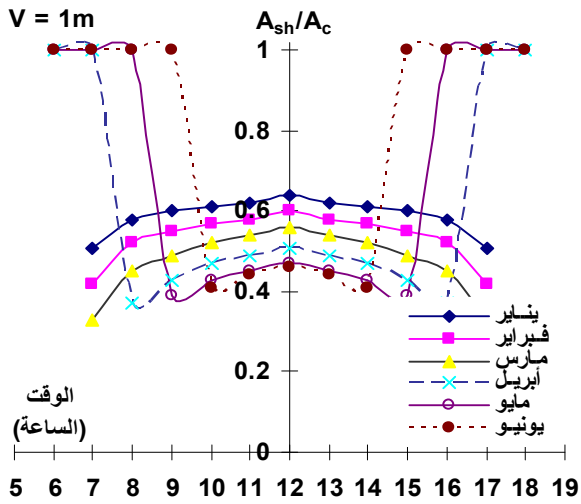
الاستواء كلما زاد الظل، حيث يعتبر الموقع الجغرافي للحقل الشمسي له الأثر البالغ على

المساحة النسبية.

على اية حال، تحدد الحسابات الاقتصادية المسافة الفاصلة بين الصفوف ومسافة ارتفاع

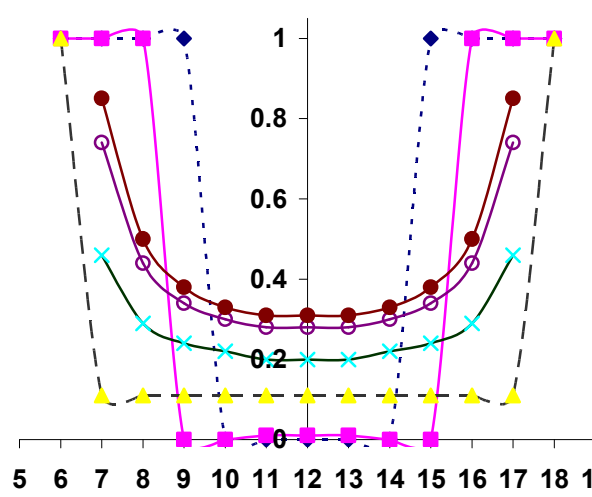
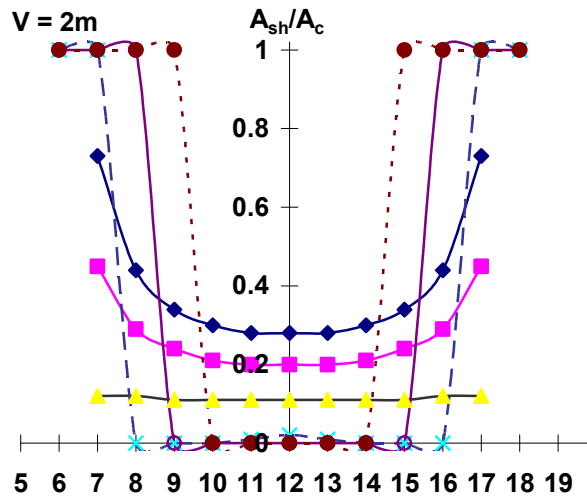
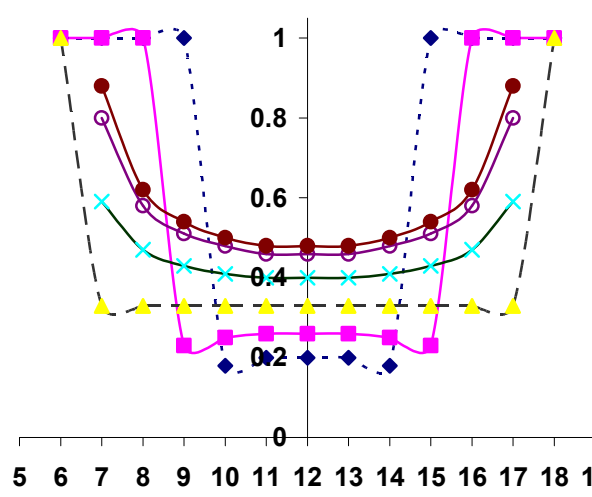
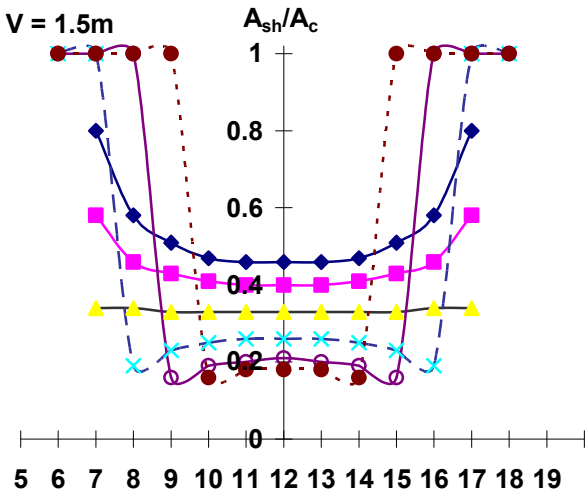
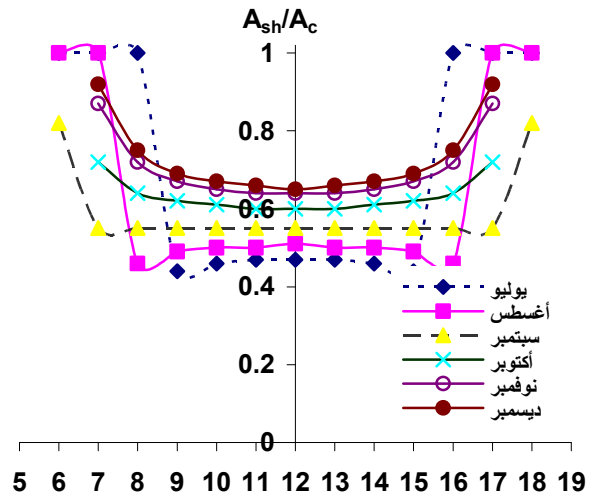
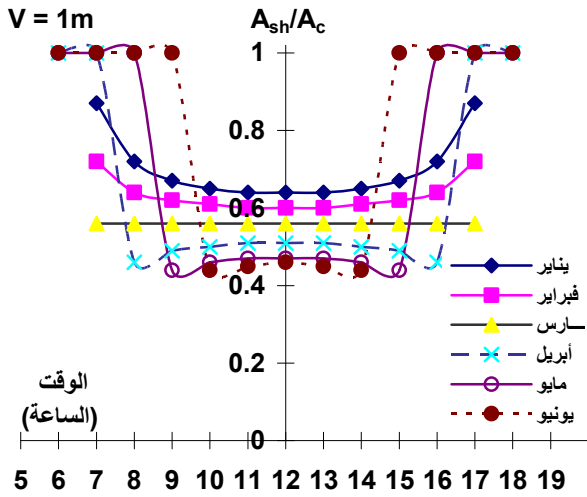
المدرج في الحقل المدرج. وتقع نقطة تصميم بين العامل الاقتصادي والطاقي والذي تُحدد

رياضياً.

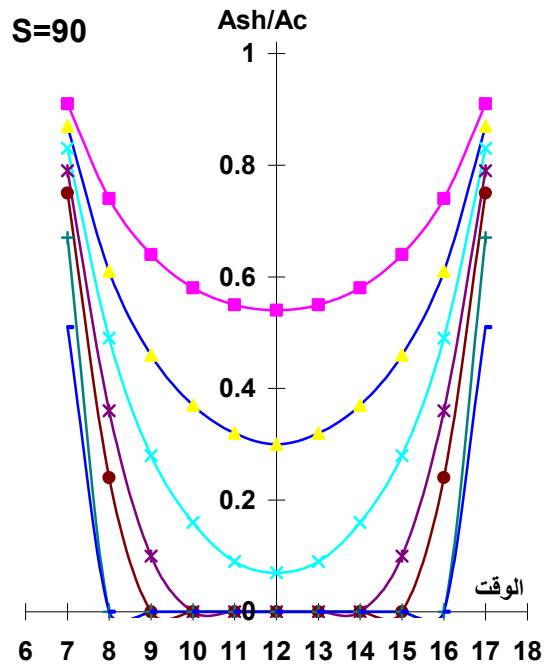
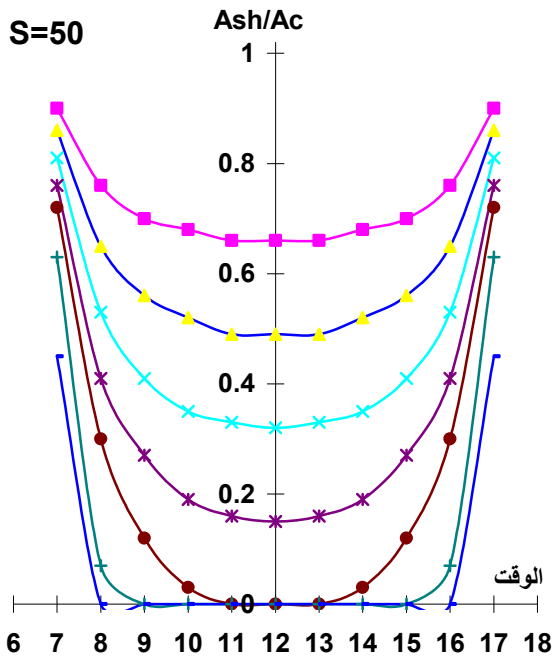
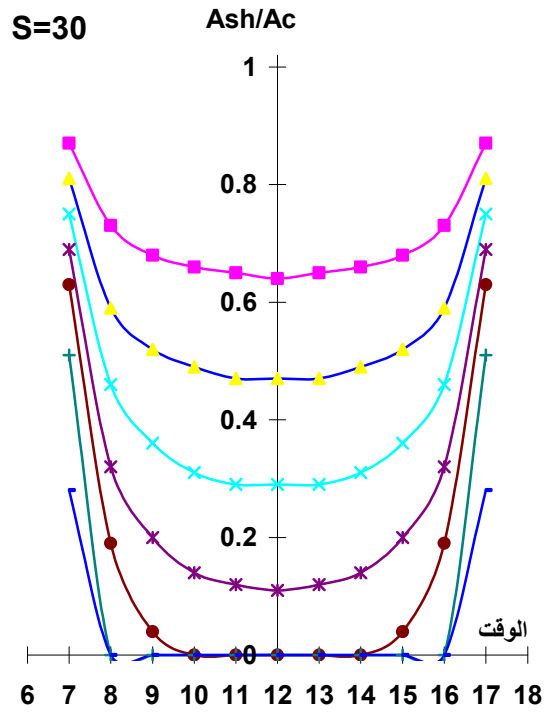
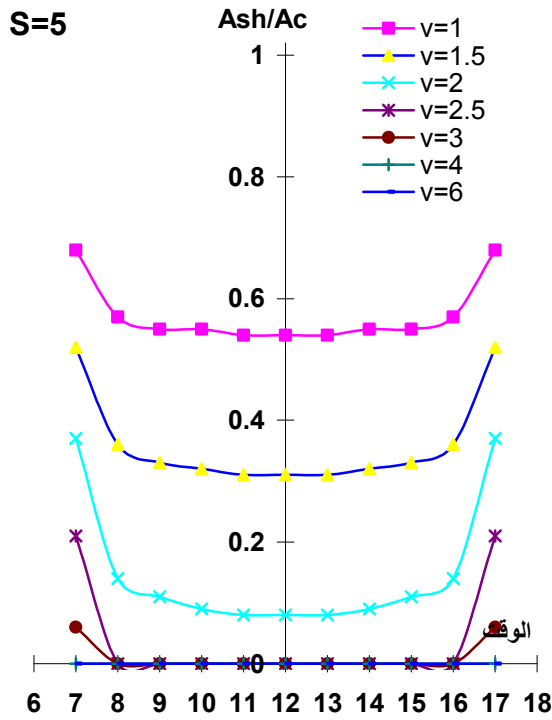


شكل (a-8-3) المساحة النسبية: $W_c = 4m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير V و n يوم

21 من كل شهر

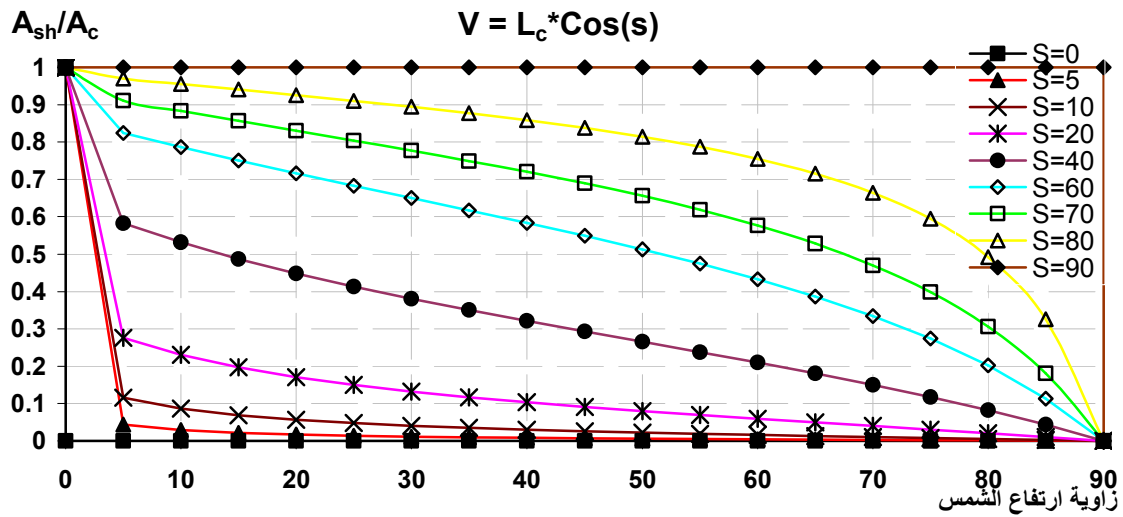


شكل (b-8-3) المساحة النسبية: $W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ$ والمتغير V و n يوم 21 من كل شهر

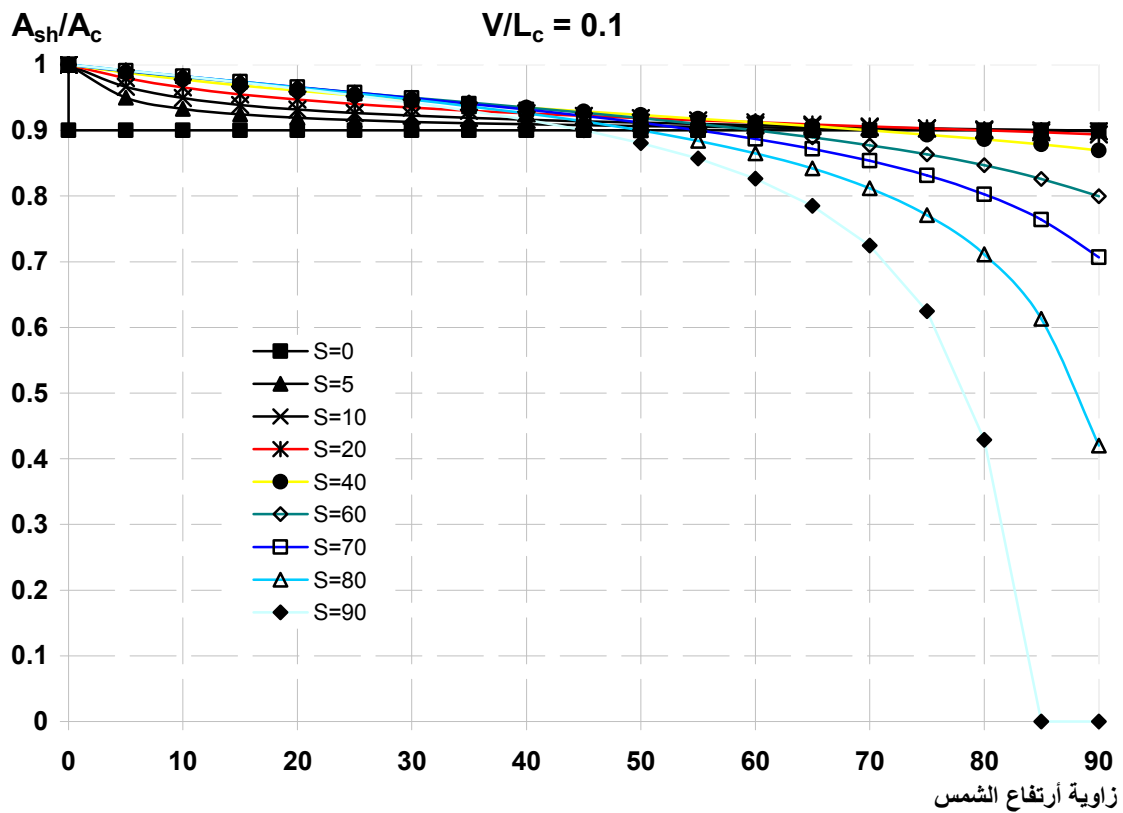


الشكل (9-3) المساحة النسبية: $W_c = 150 m$, $\psi = 0$, $L_c = 2 m$, والمتغير V , S

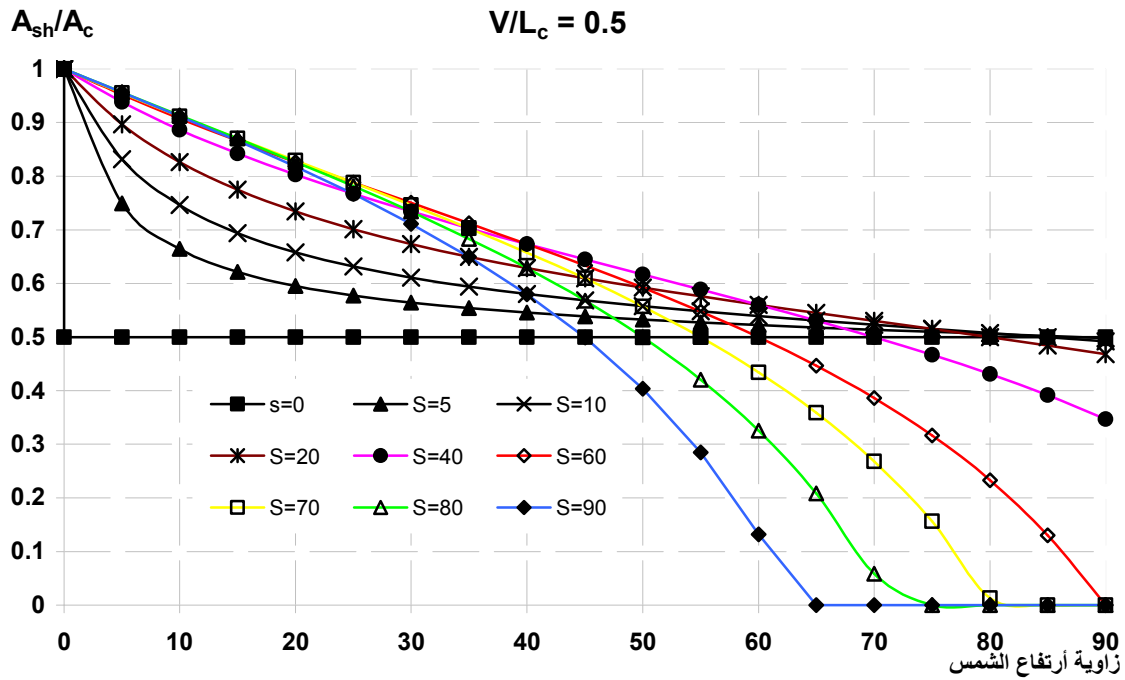
يناير 21 ليوم



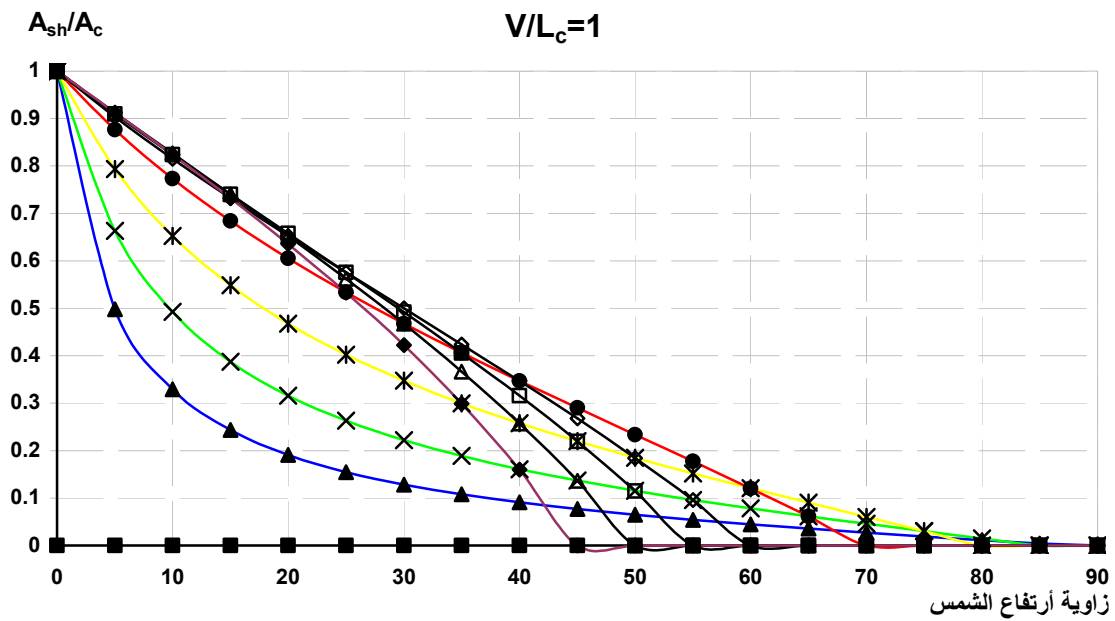
الشكل (10-3) المساحة النسبية: $V = L_c \times \cos(s), \psi = 0, L_c = 2 \text{ m}, W_c = 150 \text{ m}$ والمتغير S



