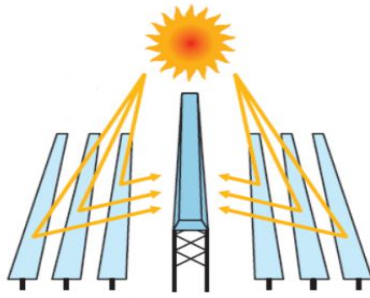
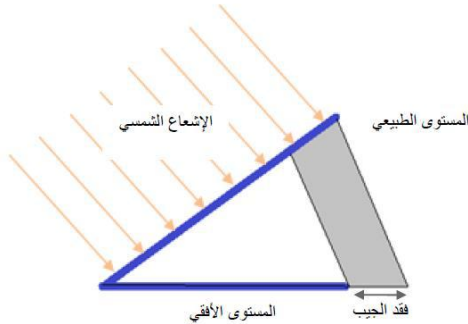
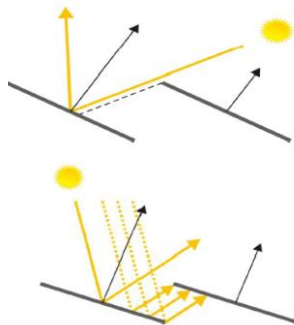


دراسة الفقودات البصرية لعاكسات فريزل الخطية

مصطفى الطاهر العاتب

مركز الطاقات المتجددة- جامعة مصراتة، الهندسة الميكانيكية، مصراتة، ليبيا
m.elayeb@rec.misuratau.edu.ly

بشير محمد قواسم

مركز الطاقات المتجددة- جامعة مصراتة، الهندسة الميكانيكية، مصراتة، ليبيا
b.gwasem@rec.misuratau.edu.lyشكل 1. فكرة عمل عاكسات فريزل الخطية^[3]شكل 2. فقد جيب التمام^[3]

شكل 4. فقد الحجب

شكل 3. فقد الظل

المخلص— تعتبر عاكسات فريزل الخطية إحدى تقنيات التركيز الشمسي، وقد سعى هذا البحث إلى دراسة أهم الفقودات البصرية بها والتمثلة في: فقد جيب التمام وفقد الظل وفقد الحجب، واستنباط طرق رياضية لحسابها لحظياً، ومن ثم إنشاء برنامج محاكاة بالماتلاب لدراسة تأثير قيم بعض المتغيرات التصميمية للمنظومة على هذه الفقودات، وبالتالي على الكفاءة البصرية للمجمع التركيزي. اعتمدت منهجية المحاكاة على اختيار حالة مرجعية تثبت عندها قيم المتغيرات التصميمية خلا المتغير المراد دراسته، وتشغيل البرنامج لتسجيل النتائج للحظية لكل مرآة على مدار 26279 نقطة زمنية سنوياً ولكل قيمة من قيم المتغيرات التصميمية التي تم دراستها، ثم حساب المتوسطات الزمنية والمكانية لكل منها.

وقد وجد أن توجيه المنظومة في اتجاه شمال - جنوب يعطي أفضل متوسط سنوي للكفاءة البصرية (57.2 %)، مع أن المتوسط السنوي لمعامل الظل (76 %) والحجب (98 %) كانا أفضل عند توجيه المنظومة في اتجاه شرق-غرب (89.2 %، 99.1 % على الترتيب)، ويعزي ذلك لتأثير معامل جيب التمام الذي كان في الحالة الأولى (75%) وتراجع إلى (62%) في الثانية. وكان تأثير ارتفاع المستقبل والمسافة البينية على معاملات الفقودات المدروسة تأثيراً طردياً، بينما نتج عن زيادة عرض المرآة نقص في المتوسط السنوي للكفاءة البصرية كما هو متوقع. وفي المجمع فإن النتائج كانت منطقية ودلت على سلامة النمذجة وموثوقية البرنامج.

الكلمات المفتاحية : التركيز الشمسي، عاكسات فريزل، الفقودات البصرية، فقد الظل، فقد الحجب.