(a)



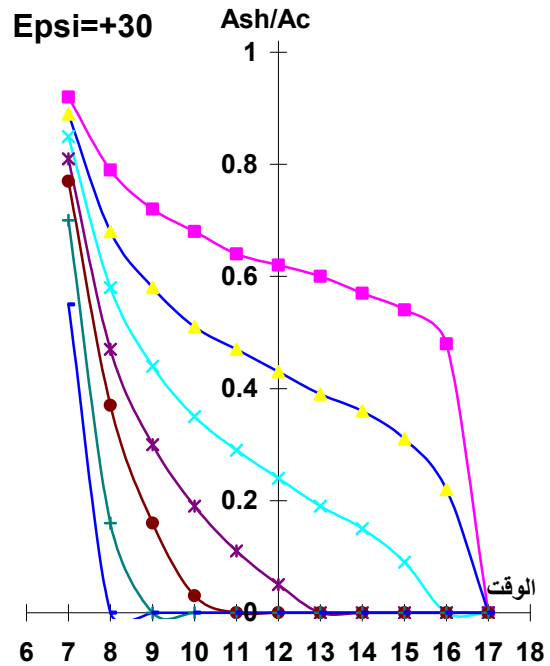
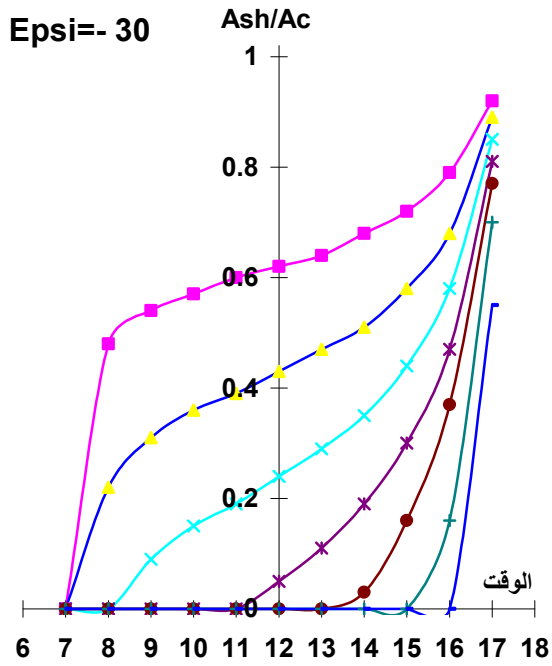
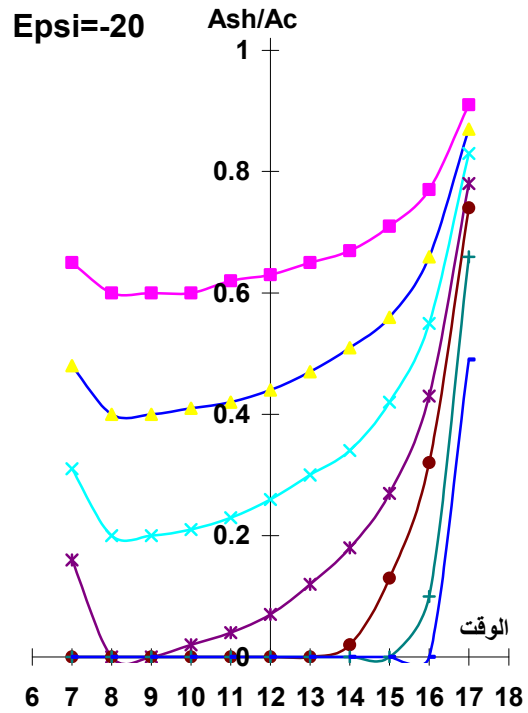
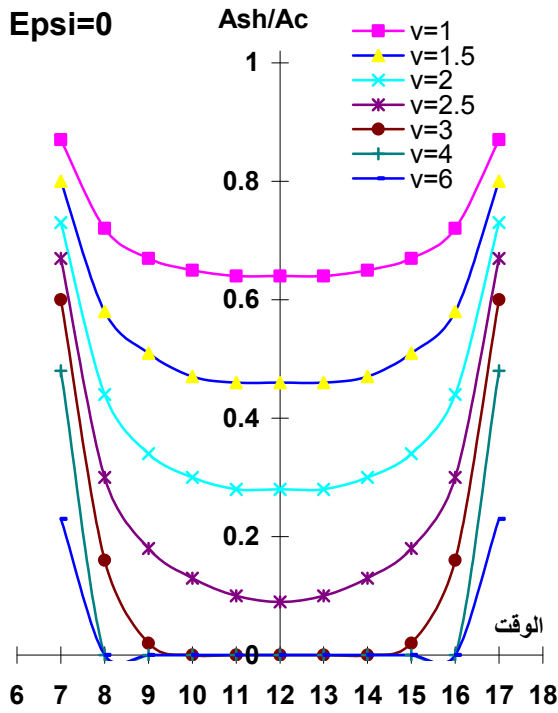
(b)



(c)

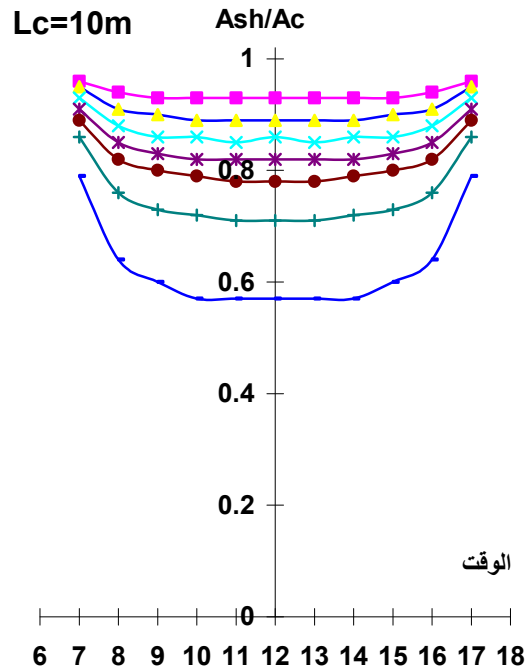
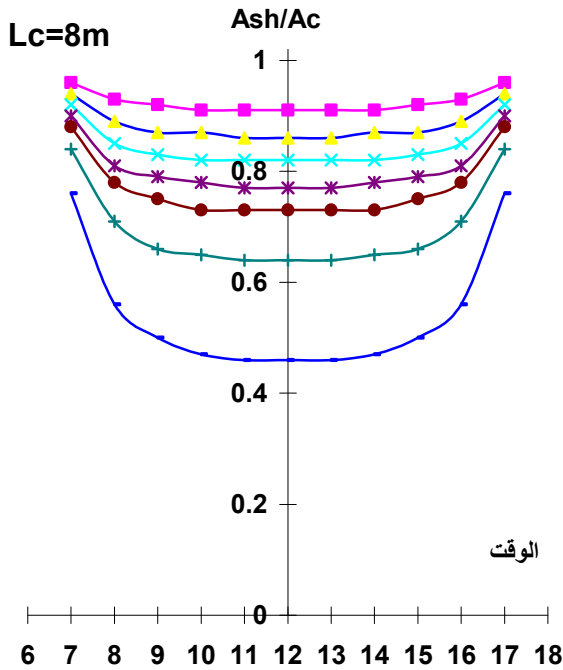
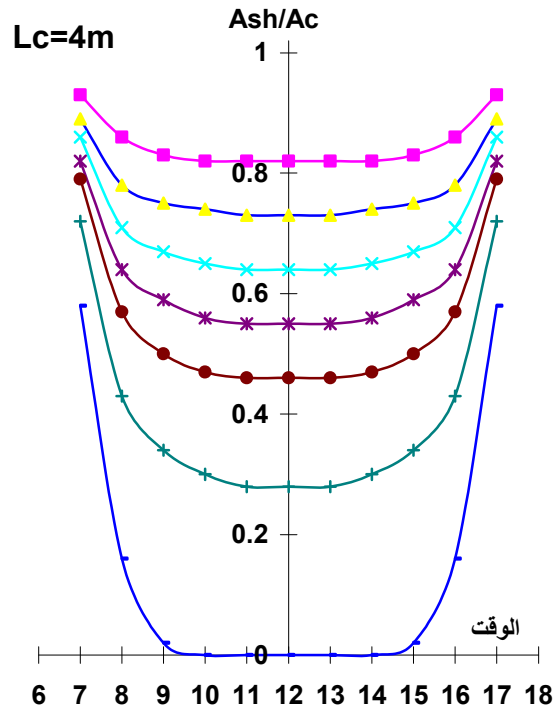
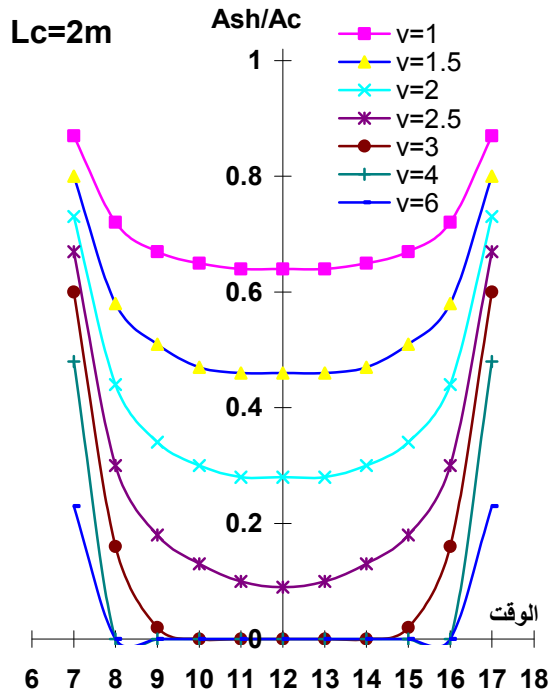
الشكل (11-3) المساحة النسبية: $L_c = 2 m, W_c = 150 m, \psi = 0$,

$$S, \frac{V}{L_c} \text{ والمتغير}$$



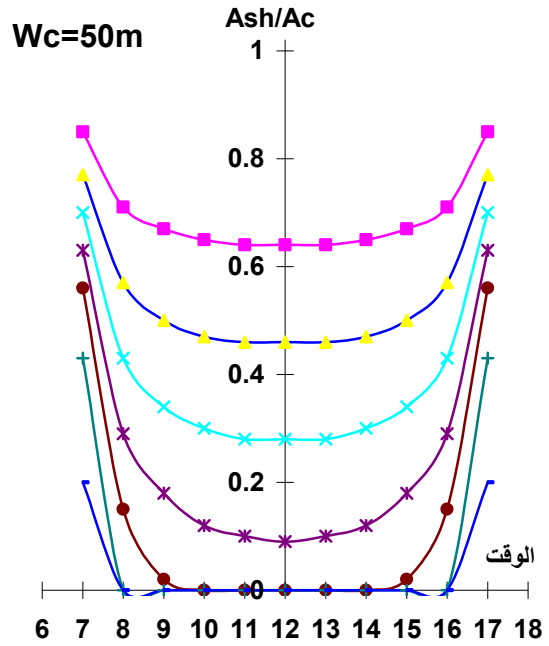
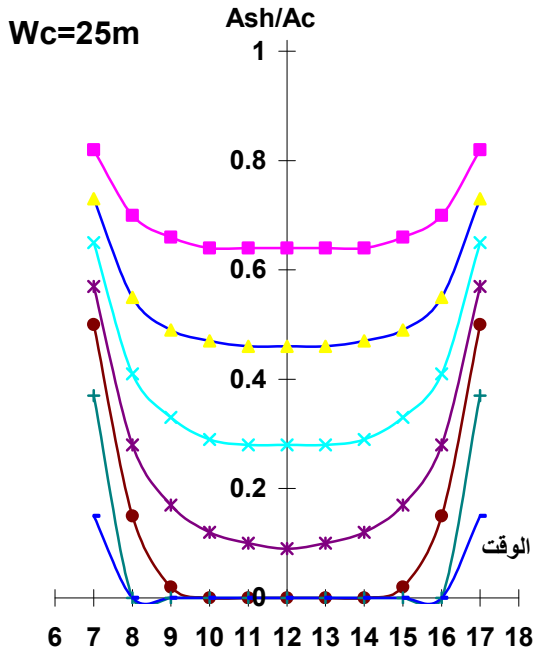
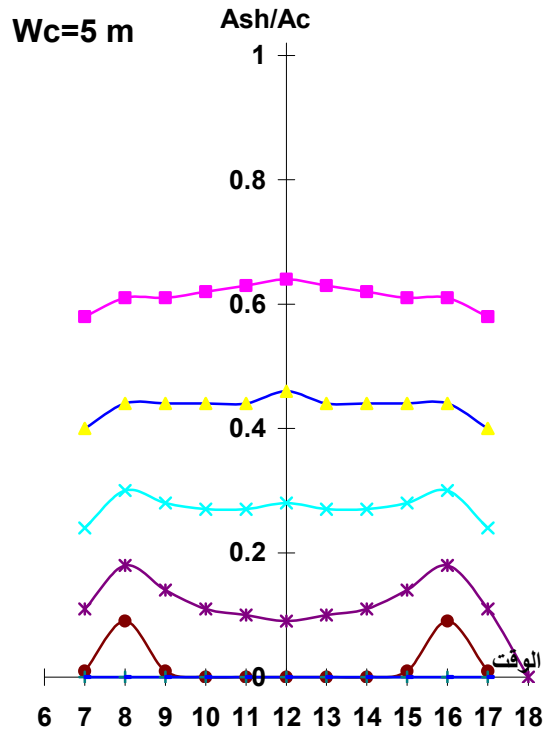
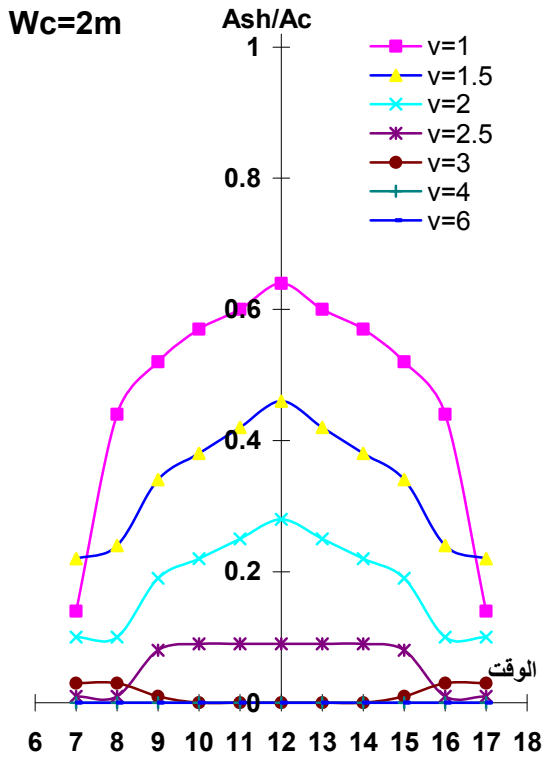
الشكل (12-3) المساحة النسبية: $S = 27^\circ, L_c = 2 m, W_c = 150 m$ والمتغير V, ψ

يناير 21 ليوم



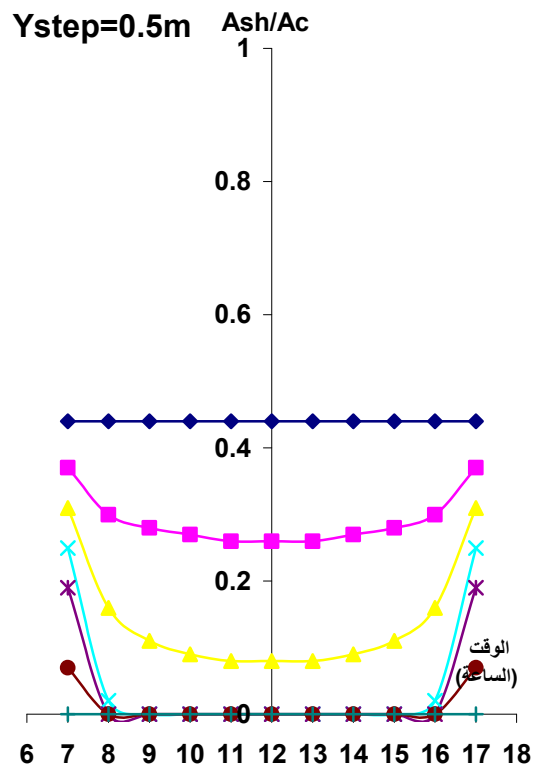
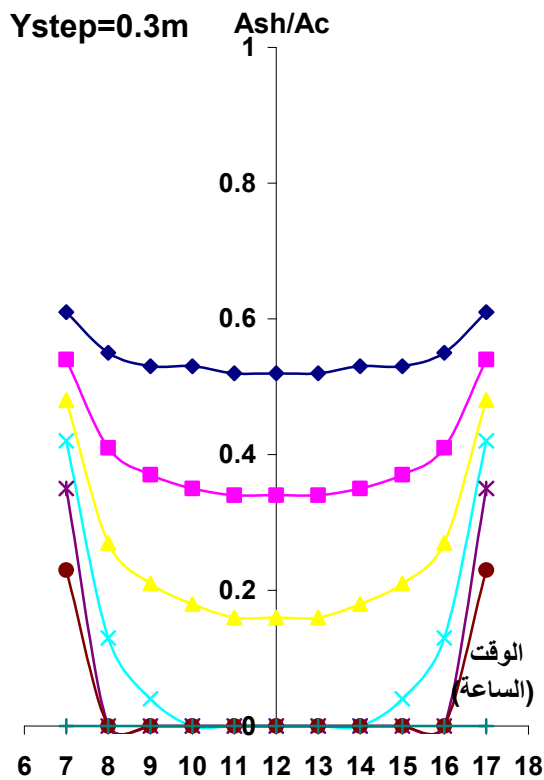
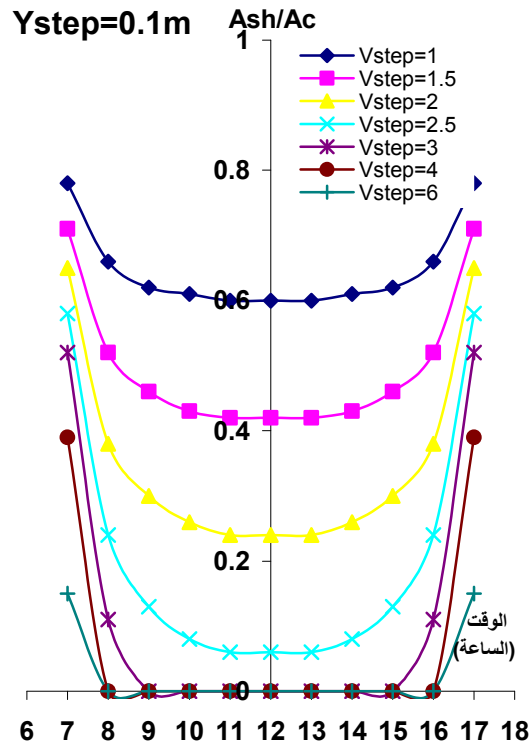
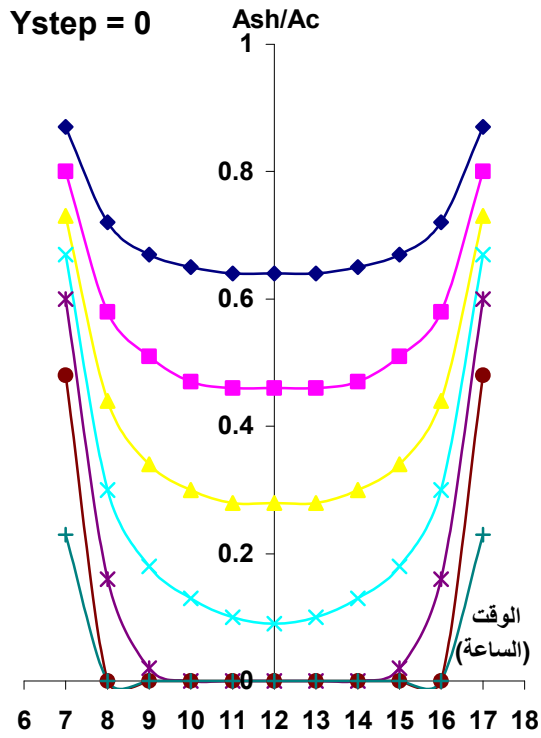
الشكل (13-3) المساحة النسبية: $W_c = 150 m$, $\psi = 0$, $S = 27^\circ$ والمتغير V, L_c

يناير 21 ليوم



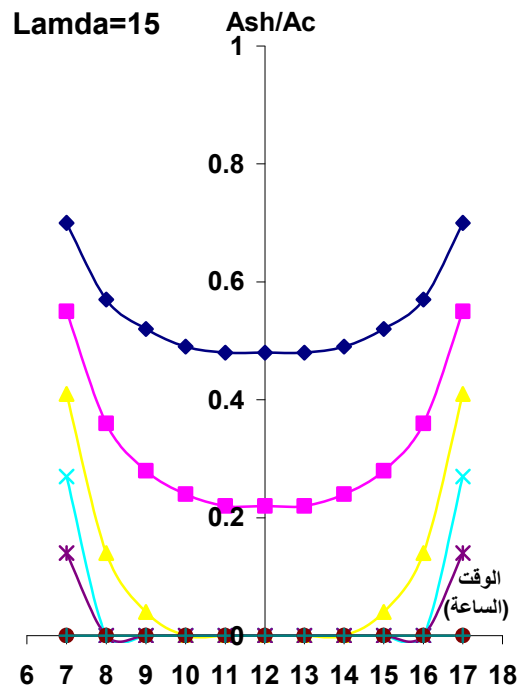
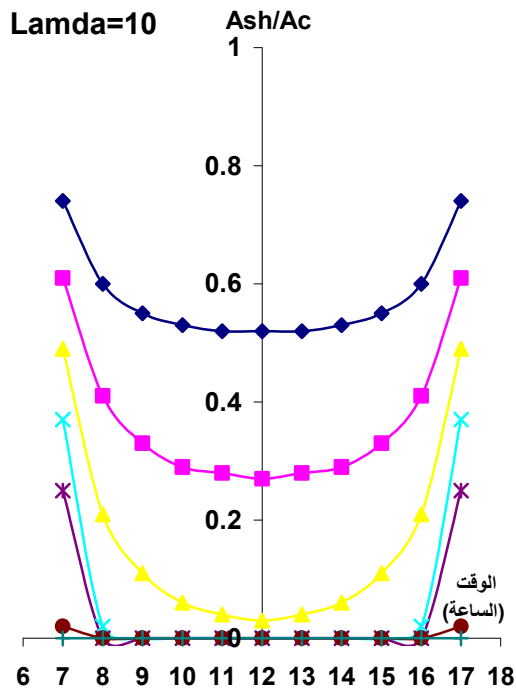
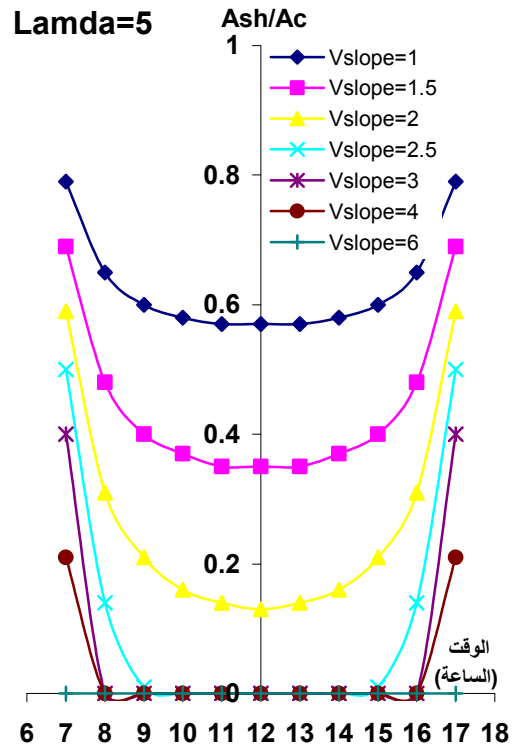
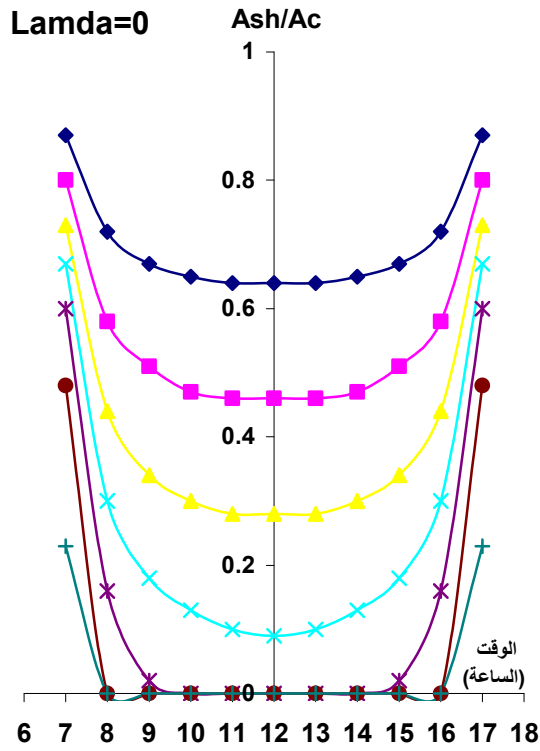
الشكل (14-3) المساحة النسبية: $S = 2T^0, L_c = 2 m, \psi = 0$ والمتغير V, W_c

يناير 21 ليوم



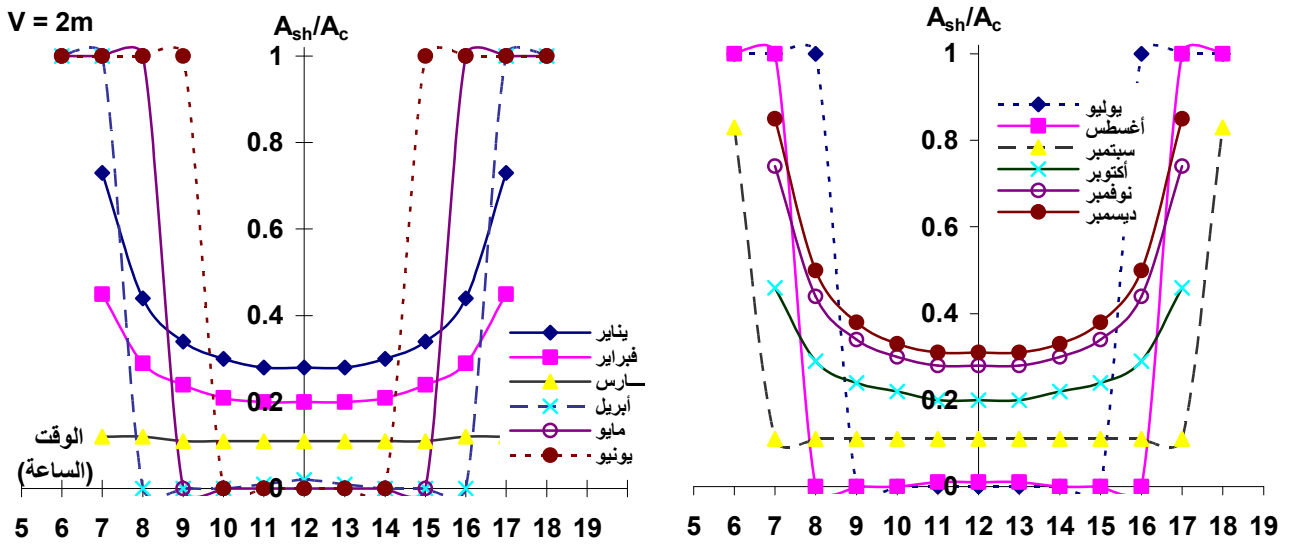
الشكل (15-3) المساحة النسبية: $L_c = 2 m, W_c = 150 m, \psi = 0$,

$S = 27^\circ$ يناير والمتغير 21 ليوم V, Y_{step}



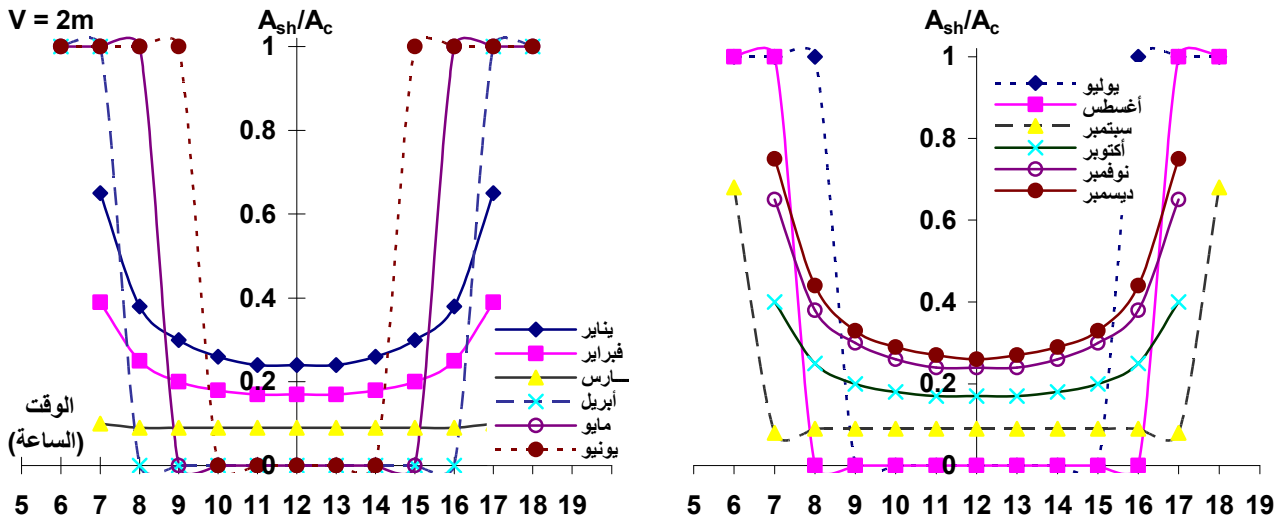
الشكل (16-3) المساحة النسبية: $S = \bar{S} + \lambda$, $\bar{s} = 27$, $Y_{step} = 0$, $\psi = 0$, $L_c = 2m$, $W_c = 150m$ في

حالة الحقل المائل والمتغير V و λ ليوم 21 يناير



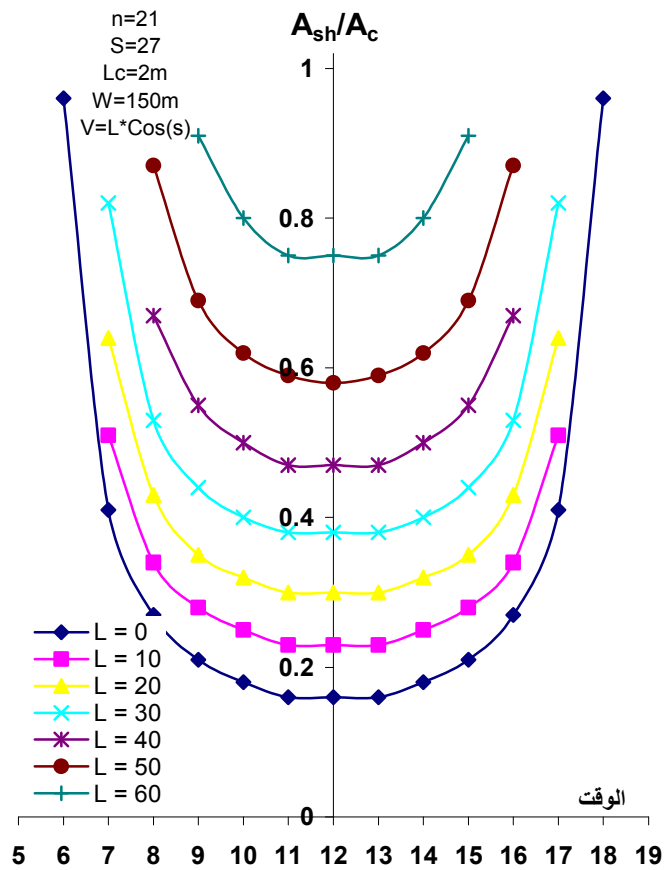
الشكل (3-17) المساحة النسبية في حالة الحقل المستوي عندما تكون:

$V = 2m, W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ, Y_{step} = 0$ والمتغير n يوم 21 من كل شهر



الشكل (3-18) المساحة النسبية في حالة الحقل المدرج عندما تكون:

$V = 2m, W_c = 150m, L_c = 2m, \psi = 0, S = 27^\circ, Y_{step} = 0.1m$ والمتغير n يوم 21 من كل شهر



الشكل (19-3) المساحة النسبية: $S = 27^\circ, \psi = 0, L_c = 2 m, W_c = 150 m$

يناير L والمتغير 21 ليوم

8-3 ملخص الفصل الثالث

أسهمت هذه الدراسة بفهم أفضل لظل المجمعات المستوية في الحقول الشمسية والتي يجب استخدامها عند تصميم وتحليل أداء الحقول الشمسية، ومن خلال دراسة التمثيل الرياضي للظل اللحظي في الحقول الشمسية المستوية والمدرجة والمائلة، تبين وجود عدة عوامل تؤثر على نسبة التظليل (A_{sh}/A_c) (نسبة المساحة المظللة من اللاقط الشمسي (A_{sh}) إلى المساحة الكلية للاقط (A_c)) وأهمها:

١. الموقع الجغرافي: زاوية خط العرض L .)
٢. الزمن: اليوم والساعة، والمتمثلة في زاوية ارتفاع الشمس (α) وزاوية اتجاه الشمس (ϕ) .
٣. متغيرات المجمع: أبعاد المجمع $(L_c \times W_c)$ (وزاوية اتجاه وميل اللاقط (S, ψ) .)
٤. متغيرات الحقل: المسافة الفاصلة بين الصفوف (V) ، ارتفاع المدرج في الحقول المدرجة (Y_{step}) (وزاوية ميلان المنحدر (λ) في الحقول المائلة.

الفصل الرابع

تقدير شدة الإشعاع الشمسي في الحقول الشمسية

1-4 : المقدمة

2-4 : حساب شدة الإشعاع الشمسي

3-4 : نموذج السماء الصافية أشراي

4-4 : تقدير شدة الإشعاع الشمسي على الأسطح المائلة

5-4 : حساب شدة الإشعاع الشمسي في الحقول الشمسية

1-5-4 : وصف التجربة ١

2-5-4 : الأدوات المستعملة

3-5-4 : الإجراءات المتبعة

4-5-4 : طريقة العمل

5-5-4 : نتائج التجربة ١

6-5-4 : مناقشة نتائج التجربة ١

6-4 : تأثير الظل على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الحقل الشمسي

1-6-4 : وصف التجربة ٢

2-6-4 : نتائج التجربة ٢

3-6-4 : مناقشة نتائج التجربة ٢

7-4 : ملخص الفصل الرابع

1-4 مقدمة

يعتبر الإشعاع الشمسي العنصر الأهم في عملية تقييم أداء المنظومات الشمسية وتصميم الحقول الشمسية. ويمكن الحصول على شدة الإشعاع الشمسي من مراكز الرصد الجوي وهي الأكثر دقة وكذلك من النماذج الرياضية المعتمدة. غير أن هذه الطرق تعطي شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح مفرد، ونقصد بالسطح المفرد هنا انه سطح لا يوجد أمامه أي شيء. خلافاً لذلك، فالحقول الشمسية تتكون من عدة صفوف مرتبة خلف بعضها البعض وبالتالي فإن الإشعاع الشمسي الساقط على الصف الأول لا يساوي ذلك الساقط على باقي صفوف الحقل لاختلاف معاملات الشكل للصفوف.

وهذا ما لم يكن يؤخذ في الاعتبار سابقاً، فلم نجد في المصادر العلمية المتخصصة أي معلومة عن كيفية حساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على صفوف الحقل الشمسي. يتناول هذا الفصل دراسة تجريبية لتعيين شدة الإشعاع الشمسي في الحقول الشمسية.