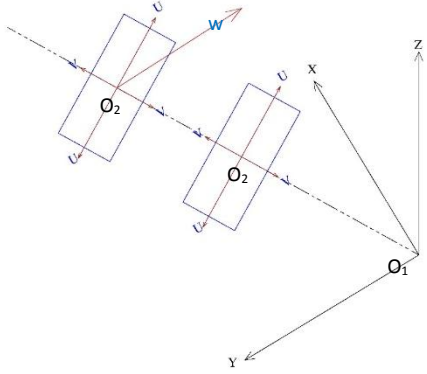
1. المقدمة

يصل الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض منخفض الكثافة (بمتوسط 1 كيلو وات لكل متر مربع تقريباً)، الأمر الذي يتطلب تركيزه عند استخدام الدورات الحرارية في التوليد الكهرو شمسي^[1]. تعتبر عاكسات فريزل الخطية أحد التقنيات الواعدة في هذا المجال، وتعتمد فكرة عملها على استخدام مجموعة من العاكسات الخطية المستوية أو شبه المستوية، التي تتحرك على محور واحد لتتبع المسار الظاهري للشمس، وتركز الإشعاع الشمسي نحو مستقبل خطي مثبت أعلاها يحوي أنابيب الامتصاص، شكل (1)، لتصل درجة حرارة الماء المتدفق في الأنابيب الماص إلى حوالي 450°C^[2]. رغم أن كفاءة التحويل في عاكسات فريزل أقل من نظيراتها في المركزات الشمسية الأخرى، إلا أنها تمتاز عنها ببساطة هياكل التثبيت لانخفاض تأثير الرياح عليها، ولها أفضل كفاءة لاستخدام الأراضي، كما تمتاز بسهولة تنظيف العاكسات، وصيانتها، وتجميعها، وتشغيلها^[3]. بيد أن الجمع بين مزايا متحركة ومستقبل ثابت ينتج عنه بعض الفقودات البصرية من أهمها: فقد جيب التمام (أي جيب تمام زاوية السقوط الشمسية والتي تختلف من مرآة لأخرى لاختلاف توجيهها وبالتالي اختلاف المساحة الفعالة وقيمة الإشعاع المنعكس من كل منها^[3])، شكل ((2))، وفقد الظل (وهو وقوع السطح العاكس للمرآة أو جزء منه في ظل مرآة مجاورة، شكل ((3))، وفقد الحجب (وهو اعتراض المرآة للأشعة المنعكسة من المرايا التي خلفها^[3])، شكل ((4)).

تناولت العديد من الأوراق البحثية منظومات فريزل بالدراسة والتحليل؛ فعلى سبيل المثال، درس (Sharma & Kedare 2015) تأثير البارومترات التصميمية في مجمعات فريزل على الفقد في الطاقة وصافي الطاقة المجمع بمائع التشغيل والكهرباء المولدة وتكلفتها. ووجدوا أقل تكلفة

استلمت الورقة بالكامل في 31 يوليو 2022 وروجعت في 4 سبتمبر 2022
وقبلت للنشر في 30 سبتمبر 2022

ونشرت وماتحة على الشبكة العنكبوتية في 1 ديسمبر 2022.



شكل 5. يوضح نظامي الإحداثيات

وللتحويل بين النظامين يتم استخدام المصفوفة التالية^[7] :

$$T_{12} = \begin{bmatrix} \cos a_m & -\sin a_m & 0 \\ \cos \beta_m \cdot \sin a_m & \cos \beta_m \cdot \cos a_m & \sin \beta_m \\ -\sin \beta_m \cdot \sin a_m & -\sin \beta_m \cdot \cos a_m & \cos \beta_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

كما تم تعريف متجهات وحدة أحدهما منطبق على الأشعة الساقطة وفي اتجاه الشمس (\vec{U}_{SC}) والثاني منطبق على الأشعة المنعكسة وفي اتجاه المستقبل (\vec{U}_{CC})، والأخير عمودي على المرآة (\vec{U}_{NM})، والتي تعطى بالعلاقات التالية:

$${}^1\vec{U}_{SC} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha_s \cdot \sin a_s \\ -\cos \alpha_s \cdot \cos a_s \\ \sin a_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

$${}^1\vec{U}_{CC} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_s \cdot \sin a_s \\ \cos \alpha_s \cdot \cos a_s \\ -\sin a_s \end{bmatrix} \quad (5)$$

$${}^1\vec{U}_{NM} = \begin{bmatrix} \sin \beta_m \cdot \sin a_m \\ \sin \beta_m \cdot \cos a_m \\ \cos \beta_m \end{bmatrix} \quad (6)$$