2-4 حساب شدة الإشعاع الشمسي

يمكن تقسيم الإشعاع الشمسي إلى ثلاث مركبات (كما هو مبين بالشكل (1-4))

وهي [19]:

الإشعاع المباشر (direct radiation): وهو الإشعاع الساقط على السطح مباشرة من

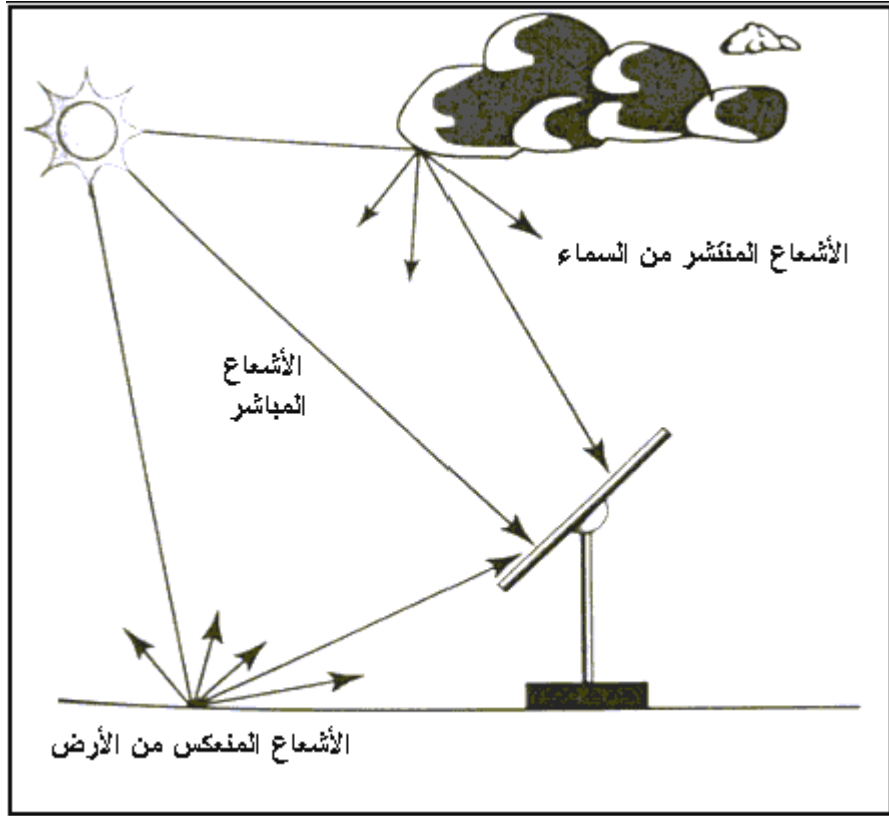
قرص الشمس.

الإشعاع المنتشر (diffuse radiation): وهو الإشعاع الساقط على السطح منتشراً في

السماء.

الإشعاع المنعكس (reflected radiation): وهو الإشعاع المرتد من سطح الأرض على

السطح.



الشكل (1-4) مركبات الإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي المباشر يمكن تقديره من الإشعاع الشمسي الجوي وذلك بعد حساب التوهين الحاصل له. والعديد من المعادلات التجريبية لتقدير الإشعاع الشمسي الكلي على سطح الأرض موجودة في المراجع المتخصصة [22,1].

غير إنه تم اختيار نموذج ASHRAE للسماء الصافية في هذا البحث وذلك لوضوح مركبات الإشعاع الشمسي الثلاثة وعدم الحاجة إلى أية معلومات جوية أخرى والتي قد تعيق استخدام النموذج الرياضي في حالة عدم توفرها.

3-4 نموذج السماء الصافية أشراي

جدول (1-4) ثوابت معادلة أشراي لأيام 21 من كل شهر

اليوم	A W/m ²	B	C
٢١ يناير	١٢٣٠	٠.١٤٢	٠.٠٥٨
٢١ فبراير	١٢١٤	٠.١٤٤	٠.٠٦٠
٢١ مارس	١١٨٥	٠.١٥٦	٠.٠٧١
٢١ أبريل	١١٣٥	٠.١٨٠	٠.٠٩٧
٢١ مايو	١١٠٣	٠.١٩٦	٠.١٢١
٢١ يونيو	١٠٨٨	٠.٢٠٥	٠.١٣٤
٢١ يوليو	١٠٨٥	٠.٢٠٧	٠.١٣٦
٢١ أغسطس	١١٠٧	٠.٢٠١	٠.١٢٢
٢١ سبتمبر	١١٥١	٠.١٧٧	٠.٠٩٢
٢١ أكتوبر	١١٩٢	٠.١٦٠	٠.٠٧٣
٢١ نوفمبر	١٢٢٠	٠.١٤٩	٠.٠٦٣
٢١ ديسمبر	١٢٣٣	٠.١٤٢	٠.٠٥٧

لتقدير الإشعاع الشمسي ليوم صافٍ على سطح الأرض توصي الجمعية الأمريكية

لمهندسي التدخين، التبريد والتكييف أشراي (ASHRAE) باستخدام المعادلة التالية:

$$H_{bn} = A \text{Exp}(-B/\cos z) \quad (٤.١)$$

حيث: H_{bn} = حزمة الإشعاع الشمسي العمودي، W/m^2

A = الإشعاع الشمسي المرئي لكتلة الهواء صفر، W/m^2

B = ثابت وقيمه مجدولة في جدول (4-1)

z = زاوية السم

بسبب تغير المسافة بين الأرض والشمس وتباين معدلات بخار الماء التي يحتويها الجو خلال الفصول، فان قيم A ، B تتغير على مدار السنة، وهذه القيم معطاة في الجدول (4-1) لأيام 21 من كل شهر. هذه القيم تمثل متوسط الشروط لأيام الصحوة

للنصف الشمالي للكرة الأرضية $0 \leq L \leq 64^\circ$.

و الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي يُعطى بالعلاقة:

$$H_b = H_{bn} \cos z \quad (٤.٢)$$

و الإشعاع المنتشر من السماء الصافية والساقط على سطح أفقي:

$$H_d = C H_{bn} \quad (٤.٣)$$

حيث H_d = الإشعاع المنتشر، W/m^2

C = ثابت معامل الإشعاع المنتشر وقيمه مدرجة في الجدول (4-1)

وبالتالي فإن الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقي يعطى بالعلاقة التالية:

$$H = H_b + H_d \quad (٤.٤)$$

4-4 تقدير الإشعاع الشمسي على الأسطح المائلة

إن كمية الإشعاع الشمسي المستقبل من قبل سطح في موقع ما على سطح الأرض خلال زمن محدد يعتمد على زاويتي اتجاه وميل السطح. كما أن السطح الذي يكون دائماً

عمودياً على الأشعة الشمسية، يستقبل الكمية العظمى من هذه الأشعة، وهذا هو هدف تتبع حركة الشمس. لذا أصبحت إمالة المجمعات الشمسية بزواوية ميل معينة هي الطريقة العملية والشائعة.

ويُعطي الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح مائل بزواوية s بالعلاقة التالية:

$$H_t = H_{b,t} + H_{d,t} + H_{g,t} \quad (٤.٥)$$

حيث: H_t = الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح المائل، W/m^2

$H_{b,t}$ = الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على السطح المائل، W/m^2

$H_{d,t}$ = الإشعاع الشمسي المنتشر من السماء الساقط على السطح المائل، W/m^2

$H_{g,t}$ = الإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض الساقط على السطح المائل، W/m^2

بدلالة الإشعاع المباشر على سطح أفقي والإشعاع المباشر عند السقوط السوي، فإنه

يمكن صياغة الإشعاع المباشر الساقط على سطح مائل على الصورة التالية:

$$H_{b,t} = H_b \frac{H_{b,t}}{H_b} = H_b R_b \quad (٤.٦)$$

حيث R_b ، نسبة الإشعاع المباشر الساقط على سطح مائل إلى الإشعاع المباشر الساقط

على سطح أفقي، وتسمى بمعامل الميلان للإشعاع الشمسي. ويعطي بالعلاقة التالية:

$$\begin{aligned} 0 \leq |i| < 90^\circ \text{ ،} & \quad R_b = \frac{\cos i}{\cos z} \\ |i| \geq 90^\circ \text{ ،} & \quad R_b = 0 \end{aligned} \quad (٤.٧)$$

تستقبل الأسطح المائلة الأشعة الشمسية من الأرض والأسطح المجاورة الأخرى. فإذا

كانت انعكاسية سطح الأرض ρ_g لكل من الأشعة المباشرة والمنتشرة، وقيمتها تعتمد على غطاء الأرض وتتراوح بين 0.2-0.7 للتراب والجليد، على التوالي [23]، فان نسبة ما ستعكسه الأرض من الأشعة على السطح المائل يساوي $\rho_g (1-\cos s)/2$ من الأشعة الكلية $(H_b + H_d)$. وبهذا يمكن صياغة $H_{g,t}$ كالتالي:

$$\begin{aligned} H_{g,t} &= (H_b + H_d) \rho_g \frac{(1 - \cos s)}{2} \\ &= (H_b + H_d) \rho_g \sin^2 (s/2) \end{aligned} \quad (٤.٨)$$

مقدار الإشعاع المنتشر من السماء يعتمد على مدى رؤية السطح المائل للقبة السماوية.

فالأسطح المائلة ترى جزء من القبة السماوية تساوي $(1 + \cos s)/2$ أو $\cos^2 (s/2)$.

وبالتالي فإن الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح مائل H_t يُعطى بالعلاقة التالية

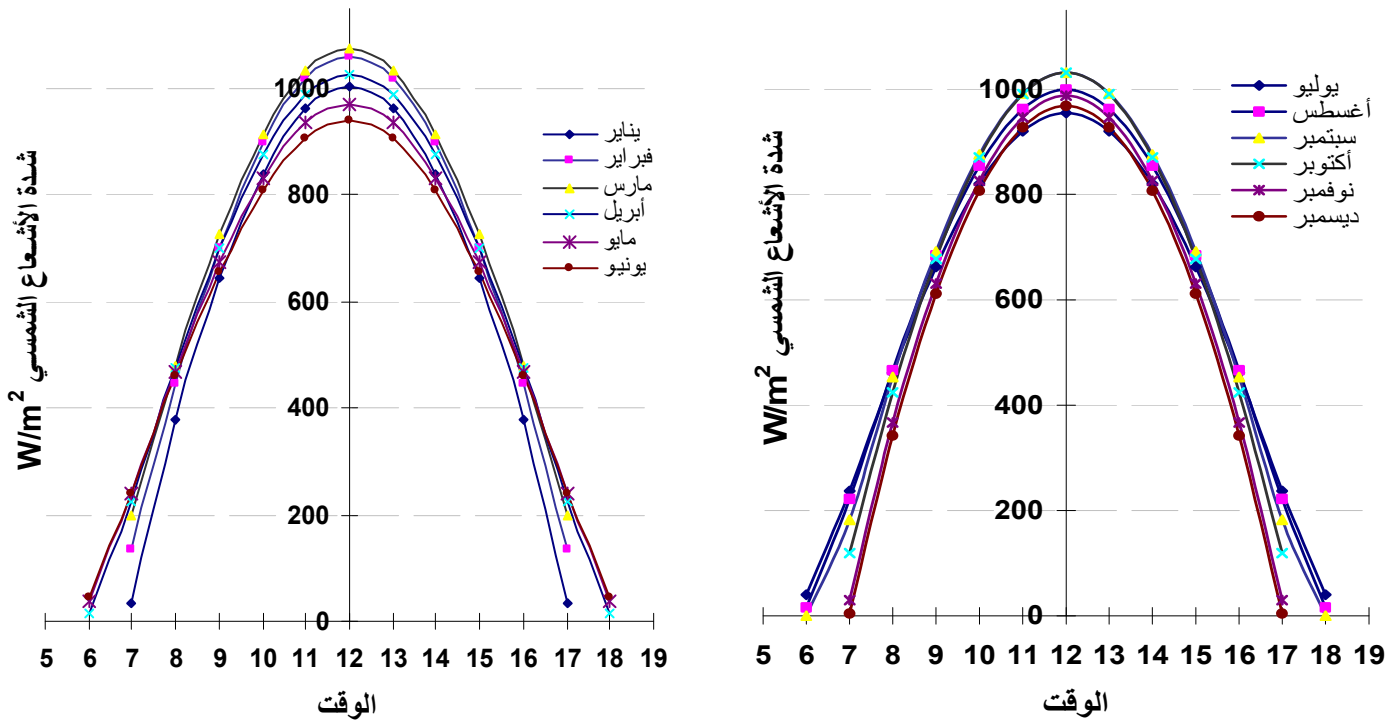
: [22]

$$H_t = H_b \frac{\cos i}{\cos z} + H_d \left(\frac{1 + \cos s}{2} \right) + (H_b + H_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos s}{2} \right) \quad (٤.٩)$$

مثلت النتائج المتحصل عليها من البرنامج باستخدام المعادلة (4.9) لقياس شدة

الإشعاع الشمسي الكلي بيانياً في الشكل (2-4) كدالة في الزمن لأيام 21 لكل شهر لمدينة

سبها (خط عرض $L=27^\circ$ ، وزاوية ميل المسطح $S=27^\circ$)، $\rho_g = 0.2$.



شكل (2-4) منحنيات شدة الإشعاع الشمسي الكلي والزمن لأيام 21 من كل شهر لمدينة سبها (خط عرض $L=27^\circ$ ، وزاوية

ميل المسطح $S=27^\circ$)

يمكن الحصول على الإشعاع الساعتي الساقط على سطح مائل بتكامل المعادلة (٤.٥)

لمدة الساعة الواحدة من t_1 إلى t_2 لتعطي:

$$\int_{t_1}^{t_2} H_t dt = \int_{t_1}^{t_2} H_{b,t} dt + \int_{t_1}^{t_2} H_{d,t} dt + \int_{t_1}^{t_2} H_{g,t} dt \quad (٤.١٠)$$

بتكامل المعادلة (٤.٥) من الشروق إلى الغروب نحصل على الإشعاع اليومي الساقط

على سطح مائل ويُعطى كالتالي:

$$H_t = \int_{tsr}^{t_{ss}} (H_{b,t} + H_{d,t} + H_{g,t}) dt \quad (٤.١١)$$

حيث t_{ss}, t_{sr} ، زمن الشروق والغروب للمسطح الأفقي.

5-4 حساب شدة الإشعاع الشمسي في الحقول الشمسية

تتغير شدة الإشعاع الشمسي على طول صفوف الحقل الشمسي، لأن هذه الصفوف لا ترى السماء ولا الأرض بنفس المنظور الذي يراها الصف الأول والذي يعتبر مستوى منفرد. ويرجع السبب في ذلك إلى اختلاف معامل الشكل لصفوف الحقل.

ولتوضيح العلاقات بين نسبة شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الصف الأول إلى ذلك الساقط على الصفوف التالية والمسافة الفاصلة بين الصفوف وكذلك بعد اللاقط عن بداية الصف، تم إجراء تجربة ميدانية وذلك بمحاكاة حقل شمسي.

1-5-4 وصف التجربة 1

أجريت التجربة تحت الظروف الطبيعية لمدينة سبها - الجماهيرية ($L=27^\circ$) في تمام الساعة 9 صباحاً من يوم الحادي والعشرون من شهر مايو لسنة 2005م، الغرض من هذه التجربة هو توضيح تأثير عملية توزيع اللاقطات الشمسية على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الحقل الشمسي المرتب بصورة خطية.

2-5-4 الأدوات المستعملة

ولإنجاز التجربة تم محاكاة حقل شمسي كما هو مبين في الشكل (3-4) واستخدمت في التجربة الأدوات الآتية:

❖ جهاز لقياس شدة الإشعاع الشمسي (Pyranometer) عدد 2.

❖ جهاز قراءة الإشارة (Solar Millivoltmeter 118) عدد 2.

❖ أسلاك كهربائية لربط جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي مع جهاز قراءة الإشارة.

❖ ألواح خشبية مقاس 96سم × 167.3سم عدد 14، وقطع خشبية أخرى لغرض

تثبيت الألواح.



شكل (3-4) توزيع اللاقطات الشمسية في حقل شمسي نوع التوزيع خطي

3-5-4 الإجراءات المتبعة

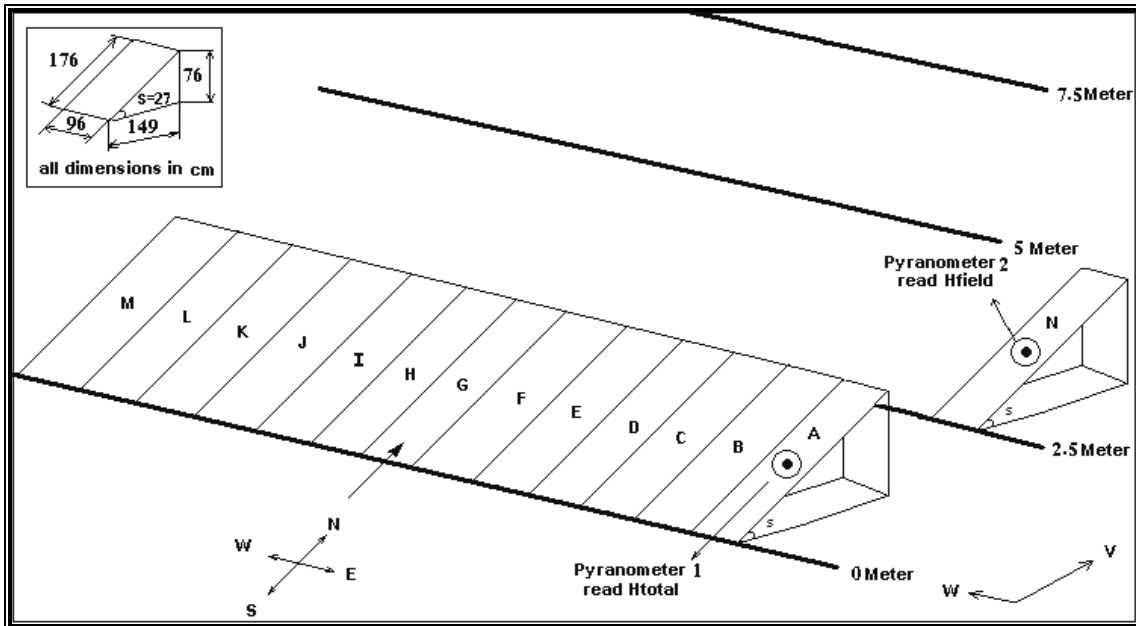
تم تحضير موقع العمل، من اختيار قطعة الأرض المناسبة لإجراء التجربة عليها وتقسيم الحقل بالمسافات الفاصلة المطلوبة وتثبيت الألواح الخشبية بفترة قبل يوم من أخذ القياس.

وضعت الألواح الخشبية בזاوية ميل $S=27^\circ$ (اختيرت هذه الزاوية كونها مساوية

لزواية خط عرض مدينة سبها) ثلاثة عشر منها بصف واحد باتجاه الجنوب مرتبة بالتسلسل من A إلى M ويثبت جهاز (Pyranometer) على اللوح A لقياس H_t (شدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الصف الأول)، ويوضع لوح خشبي (N) خلف اللوح (A) و يثبت عليه جهاز (Pyranometer) 2 لقياس H_{field} (شدة الإشعاع الشمسي للحقل الساقط على الصفوف الواقعة خلف الصف الأول). ويصمم الحقل بستة صفوف على شكل ترتيب خطي، المسافة الفاصلة بين الصفوف 2.5 متر، يبدأ الصف الأول من (2.5متر) لغاية الصف السادس (12.5 متر).

يبين الشكل (4-4) مخططاً لعملية قياس شدة الإشعاع الشمسي في الحقل والمسافات

الفاصلة بين الحقل وأبعاد اللاقط الشمسي.



الشكل (4-4) رسم تخطيطي للتجربة

4-5-4 خطوات إجراء التجربة 1

تكون طريقة العمل بقراءة H_t من اللوح A وقراءة H_{field} من اللوح N للصف الثاني وهو على بعد 2.5 متر من الصف الأول في نفس اللحظة وعندما يكون الموضع الأول للوح N خلف اللوح A، بعدها يتم نقل اللوح N ويضع خلف اللوح C ويقاس كلاً من H_t و H_{field} ، بعدها خلف اللوح E وهكذا بالاستمرار بتغيير موضع اللوح N باتجاه W لغاية الموضع الأخير خلف اللوح G.

بعد ذلك تزيد المسافة الفاصلة بين الصفوف وتصبح 5 متر، ويتم إعادة اللوح N إلى خلف اللوح A تماماً وتكرر عملية القياس مرة أخرى كما في الفقرة السابقة. ثم يتم زيادة المسافة الفاصلة بين الصفوف مسافة 2.5 متر حتى المسافة 12.5 متراً.

5-5-4 نتائج التجربة 1

تظهر قياسات التجربة اختلاف شدة الإشعاع الشمسي على إحداثيات الحقل الشمسي في الاتجاهين V، W، فتكون شدة الإشعاع أقل ما يمكن عند منتصف الصف وأكثر ما تكون على الصف الأول وترتفع عند الأطراف وعند البعد عن الصف الأول. وكما هو مدون في الجدول (4-2):

جدول رقم(2-4) يبين شدة الإشعاع الشمسي للمسافات المبينة بالجدول خلف الصف الأول

المسافة V (متر)	H_t W/m ²	المسافة W (متر)			
		0	1.92	3.84	5.76
		H_{field} (W/m ²)			
٢.٥	٦٨٣	٦٤٠	٦٣٦	٦٣٠	٦٢٥
٥	٦٨٤	٦٥٥	٦٥٠	٦٤٥	٦٤٠
٧.٥	٦٨٩	٦٧١	٦٦٦	٦٦٢	٦٥٥
١٠	٦٩١	٦٨١	٦٧٧	٦٧٢	٦٦٥
١٢.٥	٦٩٢	٦٨٥	٦٨٢	٦٧٨	٦٧١

6-5-4 مناقشة نتائج التجربة 1

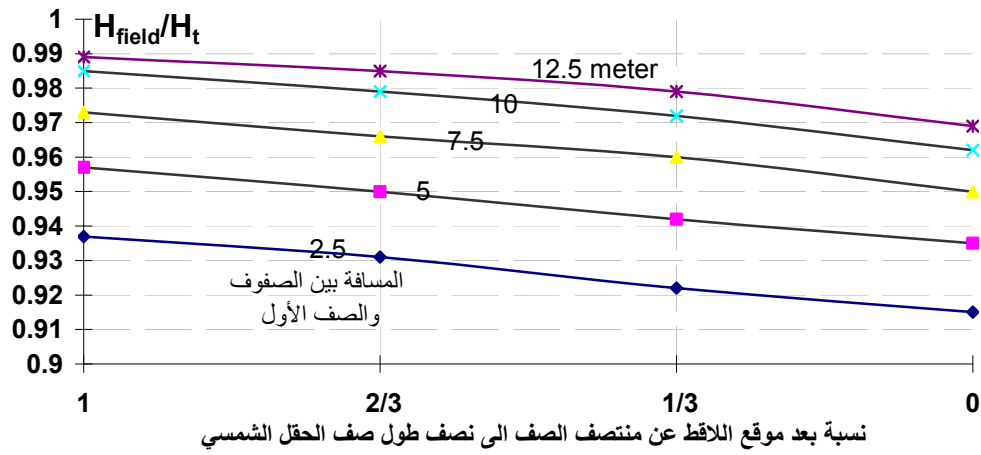
يوضح الشكل (5-4) انخفاض نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع

الشمسي الكلي (H_{field}/H_t)، في منتصف الحقل بالضبط، مما يدل على وجود تأثير لطول

الصفوف في الحقل الشمسي على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الحقل.

وهذه النتائج تتناقض مع ما أورده Appelbaum, J. في [11] بأن ليس لطول الصف

أي تأثير على إنتاجية الحقل الشمسي، والذي تمت مناقشته في الفصل الثالث.



شكل (5-4) علاقة نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) والمسافة الفاصلة بين الصفوف على طول صف الحقل الشمسي

وكما أمكن تمثيل هذه العلاقات بالصيغة الرياضية، وكانت على الصيغة التالية:

$$\frac{H_{field}}{H_t} = 0.4855 e^{-0.00445X} + 0.0173 \ln(Z) + 0.4314 \quad (٤.١٢)$$

حيث:

X = يمثل نسبة بعد موقع اللاقط عن منتصف الصف إلى نصف طول صف الحقل

الشمسي.

Z = يمثل المسافة الفاصلة بين صفوف الحقل الشمسي (في المنطقة المشمسة) .

وكانت نسبة دقة المعادلة المستنبطة حوالي 97%.

6-4 تأثير الظل على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الحقل

الشمسي

كما تم توضيحه سلفاً، يتكون الإشعاع الشمسي الكلي من ثلاث مركبات، المباشر

والمنتشر والمنعكس. الإشعاع المباشر هو الإشعاع الشمسي الساقط على السطح مباشرة

من قرص الشمس. ويتكون الظل نتيجة لإعاقة الشعاع الشمسي المباشر من قبل أي جسم معتم والذي قد يكون سحاباً أو عمود أو ثلج، في حالة الحقول الشمسية، يمثل جسم الإعاقة صفوف الحقول الشمسي نفسها في لحظة زمنية معينة.

وبالتالي فإن شدة الإشعاع الشمسي الكلي يمكن حسابه مباشرة من المعادلة (٤.٥) بإهمال حد الإشعاع الشمسي المباشر وهو $H_{b,t}$ وتختزل المعادلة السابقة إلى الصورة الآتية:

$$H_t = H_{d,t} + H_{g,t} \quad (٤.١٣)$$

هذه المعادلة أعلاه صحيحة في حالة مستوى مفرد غير إن الوضع يختلف قليلاً في حالة الحقول الشمسية ويرجع السبب في ذلك إلى اختلاف معامل الشكل (Shape Factor) لصفوف الحقول الشمسية.

في المعادلة (٤.١٣) سيظهر حد ثالث في حالة الحقول الشمسية وهي المركبة المنعكسة من خلف الصف السابق للاقط وبالتالي يمكن صياغة المعادلة (٤.١٣) لحقول الشمسية على الصورة الآتية:

$$H_{Field} = H_{d,t} * F_{c-d} + H_g * F_{c-g} + H_r * F_{c-r} \quad (4.14)$$

حيث: F_{c-d} = معامل الشكل بين اللاقط والقبة السماوية

F_{c-g} = معامل الشكل بين اللاقط وسطح الأرض

F_{c-r} = معامل الشكل بين اللاقط و ظهر السطح المائل للصف السابق

H_r = الإشعاع الشمسي المنعكس من ظهر سطح الصف السابق، W/m^2

وبالرغم من أهمية تعيين شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللاقط الشمسي في جميع

الظروف (مشمسة ومظللة)، إلا إن المراجع المتخصصة لم تشر إلى هذا الموضوع. ولتوضيح الحالة تم إجراء تجربة ميدانية لقياس شدة الإشعاع الشمسي الساقط على لاقط مظلل جزئياً.

1-6-4 وصف التجربة ٢

أجريت التجربة تحت الظروف الطبيعية لمدينة سبها - الجماهيرية - $L=27$ ، في السابع من أبريل سنة 2005م وعند ساعة متأخرة من النهار (6:30 مساءً) وذلك لضمان وجود ظل على أطول مدى على أرض التجربة .

الغرض من التجربة هو توضيح تأثير الظل على شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الحقل الشمسي المرتب بصورة خطية كما هو مبين بالشكل (3-4).

ويستخدم أجهزة ومعدات وألواح التجربة السابقة وبنفس الطريقة السابقة والسياق يتم قياس شدة الإشعاع الشمسي في المنطقة المظللة عند مسافات مختلفة فاصلة بين الصف الأول ولوح القياس.

2-6-4 نتائج التجربة ٢

تظهر النتائج المبينة بالجدول رقم (3-4) نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) مع المسافة الفاصلة بين الصفوف من (0-14) متر.

جدول (3-4) شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) مع المسافة الفاصلة بين الصفوف.

المسافة (متر)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
H_{field}/H_t	0	0.056	0.075	0.09	0.113	0.128	0.139	0.147	0.158	0.166	0.173
المسافة (متر)		5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	14
H_{field}/H_t		0.181	0.184	0.940	0.944	0.948	0.952	0.956	0.960	0.964	1

3-6-4 مناقشة نتائج التجربة ٢

تم تمثيل النتائج المتحصل عليها في الشكل (4-6) والتي تبين العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) مع المسافة الفاصلة بين الصفوف. حيث تشير نتائج التجربة إلى انخفاض كبير في شدة الإشعاع الشمسي للحقل في المنطقة المظلمة وذلك لغياب المركبة المباشرة للإشعاع الشمسي والتي تمثل القيمة العظمى لشدة الإشعاع، أما الزيادة الطفيفة في شدة الإشعاع الشمسي الناتجة من زيادة المسافة الفاصلة بين الصفوف فيعزى السبب في ذلك، تعاضم معاملات الشكل لمركبتي الأشعة المنتشرة والمنعكسة.

أما بالنسبة للمنطقة المشمسة التي تكونت نتيجة لانحصار الظل عند مسافة 6.5 متر بلغت نسبة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الحقل إلى الإشعاع الشمسي الكلي الوحدة، وذلك لتلاشي تأثير الصف السابق عند مسافة حوالي 14 متر وبالتالي يصبح الإشعاع الشمسي عند هذه المسافة مساوياً لشدة الإشعاع الشمسي الكلي.



شكل رقم (4-6) نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) والمسافة بين الصفوف.

و يمكن تمثيل هذه العلاقات بالصيغة الرياضية للمنطقة المظلة، وكانت على الصيغة التالية:

$$\frac{H_{field}}{H_t} = 0.006 \ln(Z) + 0.075 \quad (4.15)$$

حيث: Z = يمثل المسافة الفاصلة بين الصفوف.

7-4 ملخص الفصل الرابع

تم في هذا الفصل دراسة ما يأتي:

١. دراسة تأثير الظل على شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على الحقل الشمسي.
٢. تم استنتاج علاقة لشدة الإشعاع الشمسي في المنطقة المظلة من الحقل.
٣. تم استنتاج علاقة تربط بين نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) اللاقط الشمسي في الحقل.

الفصل الخامس

تأثير الظل الجزئي على أداء الخلايا الشمسية

1-5: المقدمة

2-5 : الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية

3-5 : تأثير الظل على إنتاجية اللوح الشمسي

1-3-5: وصف التجربة

2-3-5 : الأدوات المستعملة

3-3-5 : التصميم الكهربائي للوح الشمسي

4-3-5 : طريقة عمل التجربة

5-3-5 : التظليل على طول البعد العمودي (الطول)

6-3-5 : التظليل على طول البعد الأفقي للوح (العرض)

7-3-5 : نتائج التجربة

4-5 : محاكاة أنواع أخرى من توصيلات الألواح الشمسية

1-4-5 : لوح شمسي نوع الربط (1S – 4P)

2-4-5 : لوح شمسي نوع الربط (2S – 2P)

5-5 : تأثير الظل على إنتاجية صفيح الألواح الشمسية

6-5 : نتائج المحاكاة

7-5 : تقدير إنتاجية الحقل الشمسي

8-5 : ملخص الفصل الخامس

1-5 المقدمة

بالرغم من قدم اكتشاف ظاهرة التأثير الفوتوضوئي (1839) ودخول الخلايا الشمسية في الخدمة في (1950) إلا إن تأثير الظل على أداء الخلايا الشمسية تم اكتشافه حديثاً في (1980) إثر ملاحظة انخفاض كبير في الطاقة المتولدة من منظومة خلايا شمسية منزلية بقدرة (300Wp) في ولاية فلوريدا، وكان السبب في ذلك هو سقوط ظل مدخنة تهوية سطح المنزل على هذه الخلايا.

أنجزت العديد من التحليلات خلال السنوات الماضية لتقييم تأثيرات الظل على أداء الألواح الشمسية، وكنتيجة لهذه التحليلات يستخدم مصنعوها صمام ثنائي في منتجاتهم للحفاظ على فولتية صفوف الخلايا ومنع ظاهرة القطبية العكسية (Reverse bias) والتي بدورها تكون النقط الساخنة (hot spots) والتي تعتبر مصدر تلوث للخلايا الشمسية [4]. وبالرغم من مرور ما يقارب من ربع قرن على هذا الموضوع إلا إنه ما زال يوجد خلط وعدم فهم وخاصة بما يتعلق بالنموذج الأمثل لتوصيل منظومات الخلايا الشمسية، وعملياً يصعب التنبؤ بإنتاجية الحقل الشمسي الواقع في ظل جزئي وذلك بسبب تداخل عدد كبير من المعاملات التي تحدد موقع أقصى قدرة على منحنى I-V [4].

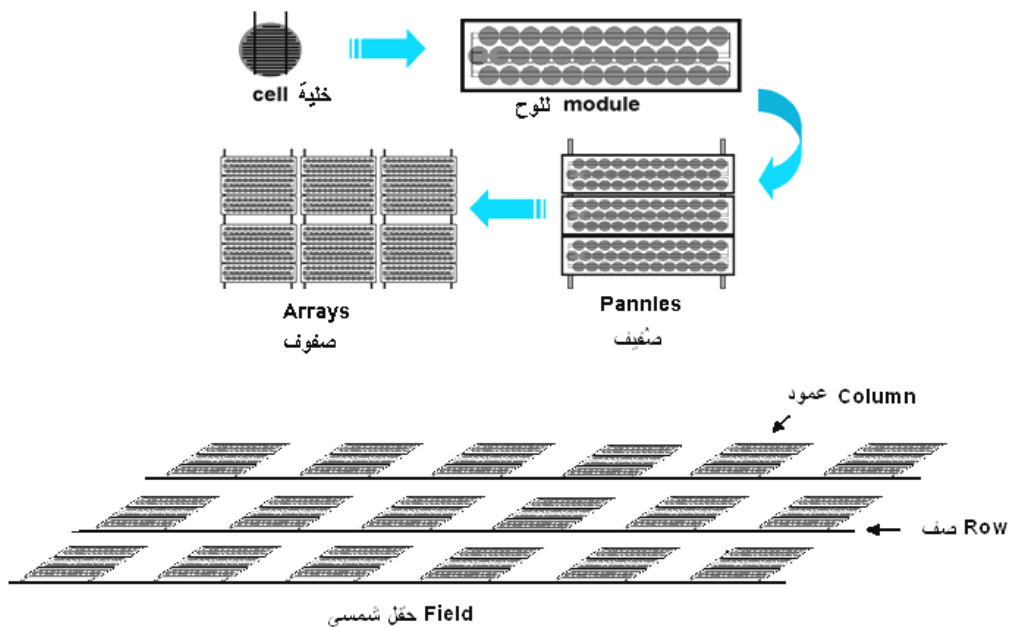
يتناول هذا الفصل موضوع تقييم إنتاجية حقول الخلايا الشمسية، وذلك عن طريق وصف الاختبارات التي طبقت على لوح شمسي مفرد وكذلك على مجموعة من الألواح المتصلة بعدة طرق والتي تمثل هيكل من صف الحقل الشمسي تحت ظروف تظليل

متغيرة.

كما أشتمل هذا الفصل على النتائج المتحصل عليها مختبرياً، وكذلك تم تحليل ومناقشة تلك النتائج للوقوف على الأسباب العلمية لإنهيار إنتاجية الخلية خلال فترة التظليل الجزئي للخلية.

مصطلحات الحقل الشمسي:

تعتبر الخلية الشمسية (PVcell) أصغر عنصر في المنظومة الشمسية، فعند ربط مجموعة من الخلايا الشمسية على التوالي ينتج اللوح الشمسي (Module)، وعند ربط مجموعة من الألواح الشمسية ينتج الصفيف (Pannel)، وعند ربط مجموعات من الصفيف ينتج الصفوف (array). ومجموعات الصفوف يكون الصف (Row)، ويتكون الحقل (Field) عدة أسطر من الصف والأعمدة (Column). ويبين الشكل (1-5) مخططاً لهذا التمثيل.



شكل (1-5) يبين خلية شمسية، لوح شمسي، صفيف، صفوف وحقل شمسي

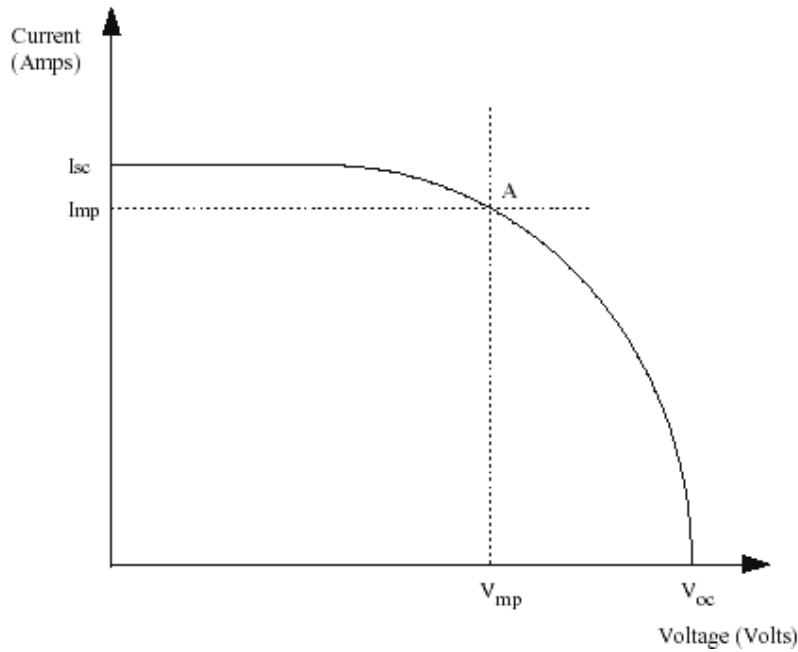
وقبل الدخول في الموضوع لابد من التعرف على الخصائص الكهربائية للخلايا

الشمسية وبعض المصطلحات الفنية الخاصة بالخلايا الشمسية [18,24-25].

2-5 الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية

تستخدم عادة ثلاث معالم لتحديد الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية وكما هو مبين

في الشكل (٥-٢):



الشكل (2-5) منحنى I-V لخلية شمسية

١. تيار الدائرة القصيرة Short-Circuite Current

تيار الدائرة القصيرة I_{sc} ، يحدث على نقطة بالمنحنى يكون عندها الفولتية تساوي

صفرًا. في هذه النقطة، تكون القدرة المنتجة للخلية الشمسية صفرًا.

٢. فولتية الدائرة المفتوحة Open Circuit Voltage

فولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} ، تحدث على نقطة بالمنحنى يكون عندها التيار يساوي

صفرًا. في هذه النقطة، تكون القدرة المنتجة للخلية الشمسية صفرًا.

٣. القدرة القصوى Maximum Power

تحدث أعظم قدرة عند نقطة A على المنحني وعندها يمكن تحديد فولتية والتيار التشغيل

المثالية.

تعتمد الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية على منحنيات I-V. ويُحدد منحني I-V

أداء الخلية تحت الظروف القياسية (STC) لضوء الشمس ودرجة حرارة الخلية. وهذه

الظروف هي: شدة إشعاع شمسي 1000W/m^2 ودرجة حرارة سطح الخلية 25°C وكتلة

الهواء 1.5، وتتغير قدرة الخلية عند ظروف مغايرة لهذه الشروط.

3-5 تأثير الظل على إنتاجية اللوح الشمسي

تكن أهمية التجربة التي سيتم التطرق إليها في أمرين، الأول هو: كيفية ربط دائرة

اللوحة الشمسية، لأن دور تصميم دائرة اللوح مهم في عملية انخفاض إنتاجية اللوح عند

التظليل الجزئي، والثاني: في كيفية توصيل الألواح الشمسية مع بعضها البعض.

ولإنجاز هذا، تم إجراء تجربة معملية لمعرفة الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية

المعرضة جزئياً للظل.

1-3-5 وصف التجربة

أجريت تجربة معملية في مركز بحوث الطاقة الشمسية بمدينة طرابلس -

الجماهيرية، تحت الظروف القياسية (STC) والتي حددت بشدة الإشعاع (1000W/m^2)

ودرجة الحرارة (25°C).

2-3-5 الأدوات المستعملة

❖ ألواح شمسية نوع (Module Type = PW750) عدد 12 المجهزة من شركة (Q4-01 Photowatt International S.A a subsidiary of matrix solar Technologies Inc.)