وأصطلح على الرمز العلوي الأيسر في رمز أي متجه لتوضيح منظومة الإحداثيات المستخدمة للتعبير عنه، فمثلاً:

$${}^2\vec{U}_{SC} = T_{12} {}^1\vec{U}_{SC} \quad (7)$$

ج. النمذجة الرياضية لفقد جيب التمام

يعبر عن فقد جيب التمام اللحظي، بمعامل جيب التمام (F_{\cos})، ويتم حسابه عند أي لحظة من جيب تمام زاوية السقوط، بالعلاقة التالية:

$$F_{\cos} = \cos i = \vec{U}_{NM} \cdot \vec{U}_{SC} \quad (8)$$

د. النمذجة الرياضية لفقد الظل

لحساب المساحة المظللة عند أي لحظة زمنية لأي مرآة (1)، يجب

للكهرباء من بين عدة حالات تمت دراستها بمختلف التوجيهات والموقع^[4]. كما قام (Dai & Zhan 2015) بالتحليل الرياضي للفقدوات البصرية في مجمعات فريزل والتصميم الأمثل للبارامترات التصميمية وذلك من خلال تحليل الخصائص والفقدوات البصرية لمختلف الشرائح بالمنظومة^[5]. مؤخراً، عرض (Eddhibi et. Al. 2017) طريقة تصميم لدراسة تأثير هندسة مجمعات فريزل على كفاءتها، معتمداً في ذلك على نمذجة بصرية تستخدم كلاً من تتبع الشعاع (Ray Tracing) وطريقة مونت كارلو (Monte Carlo)؛ وتم استخدام الطريقة المقترحة لحساب الكفاءة البصرية وفقاً للظروف المناخية للجنوب التونسي، ووجد أنها تتراوح بين 0.4 شتاءً و 0.7 صيفاً^[6]. ويأتي هذا البحث في ذات السياق ليطور طريقة لحساب فقدي الظل^[7] والحجب^[8]، في حقول الهيليوستات بالمحطات البرجية ليناسب عاكسات فريزل، ودراسة تأثير بعض المتغيرات التصميمية عليها.

2. النمذجة الرياضية

تم إعداد نموذج رياضي لإيجاد الفقدوات البصرية المدروسة ومعاملاتها، عند أي لحظة زمنية، ولأي متغيرات تصميمية وزاوية ميل للمجمع، وذلك بعد استنباط علاقات رياضية لحساب هذه الفقدوات.

أ. آلية التتبع بحقول فريزل الخطية

تعرف زاوية سمت المنظومة على أنها الزاوية المحصورة بين مسقط المستقبل على المستوى الأفقي ومحور شمال - جنوب، ويرمز لها بالرمز (α_f)، وتستخدم لتوجيه منظومة فريزل بالنسبة للمحور المذكور سابقاً. تتحرك صفوف المرايا في مجمعات فريزل على محور واحد، حيث يتم تحديد قيمة زاوية الميل (β_m) لكل مرآة عند أي لحظة زمنية لتقوم المرايا بعكس الإشعاع الشمسي الساقط عليها إلى المستقبل في بؤرة المنظومة. تعطى زاوية الميل بالعلاقة التالية^[9]:

$$\beta_m = \frac{\alpha_p - \beta_i}{2} \quad (1)$$

حيث: α_p الزاوية الجانبية، و β_i الزاوية المحصورة بين الإشعاع المنعكس والمستوى الأفقي، وهي دالة في ارتفاع المستقبل وبعد مركز المرآة عن المستقبل في محور X.