❖ جهاز قياس شدة الإشعاع (Solar meter 118) المجهز من شركة (Hoenni Messgerate Instruments)

❖ جهاز قياس شدة التيار والفولتية Digital Multimeter 7045 المجهز من شركة Electroplan Royston

❖ جهاز تتبع نقطة القدرة العظمى (MPP) (I-V Solar cell Tester) المجهز من شركة (Pasan) السويسرية.

❖ جهاز مقاومة متغيرة (The Zenith Electric Co. Ltd.) المجهز من شركة (Griffin & George Ltd.) البريطانية.

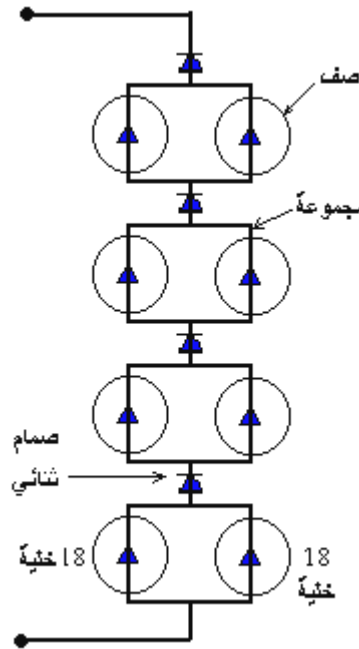
❖ جهاز إضاءة (Sun Simulator) شدته 1000W.

❖ جهاز قياس درجة حرارة اللوح الشمسي التجريبي (Digital Thermometer Model) المجهز من شركة (Digitron Instrumentation Ltd).

❖ أسلاك كهربائية لغرض ربط الدائرة الكهربائية.

3-3-5 التصميم الكهربائي للوح الشمسي

يظهر الشكل (3-5) مخططاً كهربائياً للوح الشمسي الذي أجريت عليه التجربة، يحتوي اللوح على 144 خلية شمسية مربوطة على هيئة أربعة مجموعات مربوطة على التوالي والمجموعة الواحدة تشمل صفين على التوازي وكل صف يحتوي على 18 خلية مربوطة على التوالي.



المجموعة الواحدة = صفين توازي $18 \times$ خلية على التوالي = 36 خلية

شكل (3-5) مخطط كهربائي للوح

وهناك 4 صمامات ثنائية وضعت باللوح، كل واحد منها يحمي مجموعة من المجموعات الأربعة المربوطة على التوالي، وهذه الصمامات مربوطة بدوائر الخلية بواسطة وصلات معزولة على هيئة حبيبات توضع تحت الخلايا.

و يعطي الجدول رقم (1-5) مواصفات اللوح عند الظروف القياسية (STC).

جدول (1-5) مواصفات اللوح الشمسي

الوحدة	القيمة	المعامل
فولت	42.4	فولتية الدائرة المفتوحة (Voc)
أمبير	5.8	تيار الدائرة القصيرة (Isc)
فولت	34.6	فولتية القدرة القصوى (Vmp)
أمبير	5.3	تيار القدرة القصوى (Imp)
واط	183	القدرة القصوى (Pmp)
متر	1.98	الطول
متر	0.85	العرض
م ²	1.68	المساحة

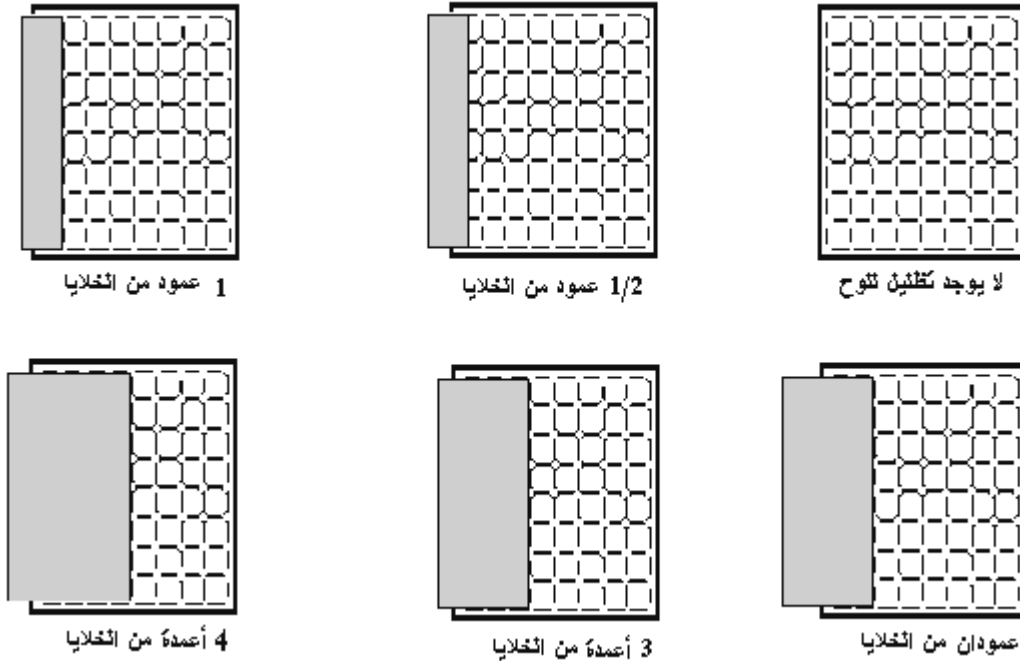
4-3-5 طريقة عمل التجربة

سجلت قياسات التيار - الفولتية (I-V) تحت تظليل مساحات مختلفة من اللوح على طول اللوح عمودياً (الطول) وأفقياً (العرض). كما هو مبين في الشكلين (4-5)، (5-5) على التوالي.

5-3-5 التظليل على طول البعد العمودي (الطول)

يظهر الشكل (4-5) كيف أعدت اختبارات التظليل على طول اللوح، من اليسار إلى اليمين وكيف ظللت الخلايا بشكل تدريجي ابتداءً من لوح غير مظلّل. الزيادة بالتظليل على طول الصف العمودي للخلايا كان من 1/2 صف ومن ثم تظليل تام لخلايا الصف الأول، ومن بعدُ ظلل صفين (أي مجموعة كاملة) ثم ثلاثة ثم أربعة صفوف (أي

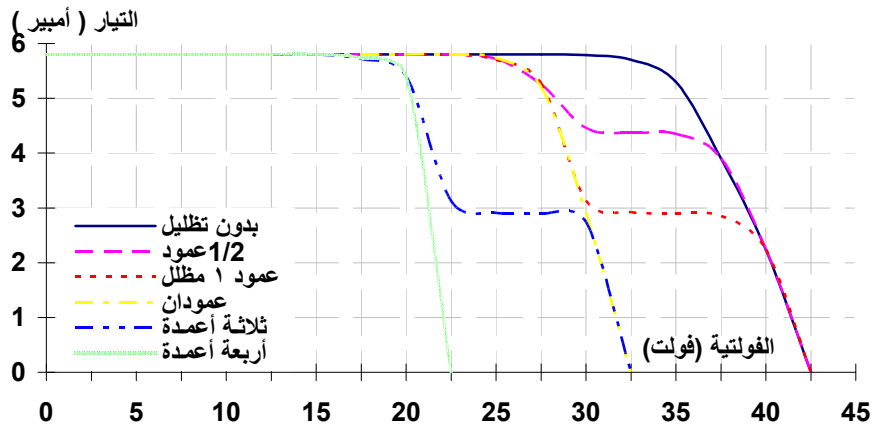
مجموعتين كاملتين) كما هو موضح بالشكل (4-5).



الشكل (4-5) تظليل لوح الاختبار على طول البعد العمودي للوح (الطول)

يظهر الشكل (5-5) منحنيات (I-V) مجمعة لحالات الشكل (4-5) لكل واحد منهم

ظروف تظليل على طول البعد العمودي (الطول) للوح الاختبار.



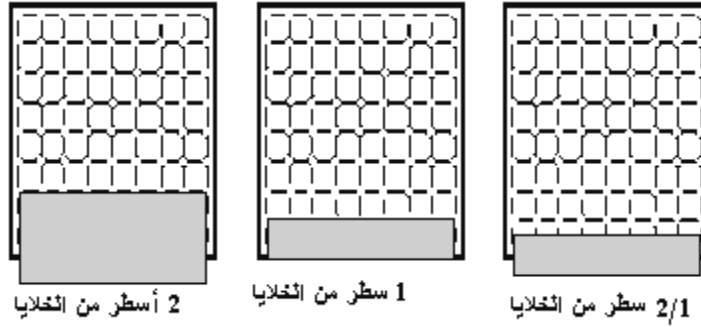
شكل (5-5) منحنيات (I-V) لتظليل على طول البعد العمودي (الطول)

يتغير منحنى (I-V) في حالة تظليل صفين عموديين لخلايا اللوح التجريبي، حيث تنخفض الفولتية بمقدار إنتاجية 18 خلية مربوطة على التوالي بالرغم من وقوع الظل على مجموعة واحدة كاملة أي صفين عموديين (36 خلية) (بسبب الربط التوازي للصفين). ولوجود الصمام الثنائي المربوط مع كل مجموعة يبقى التيار ثابت بدون تغير. وبنفس السياق عند تظليل مجموعتين بالكامل أي أربعة صفوف عمودية سيكون الفقد بالفولتية بمقدار إنتاجية 36 خلية مربوطة على التوالي. ويبقى التيار ثابت لأن المجموعات الأربعة مربوطة على التوالي.

أما في حالة تظليل 1/2 صف عمودي واحد يأخذ منحنى (I-V) شكل قمتين (نقطتين للقدرة العظمى)، حيث تبقى شدة التيار في القمة الأولى ثابتة والانخفاض يكون في الفولتية بمقدار يعادل إنتاجية 18 خلايا مربوطة على التوالي، أما في القمة الثانية تبقى الفولتية ثابتة وتنخفض شدة التيار بمقدار ربع إنتاجية المجموعة الواحدة المتصلة على التوازي. يلاحظ من الشكل إن التأثير بالتظليل التدريجي لصف مفرد عمودي واحد يكون مسار منحنى (I-V) له مشابه لتظليل ثلاثة صفوف والفرق بالفولتية فقط.

6-3-5 التظليل على طول البعد الأفقي للوح (العرض)

تتأثر القدرة الخارجة من لوح الاختبار عند التظليل القليل على عرض اللوح وكما يظهر الشكل (5-6) كيف ظللت الخلايا تدريجياً، من 1/2 سطر ومن ثم تظليل تام لأول سطر من الخلايا، بعدها تظليل تام لسطرين من الخلايا.

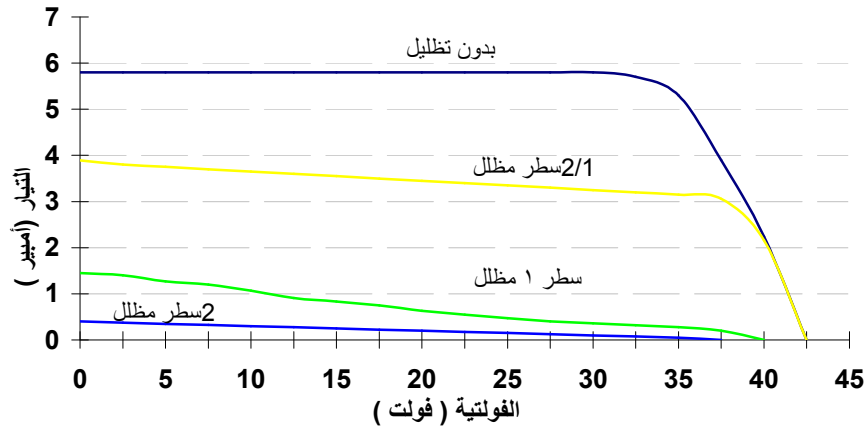


الشكل (5-6) تظليل ألواح على طول البعد الأفقي للوح (العرض)

يظهر الشكل (5-7) منحنيات (I-V) تحت ظروف تظليل على عرض اللوح، حال

تظليل 1/2 سطر الطول الأفقي للوح التجريبية تتخفف القدرة الخارجة إلى أكثر من 50%.

ومع تظليل سطرين للخلايا فإن قدرة اللوح الخارجة تصبح قريبة من الصفر.



شكل (5-7) منحنيات (I-V) المظللة على طول البعد الأفقي للوح (العرض)

7-3-5 نتائج التجربة

- يكون تأثير الظل على أداء اللوح الشمسي كبير ومعمد على موضع المساحة المظللة في اللوح وتأثير هذا الموضع على إنتاجية الدائرة الكهربائية للوح.
- التظليل من جهة التوصيل على التوالي يكون نسبياً أقل ضرراً من التظليل من جهة التوصيل على التوازي والذي حل فيه انهيار سريع لقدرة اللوح التجريبي،

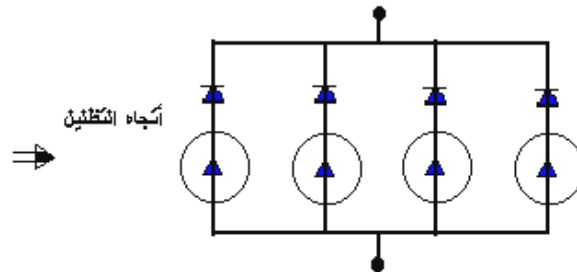
كما هو موضح في الشكل (5-5) عند تظليل عمود واحد من الخلايا على طول البعد العمودي للوح كانت نسبة الخسارة في الإنتاجية %40، أما عند تظليل عمود واحد من الخلايا على طول البعد الأفقي للوح شكل (5-7) فزادت نسبة الخسارة في الإنتاجية بمقدار %90.

- ولهذا يجب وضع اللوح الشمسي بشكل يكون الظل واقع دائماً على الصف المتصل على التوالي.

4-5 محاكاة أنواع أخرى من توصيلات الألواح الشمسية

1-4-5 لوح شمسي نوع الربط (1S – 4P)

وبنفس السياق المذكور في الفقرة 5-3-5، لو أخذنا لوح آخر طريقة توصيله تختلف عن اللوح السابق، يتكون من أربعة مجموعات من الخلايا مرتبطة على التوازي والمجموعة الواحدة تحتوي على 18 خلية مربوطة على التوالي (1S – 4P) كما هو مبين بالشكل (8-5) الآتي:



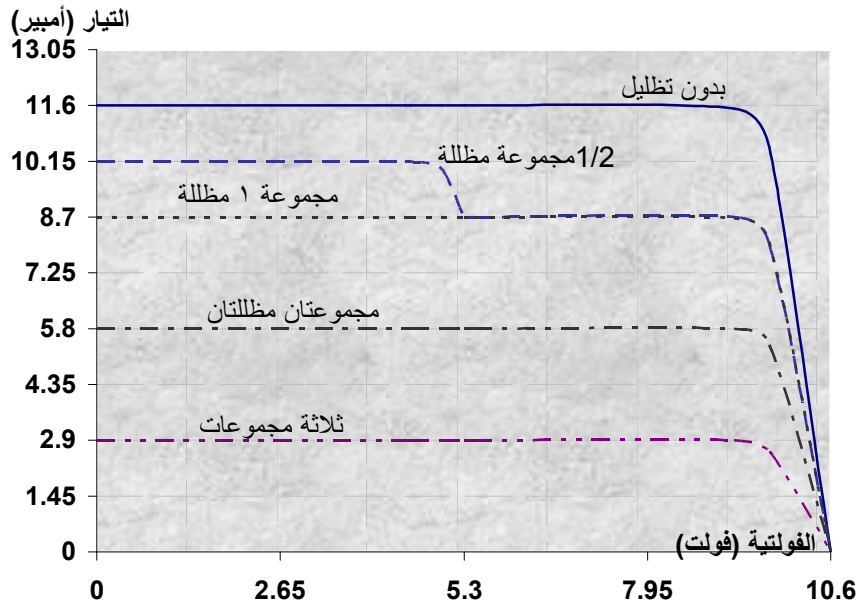
المجموعة الواحدة = 18 خلية مربوطة على التوالي بفولتية مقدارها 10.6 فولت وشدة تيار مقدارها 2.9 أمبير
اللوحة = أربعة مجاميع مربوطة على التوازي بفولتية مقدارها 10.6 فولت وشدة تيار مقدارها 11.6 أمبير

شكل (8-5) مخطط المسقط الأفقي للوح شمسي نوع الربط (1S – 4P)

ظللت الخلايا بشكل تدريجي إبتداءً مع لوح غير مظلل. الزيادة بالتظليل على طول الصف العمودي للخلايا كان من 1/2 صف ومن ثم تظليل تام لخلايا الصف الأول (أي مجموعة كاملة)، ومن بعدُ ظلل صفين (أي مجموعتين كاملتين)، ثم ثلاثة صفوف.

يوضح الشكل (9-5) منحنيات (I-V) سوية لكل واحد منهم ظروف تظليل على طول

لوح الاختبار.



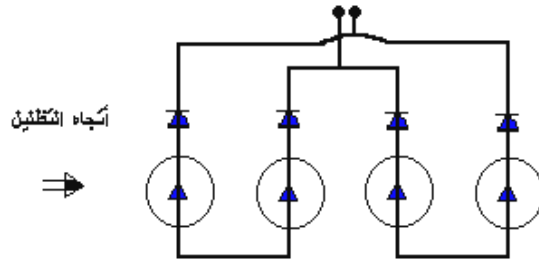
شكل (9-5) منحنيات (I-V) لتظليل على طول البعد العمودي للوح (1S - 4P)

2-4-5 لوح شمسي نوع الربط (2S - 2P)

يتركب اللوح من أربعة مجاميع، كل مجموعتين مربوطين على التوالي والكل موصل

على التوازي، علماً أن كل مجموعة تحتوي كذلك على 18 خلية مربوطة على التوالي

(2S - 2P)، كما هو مبين بالشكل (10-5):

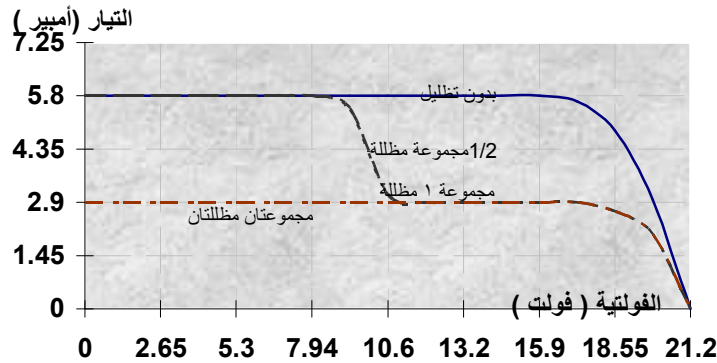


المجموعة الواحدة = 18 خلية مبربوطة على التوالي بفولتية مقدارها 10.6 فولت وشدة تيار مقدارها 2.9 أمبير
مقدار فولتية اللوح 21.2 فولت وشدة تيار مقدارها 5.8 أمبير

شكل (10-5) مخطط المسقط الأفقي للوح شمسي نوع الربط (2S-2P)

ظلت الخلايا بشكل تدريجي إبتدائاً مع لوح غير مظل. الزيادة بالتظليل على طول الصف العمودي للخلايا كان من 1/2 صف ومن ثم تظليل تام لخلايا الصف الأول (أي مجموعتين كاملتين)، ومن بعد ظل صف ونصف الصف.

يبين الشكل (11-5) منحنيات (I-V) سوية لكل واحد منهم ظروف تظليل على طول البعد العمودي (الطول) للوح الاختبار.