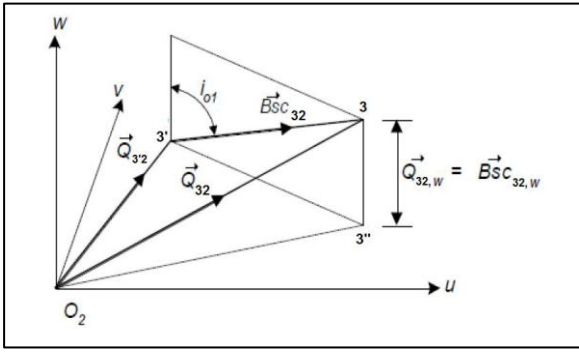
تعتمد الزاوية الجانبية على الحركة الظاهرية للشمس، ووضع المنظومة وعليه فإنها تكون دالة في زاوية ارتفاع الشمس وسمت الشمس والمرآة، والتي يمكن إيجادها كما يلي^[10]:

$$\alpha_p = \frac{\tan \alpha_s}{\sin(a_s - a_m)} \quad (2)$$

حيث إن: α_s زاوية ارتفاع الشمس، و a_s ، a_m زاوية سمت الشمس والمرآة على التوالي.

ب. أنظمة الإحداثيات

إلتزام النمذجة الرياضية، تم تعريف نظام إحداثيات الحقل (O_1) ونظام إحداثيات المرآة (O_2)، الشكل (5).



شكل 8. طريقة إيجاد المتجه (${}^2\vec{B}_{scj2}$)

يعبر عن فقد الظل اللحظي، بمعامل الظل (F_{sh}) وهو النسبة بين المساحة غير المظللة من السطح العاكس إلى المساحة الكلية عند أي لحظة.

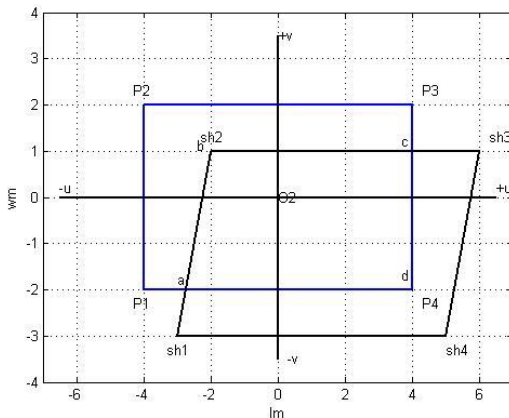
• فقد الحجب

بالمثل يتم التعبير عن فقد الحجب اللحظي بمعامل الحجب (F_{bi}) وهو النسبة بين المساحة غير المحجوبة من السطح العاكس إلى المساحة الكلية عند أي لحظة. وحساب المساحة المحجوبة تستخدم نفس الطريقة المستنبطة لحساب إحدائيات الظل بيد أن التعامل هنا مع المتجه \vec{U}_{cc} بدلاً من المتجه \vec{U}_{sc} .

• حساب المساحة المظللة والمحجوبة

بعد تحديد أركان الظل والحجب للمرأة المتوقع أن تسبب الظل في مستوى المرأة قيد الدراسة يصبح شكلا الظل والحجب معلومين، ويتم التعامل مع إحدائيات الظل والحجب في بعدين (u, v) على مستوى المرأة، وعليه يمكن إيجاد المساحة المظللة أو المحجوبة. ودقة النتائج فقد تم الأخذ بالحسبان جميع الاحتمالات الممكنة للظل والحجب، وفيما يلي شرح لأحد هذه الاحتمالات الموضح بالشكل (9):
يوضح الشكل (9) أحد احتمالات الظل أو الحجب المتوقع حدوثها في المرايا، حيث النقاط ($P_{1,2,3,4}$) هي إحدائيات أركان المرأة في مستواها، والنقاط ($sh_{1,2,3,4}$) هي إحدائيات أركان الظل أو الحجب في مستوى المرأة قيد الدراسة، وتعطى كما يلي:

$$sh_j = (2\vec{Q}_{j',u}, 2\vec{Q}_{j',v}) \quad (9)$$



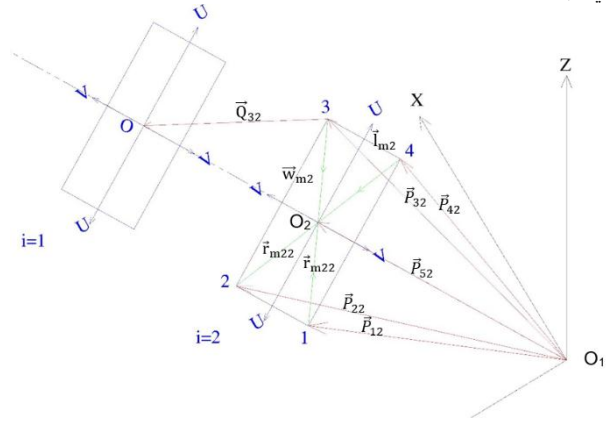
شكل 9. أحد احتمالات الظل أو الحجب الممكن حدوثها

وتعتبر النقاط (a, b, c, d) هي إحدائيات المساحة المظللة من المرأة، ويمكن إيجاد النقطة (a) بالعلاقة التالية:

$$a = \left(sh_{1,u} + \left(\frac{sh_{2,u} - sh_{1,u}}{sh_{2,v} - sh_{1,v}} \right) * (P_{1,v} - sh_{1,v}), P_{1,v} \right) \quad (10)$$

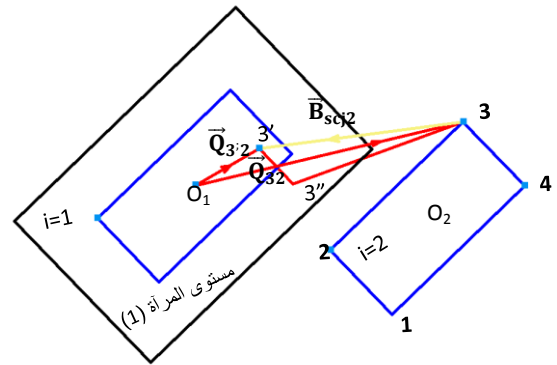
تحديد أركان الظل للمرأة (2) المتوقع أن تسبب الظل في مستوى المرأة قيد الدراسة. ولتحديد هذه الأركان يجب معرفة إحدائياتها، ولأن أركان هذه المرأة تتحرك في فضاء اتجاهي ثلاثي الأبعاد فأسهل الطرق لإيجاد إحدائياتها هو التعامل معها كمتجهات موضع ثلاثية البعد.

المتجه (\vec{P}_{j2}) هو متجه الموضع للنقطة (j)، تقع على المرأة 2. حيث إن ($j=5$) لمركز المرأة و($j=1$) للركن السفلي الأيمن للمرأة و($j=2,3,4$) لباقي أركان المرأة. ولإيجاد إحدائيات الركن 1 للمرأة 2، كما موضح بالشكل (6)، يستخدم الجمع الاتجاهي في مثلث ($O_1 5 1$) وبنفس الطريقة لباقي الإحدائيات.



شكل 6. طريقة إيجاد متجهات الموضع

ظل أركان المرأة (2) على المرأة (1) هو النقاط (j')، كما هو موضح في الشكل (7)، وعليه فإن متجهات الموضع لنقاط الظل هي \vec{Q}_{j2}^1 والتي يمكن إيجادها عن طريق طرح الاتجاهي للمتجهين ${}^1\vec{Q}_{j2}$ و ${}^1\vec{B}_{scj2}$ ولصعوبة إيجاد المتجه ${}^1\vec{B}_{scj2}$ في منظومة O_1 وإمكانية مقارنة إحدائيات ${}^1\vec{Q}_{j2}$ مع حدود المرايا، فيتم ضرب المتجهات في مصفوفة التحويل لنظام إحدائيات المرايا قبل طرح الاتجاهي.



شكل 7. المتجهات المستخدمة لإيجاد إحدائيات الظل

المتجه ${}^1\vec{B}_{scj2}$ هو متجه يعرف في اتجاه أشعة الشمس ويمر بالركن (j) للمرأة 2، ويتم إيجاده في منظومة 2 مباشرة. بالنظر إلى الشكل (8) إذا كانت النقطة (j') هي ظل النقطة (j) للمرأة المسببة للظل، والنقطة (j'') هي المسقط العمودي للنقطة (j) على مستوى المرأة الواقع عليها الظل، وبالتالي فمن الواضح من الشكل (8)، أن المركبة في اتجاه (w) للمتجه (${}^2\vec{Q}_{j2}$) تساوي المركبة في اتجاه (w) للمتجه (${}^2\vec{B}_{scj2}$). وعليه فيمكن إيجاد مقدار المتجه (${}^2\vec{B}_{scj2}$) عن طريق مركبة w للمتجه (${}^2\vec{Q}_{j2}$) وزاوية السقوط. أما بالنسبة لاتجاه المتجه فيتم ضربه في متجه الوحدة لأشعة الشمس بعد تحويله إلى نظام إحدائيات المرأة.