شكل (11-5) منحنيات (I-V) لتظليل على طول البعد العمودي للوح (2S-2P)

5-5 تأثير الظل على إنتاجية صفيف الألواح الشمسية

يتضمن هذا الموضوع تقييم إنتاجية صفيف من الألواح الشمسية، اعتماداً على نوع

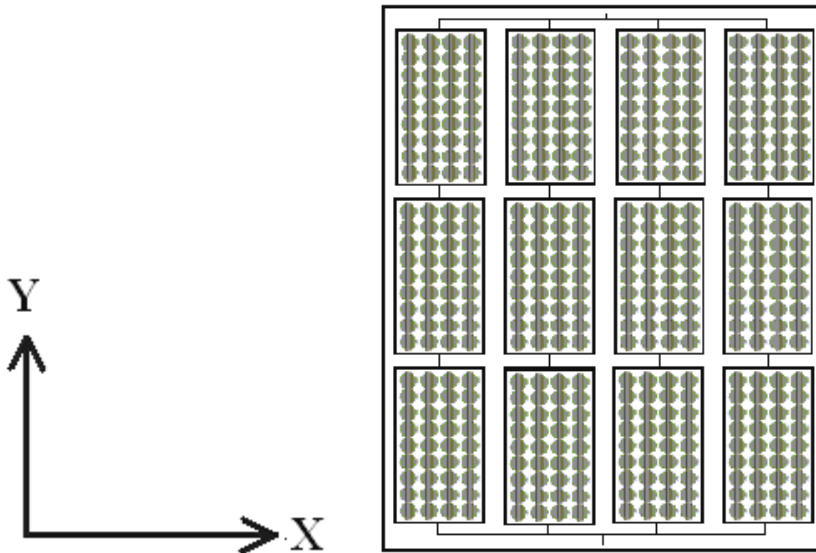
ربط خلايا الألواح الشمسية وتأثيره على إنتاجية خرج الألواح.

تحتوي الصفيف الفولتوضوئية على الألواح وصمامات الحماية الثنائية المناسبة

المربوطة بينهم. تقل القوة المنتجة لصفيف PV عند حدوث ضعف في إنتاجية واحد أو أكثر من خلايا الألواح، بسبب التظليل، العيوب، ... الخ. لهذا السبب أجرى الباحثون دراسات عديدة في مجال استعمال الصمامات الثنائية كحماية للخلايا الشمسية من التأثيرات السلبية للظل [13].

يمثل الشكل (5-12) محاكاة لصفيف ألواح PV مركبة من اثني عشر لوح باستخدام جهاز (I-V sunsimulator) المجهز من شركة (Passan) السويسرية. شكل الصفيف هو أربعة خطوط من الألواح الشمسية مربوطة على التوازي كل خط يتكون من ثلاثة ألواح مربوطة على التوالي وكل لوح يتكون من 36 خلية شمسية.

ينتج اللوح الواحد فولتية دائرة مفتوحة (V_{oc}) مقدارها 20.1 فولت وتيار دائرة مغلقة (I_{sc}) 2.4 أمبير.



شكل (5-12) مخطط لصفيف PV مركبة من (12) لوح خلايا شمسية

تبين الأشكال التالية مخططاً لجميع حالات الظل ومثلت بيانياً وأدخلت ضمن برنامج

لتقييم قدرة إنتاجية الصفيف كما يظهر في الشكل (5-13) خصائص صفيف PV علماً أن

وصف جميع الألواح ينطلق من نقطة الأصل كما تبين الحالات فيما يلي:

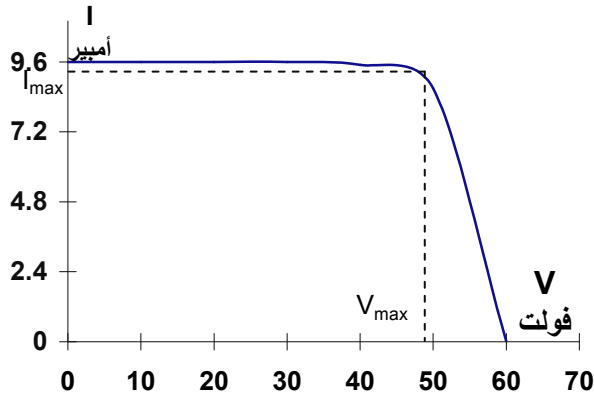
١. لا ظل مطلقاً على كل الصفوف
٢. مع خط ألواح واحد فقط مظللاً كلياً باتجاه Y
٣. مع خطين للألواح مظللة كلياً باتجاه Y
٤. مع ثلاثة خطوط للألواح مظللة كلياً باتجاه Y
٥. مع خط واحد فقط (أربعة ألواح) مظللاً كلياً باتجاه X
٦. مع خطين للألواح مظللة كلياً باتجاه X
٧. مع لوح واحد مظللاً فقط
٨. مع لوحين مظللين بالكامل باتجاه X و Y
٩. مع ثلاثة ألواح مظللة باتجاه X ولوحين بالكامل باتجاه Y
١٠. مع لوحين مظللين بالكامل باتجاه X ولوح واحد باتجاه Y
١١. مع ثلاثة ألواح مظللة بالكامل باتجاه X ولوح واحد باتجاه Y
١٢. مع لوحين مظللين بالكامل باتجاه Y فقط

ملاحظة:

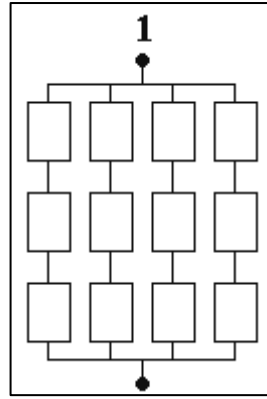
يدل الرمز (1) في التمثيل الرقمي للبرنامج على ان اللوح الشمسي يعمل بالكامل وعدم

وقوع ظل عليه. أما الرمز (0) يدل على ان اللوح بالكامل مظللاً وخارج نطاق الخدمة.

التمثيل البياني



التمثيل التخطيطي



التمثيل الرقمي للبرنامج

1111
1111
1111

يظهر التمثيل التخطيطي لصفيف PV في الحالة رقم 1 وهي تعمل بالكامل وبدون

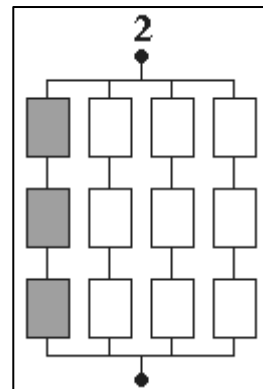
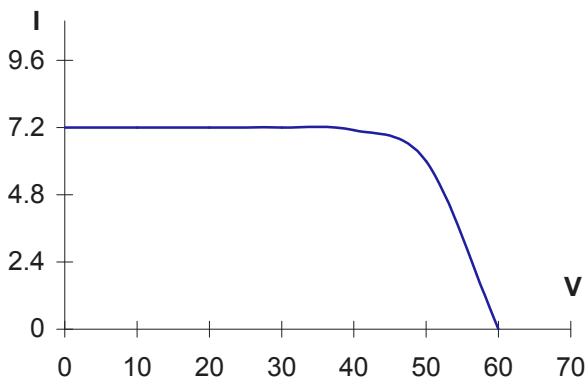
تظليل، وكذلك يدل التمثيل البياني على ان أعظم قدرة (Pmax) متحصل عليها في هذه

الحالة تساوي (463.1Watt) الناتجة من حاصل ضرب كل من: أعظم شدة تيار (I_{max})

وأعظم جهد (V_{max}) وكما مبين بالمعادلة التالية لكن طريقة الحصول على هذين

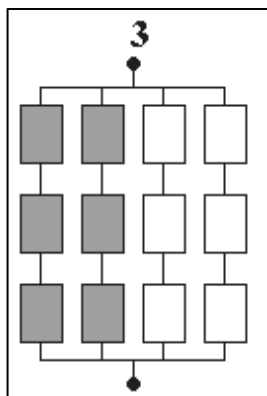
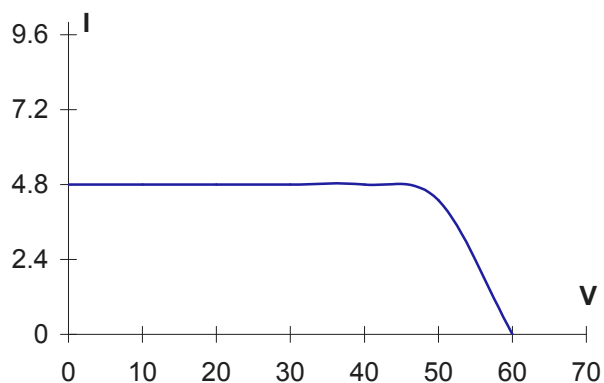
العاملين هو من منحنى I-V (موضح بالشكل 5-2) وبنفس الطريقة للحالات الباقية لغاية

$$P_{max} = I_{max} * V_{max} \quad \text{رقم 6 :}$$



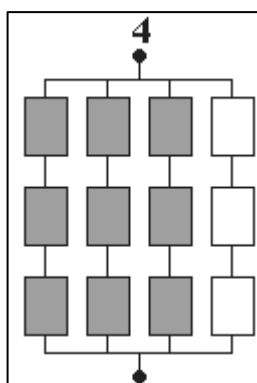
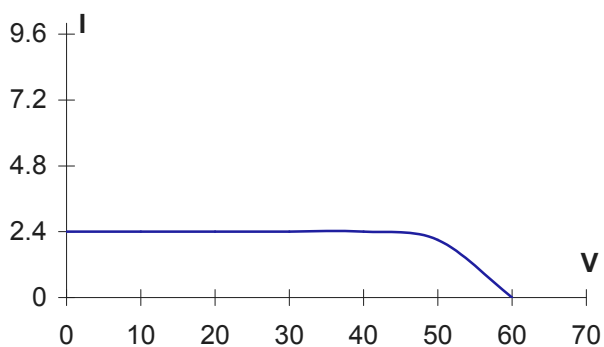
Pmax= 347.3Watt

0111
0111
0111



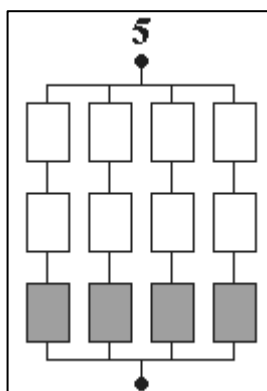
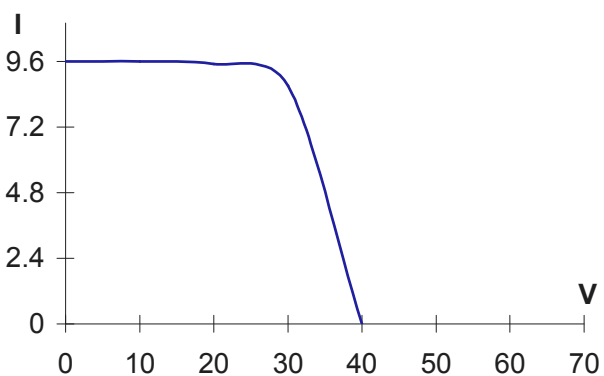
$P_{max}=231.6$ Watt

0011
0011
0011



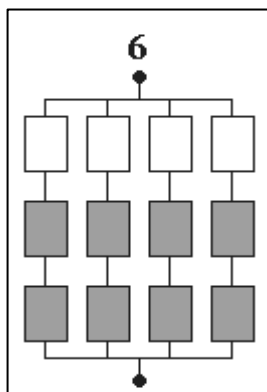
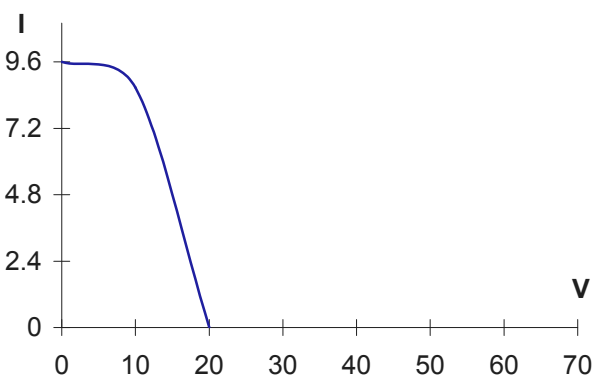
$P_{max}=115.8$ Watt

0001
0001
0001



$P_{max}=308.7$ Watt

1111
1111
0000

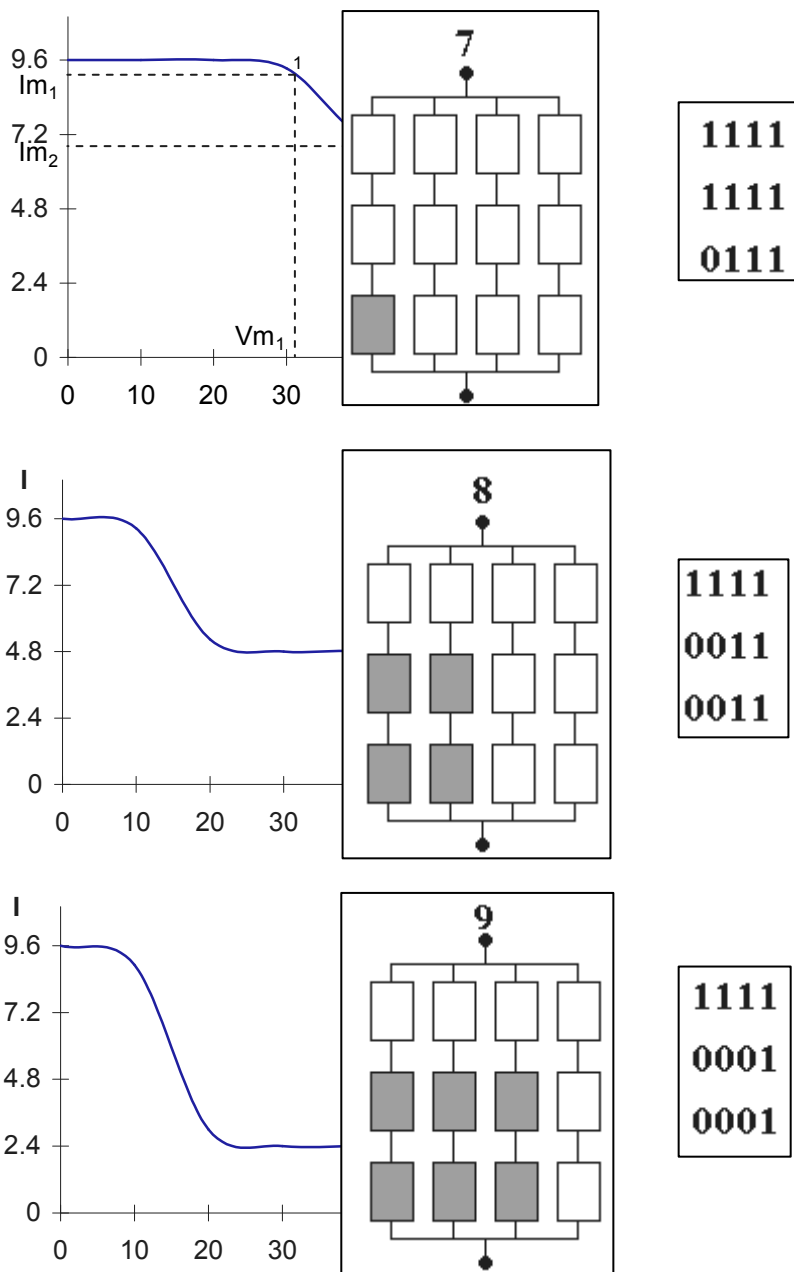


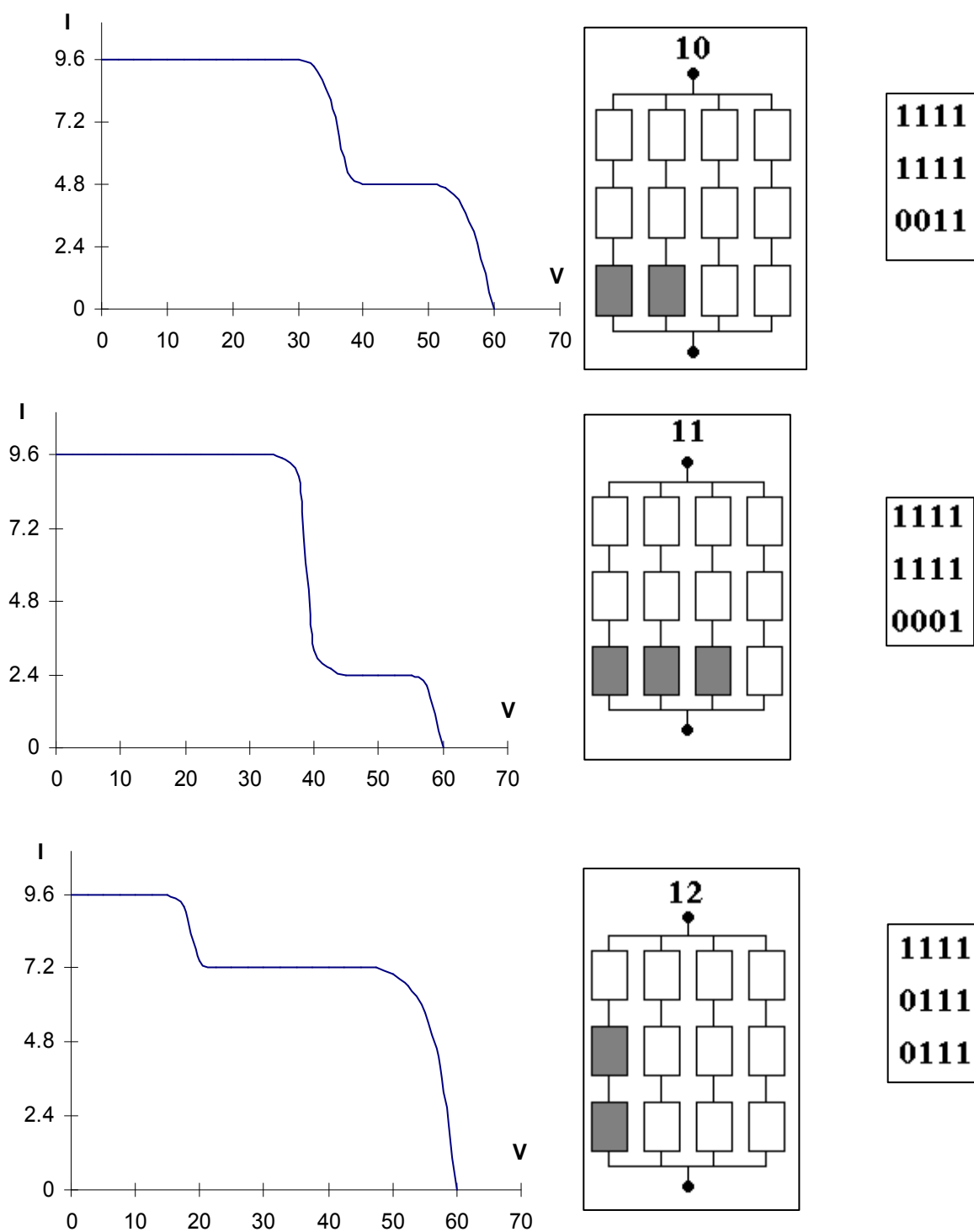
$P_{max}=115.8$ Watt

1111
0000
0000

ويختلف الأمر في الحالات الأخرى من 7 إلى 12 لوجود نقطتين للقدرة العظمى،

وكل نقطة لها (I_{max}) و (V_{max}) ، وتحدد نقطة التشغيل المثالية آلياً باستخدام أجهزة تحكم خاصة في محطات القدرة الكهربائية والتي تعتمد على حمل التشغيل [26].



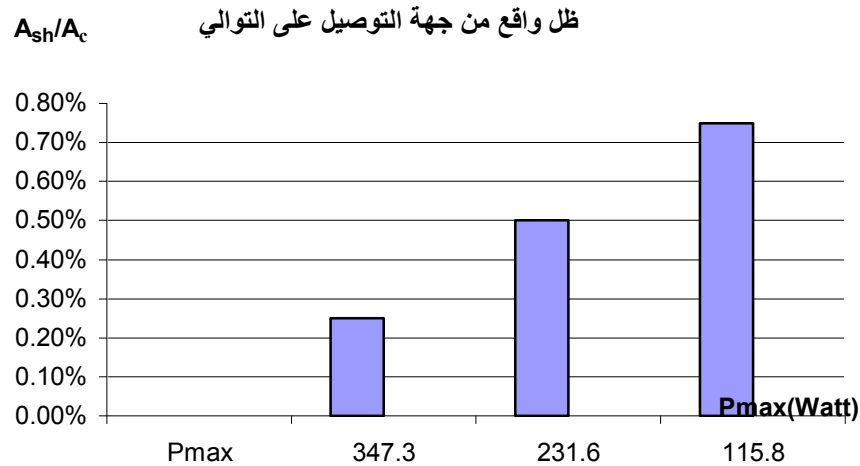


الشكل (5-13) التمثيل الرقمي للبرنامج، التمثيل التخطيطي والتمثيل البياني لصفيف ألواح PV مركبة من اثني عشر لوح

6-5 نتائج المحاكاة

تبين محاكاة صفيف PV إن لكل شكل من حالات الظل المذكورة إنتاجية مختلفة عن الأخرى ويعود السبب في ذلك إلى الخلية المظللة.

وجد من خلال التجربة العملية والمحاكاة أن الظل إذا قطع مجاميع الخلايا من جهة الربط على التوالي كان أفضل من القطع على التوازي، كما هو موضح بالحالة رقم 2، حيث كانت إنتاجية الصفيف 347 واط أما في الحالة رقم 5 فإن إنتاجية الصفيف تساوي 308 واط. وبنفس السياق في الحالتين 3 و 6، وكذلك لتصميم دائرة اللوح والتركيب في الحقول له الدور المهم في إنتاجية اللوح، ويمكن تمثيل إنتاجية الصفيف مع نسبة المساحة المظللة من الصفيف إلى المساحة الكلية كما مبين بالشكل (5-14).



شكل (5-14) القدرة الإنتاجية للصفيف مع المساحة النسبية للظل

7-5 تقدير إنتاجية الحقل الشمسي

يمكن تقسيم الحقل الشمسي إلى صف أول وإلى صفوف تالية وسبب هذا التقسيم لإختلاف حالة الظل على الحقل حيث لا يقع الظل على الصف الأول إلا من أشياء مجاورة وإذا وجدت يجب أن تحسب مساحة الظل. أما الصفوف التالية فإن ظل الصفوف يقع بعضها على بعض وبالتالي فإن المساحة المظلمة ستكون متساوية لكافة الحقل فإذا ما كان هنالك حقل عدد صفيفه (m) وعدد صفوفه (n)Rows، القدرة المنتجة من الصف الأول (P_{max1}) والمنتجة من الصفوف التي تليه كانت (P_{max n}).

وبالتالي فإنه يمكن تحديد إنتاجية حقل كامل محتوي على n من الصفوف وعدد m من الصفيف فالطاقة المنتجة من الحقل ستكون على النحو الآتي:

$$P_{total} = P_{max n} \times (n-1) \times (m) + P_{max 1} \times (m) \quad (5.1)$$

حيث: P_{total} = القدرة المنتجة الكلية للحقل الشمسي، W/m^2

$P_{max 1}$ = القدرة المنتجة من صفيف يقع في الصف الأول، W/m^2

$P_{max n}$ = القدرة المنتجة من صفيف يقع في الصف الثاني، W/m^2

m = عدد صفيف الحقل الشمسي

n = عدد صفوف الحقل الشمسي

8-5 ملخص الفصل الخامس

ما تم إنجازُه في هذا الفصل هو:

١. دراسة الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية ومن خلالها تم تحديد تأثير سقوط

الظل على الألواح الشمسية.

٢. إجراء تجربة مختبرية لغرض دراسة القدرة الخارجة من الألواح إثر تظليلها.

٣. محاكاة ألواح شمسية مربوطة بتوصيلة محددة ودراسة احتمالية وقوع الظل

لأشكال متوقعة ومدى تأثيرها على القدرة الخارجة للصفيف، وذلك من خلال

برنامج تم تمثيل الألواح بصورة رقمية وحساب أعظم قيمة للقدرة الخارجة من

الصفيف بوحدة الواط.

الفصل السادس

الأسئئناجات والتوصيات

1-6 : الاستئناجات

2-6 : التوصيات

1-6 الاستنتاجات

مما سبق نستنتج ثلاث محاور أساسية، وهي:

المحور الأول: تأثير الأبعاد التصميمية للحقل الشمسي على سلوك الظل في الحقل. حيث

تعتبر مساحة الظل دالة في العناصر الأربعة الآتية:

١. الموقع الجغرافي: زاوية خط العرض (L) كلما أبتعد الموقع عن خط الاستواء

(زادت دائرة خط العرض) زاد الظل بسبب انخفاض زاوية ارتفاع الشمس.

٢. الزمن: اليوم والساعة، المتمثلة في زاوية ارتفاع الشمس (α) وزاوية اتجاه الشمس

(ϕ) حيث كلما قلت (α) وزادت (ϕ) زاد الظل.

٣. أبعاد اللاقط الشمسي: طول وعرض اللاقط (L_c, W_c) وزاوية اتجاه وميل

اللاقط (S, ψ) على التوالي.

٤. مواصفات الحقل: المسافة الفاصلة بين الصفوف (V)، ارتفاع المدرج في الحقول

المدرجة (Y_{step}) وزاوية ميلان المنحدر (λ) في الحقول المائلة حيث كلما زادت

المسافة الفاصلة بين صفوف الحقل الشمسي وزاد ارتفاع المدرج في الحقول

المدرجة وزادت زاوية ميلان المنحدر في الحقول المائلة كلما قل الظل.

المحور الثاني: تأثير الأبعاد التصميمية للحقل الشمسي على شدة الإشعاع الشمسي.

١. طول صفوف الحقل الشمسي: حيث كلما زاد طول صف الحقل الشمسي

كلما انخفضت شدة الإشعاع الشمسي في منتصف صف الحقل الشمسي.

٢. المنطقة المظلة والمشمسة: في المنطقة المظلة تتخضع شدة الإشعاع الشمسي

للحقل بصورة كبيرة وذلك لغياب المركبة المباشرة للإشعاع الشمسي والتي تمثل

القيمة العظمى لشدة الإشعاع، أما الزيادة الطفيفة في شدة الإشعاع الشمسي الناتجة

من زيادة المسافة الفاصلة بين الصفوف فيعزى السبب في ذلك إلى تعاضد

معاملات الشكل لمركبتي الأشعة المنتشرة والمنعكسة.

٣. استنتاج علاقة لشدة الإشعاع الشمسي في المنطقة المظلة من الحقل

(معادلة (4-15)).

٤. استنتاج علاقة تربط بين نسبة شدة الإشعاع الشمسي للحقل إلى شدة الإشعاع

الشمسي الكلي (H_{field}/H_t) والموقع الكارتيزي للاقط الشمسي في الحقل (معادلة

(4-12)).

المحور الثالث: تأثير الظل الجزئي للخلايا الشمسية على إنتاجية الحقل الشمسي.

١. لكل شكل من أشكال الظل إنتاجية مختلفة عن الأخرى ويعود السبب في ذلك

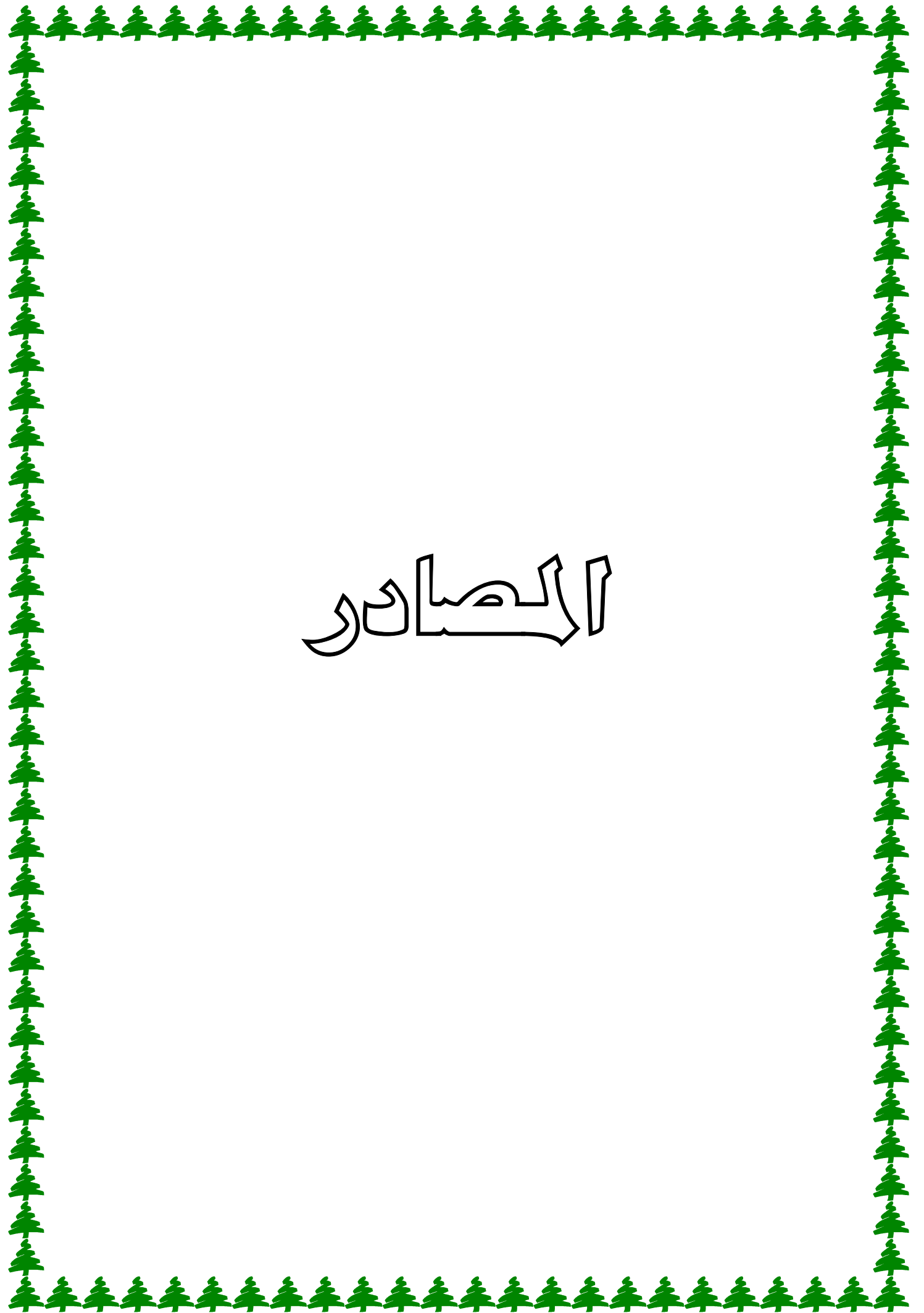
لطريقة توصيل الخلايا الشمسية.

٢. تظليل الألواح الشمسية من جهة التوصيل على التوالي يكون أقل ضرراً نسبياً مع

التظليل من جهة التوصيل على التوازي.

2-6 التوصيات

١. يجب دراسة تأثير درجة حرارة سطح الخلية على إنتاجيتها وتأثر ذلك بالظل الواقع عليها.
٢. دراسة معاملات الشكل في الحقول الشمسية وأثرها على شدة الإشعاع الشمسي ومقارنتها بنتائج التجربة الميدانية في هذا البحث.
٣. اختلاف خصائص التيار الناتج عن الصف الأول عنه في الصفوف الأخرى قد يخلق نوع من المشاكل التقنية والخاصة بتوحيد التيار ولهذا فأنا نقترح أن يكون عرض الحقل قصير بحيث يتم استهلاك كافة قدرة الصف الأول في تغذية المحطة من الطاقة الكهربائية.



المصادر

المصادر

١. ياسر نصار، "الطاقة الشمسية - التطبيقات الحرارية"، جامعة سبها، (تحت النشر).
2. M. Horio, K. Kurokawa, "*Workshop on Sustainability and Survival Paths over 100 Years*", Side Event of World Renewable Energy Congress 8, Tokyo University of Agriculture and Technology, p. 57, August 29, 2004.
3. Don Kilfoyle, "*Evaluation of shading on ASE Americas ASE-300-DGF/50 Photovoltaic Module*", Florida Solar Energy, March (1997).
4. Woyte, A., Nijs, J., Belmans, R., "*Partial Shadowing of Photovoltaic Arrays with Different System Configurations: Literature Review and Field Test Results*", Solar Energy", 74 (2003), pp. 217-233.
5. Bishop, J.W., "*Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits*", Solar Cells 25, 73-89, 1988.
6. Spirito, P., Albergamo, V., "*Reverse bias power dissipation of shadowed or faulty cells in different array configurations*", In: Proceedings of the 4th EC PV Solar Energy Conference, Stresa, pp. 296-300, 1982.

7. Gupta, A., Milnes, A.G., *"Effects of shading and defects in solar cell arrays"*, In: Proceedings of the 15th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Kissimmee, pp. 1111-111, 1981.
8. Arnett, J.C., Gonzales, C.C., *"Photovoltaic module hot spot durability design and test methods"*, In: Proceedings of the 15th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Kissimmee, pp. 1099-1105, 1981.
9. Bhattacharya, G., Neogy, C., *"Removal of the hot-spot problem in photovoltaic modules and arrays"* Solar cells 31, 1-12, 1991.
10. Shepard, Jr. N.F., Sugimura, R.S., *"The integration of bypass diodes with terrestrial photovoltaic modules and arrays"*, In: Proceedings of the 17th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, FL, pp.676-681, 1984.
11. Appelbaum, J., Bany, J., *"Shadow effect of adjacent solar collectors in large scale systems"*. Solar energy, Vol. 23, 497-507, 1979.
12. Appelbaum, J., Bany, J., *"The effect of Shading on the design of a field of solar collectors "*. Solar cells 20 (1987) 201-228.
13. Abete, A.; Barbisio, E.; Cane, F.; Demartini, P. *"Analysis of photovoltaic modules with protection*

- diodes in presence of mismatching*". Photovoltaic Specialists Conference, 1990., Conference Record of the Twenty First IEEE.
14. Kovach, A.M., 1995 *"Effect of Partial Shading on the Energy Performance of Photovoltaic Arrays Integrated onto Buildings"*, VDI-Verlag, Dusseldorf.
 15. Ross, M., Royer, J., *"Photovoltaics in Cold Climates"*, IEA International Agency, James & James Inc., 1999.
 16. Herrmann, W., Adrian, M., Wiesner, W., 1998. *"Operational behavior of commercial solar cells under reverse biased conditions"*. In: Proceedings of 2nd World Conference on PVSEC, Vienna PP. 2357-2359.
 17. Herrmann, W. Wiesner, W., *"Modelling of modules – The effects of non-uniform irradiance on performance measurements with solar simulators"*, 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK.
 18. Stefan K., Kim O., Volker Q. *"Photovoltaic Energy Systems"*. 20 Dec 2004 From net. www.emsolar.ee.tu-berlin.de
 19. Hsieh J. S., *"Solar Energy Engineering"*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1981.

20. Rabl, Jan F. Kreider, "*Heating and Cooling of Buildings Design for Efficiency*", McGraw-Hill, Inc. (1994).
21. Nassar Y.F., Yousif S.A., Salem A.A., Hmood O.B., Hadi H.H., "*Shadow Effect on the Arrangement of Solar Conversion Systems in Solar Fields*", World Renewable Energy Congress II, Indinosa 22-25 Jan 2005.
22. Duffie, J. A., Beckman, W. A., "*Solar Engineering of Thermal Process*", John Wiley & Sons inc., 2nd edition, 1991.
23. Lui, B. Y. and Jordan, R.C., "*Availability of Solar Energy for Flat-Plate Solar Heat Collectors*", ASHRAE, In Application of Solar Energy for Heating and Cooling of Building,(1977).

٢٤. أ.لوجي، ج.أ.روجي، ترجمة / نور الدين الإخوة، عبد الوهاب شيخ روحو، أحمد الحصائري، مراجعة / محمد المعالج، " *الخلايا الشمسية من المكونات إلى الجهاز ومن الجهاز إلى التطبيقات* "، تونس - المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ١٩٩٤.

٢٥. مارتن أ.كرين، ترجمة / يوسف حسن، " *الخلايا الشمسية - مبادئ العمل، التقنية وتطبيقاتها* "، جامعة الموصل، ١٩٨٩.

26. William H.Hayt, Jr., Jack E.K., Steven M.D., "*Engineering Circuit Analysis*", Sixth Edition, 2002.

Abstract:

The shadow is considered as an important element, when designed solar fields and which should be taken when designing any solar system. The solar cells produced electricity power due to connected on series, and when the shadow incidenced on one of these cells the output power will reduced, and the losses in energy yield is more greater than shaded part's power, whereas, the incident shadow on surface of solar collectors is decreased from energy yield amount of fields.

For this cause, the project of this study is limited to definy shadow path as a function in time and it's effect on solar fields power.

To achieve this work; two path of study are determined, the first path: theoretical path which included derivation and analysis of mathematical forms especially for instantaneous presentation of the shadow in most types of solar fields and to calculate solar irradiance, also evaluate energy yield of solar field.

However, the other path: included two experiments to get out some information, which are not presented in references, for example solar irradiance intensity on the rows of the field and the effect of shadow on electric charsterstics of solar module (I-V).

So, this study comes to replace the lack in specialized scientific libraries particurly in Arabic language.

Treatment with a computer program is written to treat the information.

The most important results obtained from this research may be pointed as following:-

1. Finding coordinates of instantaneous shading in most types of solar fields.
2. Determining effect of field variables on shadow area.
3. Calculating solar irradiance on rows of solar field (H_{field}) as a function in time.
4. Evaluation of electric energy produced from solar field.

Also, a program in Visual Basic Language is achieved which presents Fortran program's results in monitoring form as a visual figure from which, we can evaluate the effect variables on shape and position shadow area in solar field rows.

This study contributed in a good understanding the nature of incident shadow, which is the most forgotten topic in references, by derived one mathematical equation it presents shadow coordinates for all types solar fields.

The more important contribution in this field is a detailed explanation of the manner of expecting solar module power, when the shadow incidence on rows, through experimental study and make a simulation for other types of internal connections in solar module.

From the topic of the research, 2 paper were published and one is accepted for publication in regional and international conferences, these are:

1. Yasser F. Nassar, Haider H. Hadi, Abubaker A. Salem, "***Shadow Effect on the Arrangement of Solar Conversion Systems in Solar Fields***" Arab International Conference on Solar Energy

Applications, Tripoli- Libya, 20-22 November, 2004. (In Arabic language).

2. Yasser F. Nassar, Haider H. Hadi, Abubaker A. Salem, ***"Elimittion of solar irradiance intincity in solar fields "***, World Renewable Energy & Environment Conference, 22-24 January 2006. (In Arabic language).

3. Yasser F. Nassar, Haider H. Hadi, Abubaker A. Salem, ***"Evaluation of Instantaneous Shading in Solar Fields of Flat-Plate Collectors"***, World Renewable Energy Congress IX and Exhibition Conference, 19-25August 2006, Florence-Italy. (Accepted)



Republic of Sudan
Um Durman Islamic University
College of Postgraduate Studies

Tracking of Shadow Path and Studying it's Effect On (PV) Solar Fields

A thesis

submitted to the Department of Mechanical Engineering of Um Durman Islamic University to obtain the
master degree of Science in mechanical engineering (specialization of Solar Energy)

By

Haider Hassan Hadi

(B.Sc. 1995)

Registration No. : 6/50650

Supervised By

Dr.

Yasser F. Nassar

Mech. Eng. Department

Faculty of Engineering & Technology

Sebha University

Great Jamahiriya

Cosupervised By

Dr.

Mozamel M. Ali

Head, Mech. Eng. Department

Faculty of Engineering Sciences

Um Durman Islamic University

Republic of Sudan

Academic Year: 2005-2006