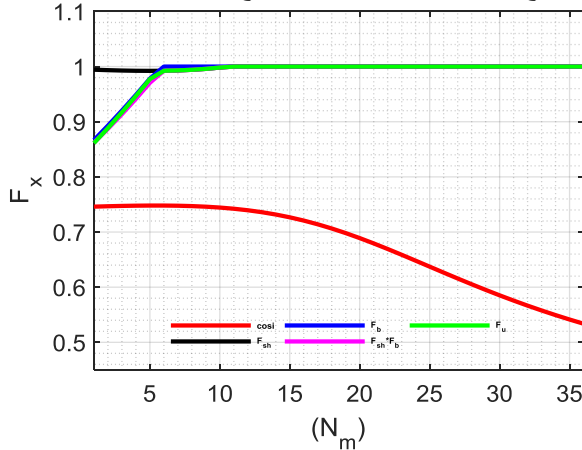
اللحظية والمتوسطات التي يمكن للبرنامج حسابها وتخزينها في حالة دراسة تغير زاوية سمت المنظومة.

أ. دراسة تأثير زاوية سمت المجمع على الفقدوات البصرية:

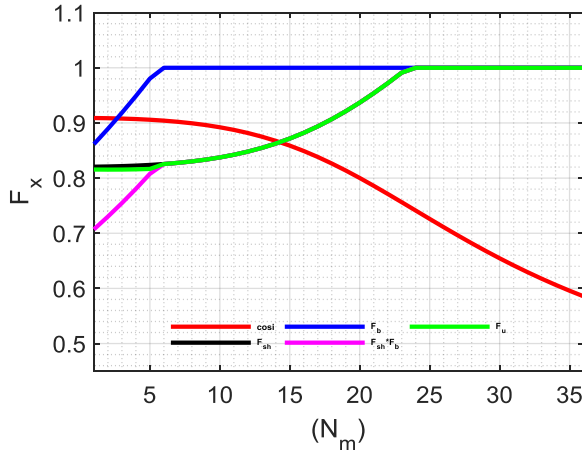
تم دراسة حساسية تغير زاوية سمت المجمع وتأثيرها على قيم الفقدوات البصرية وذلك بتشغيل البرنامج عند القيم المختارة لها وهي (0°, 23.45°, 90°)، وتحليل النتائج المتحصل عليها وتبسيطها في صورة مخططات وجداول ومتوسطات، وفي جميع الأشكال التالية، يعبر اللون الأحمر على معامل فقد جيب التمام، والأسود على معامل الظل، واللون الأزرق يعبر عن معامل الحجب، أما اللون الأرجواني فيعبر عن حاصل ضرب معامل الظل في الحجب، واللون الأخضر يعبر عن معامل الاستفادة.

أولاً/ القيم اللحظية لمعاملات الفقدوات البصرية:

يقصد بمعاملات الفقدوات البصرية اللحظية هي قيم هذه المعاملات لكل مرآة عند أي لحظة زمنية. ونظراً للحجم الهائل للنتائج اللحظية فسيتم عرض نموذج لهذه النتائج فقط، وقد تم اختيار يوم 10/30 (n=303) لعرض عينة من هذه النتائج للتحقق من منطقية الحسابات، عند الساعات (10، 12، 14) بالتوقيت الشمسي وكانت النتائج كما موضحة في الأشكال (10 - 18). وتم إضافة المسقط الجانبي للمجمع في الأشكال الخاصة بالظهيرة الشمسية والذي يمكن للبرنامج رسمه عند أي محاكاة وذلك للتوضيح، والتحقق من صحة عمل البرنامج.



شكل 10. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية (alpha_i=0°, t=10, n=303)



شكل 11. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية (alpha_i=23.45°, t=10, n=303)

وبالتالي يمكن إيجاد المساحة المظلة بالعلاقة التالية:

$$A_{sh} = |a_v - b_v| * \left(\frac{|d_u - a_u| + |c_u - b_u|}{2} \right) \quad (11)$$

كما تم دراسة تداخل الظل والحجب وإيجاد المساحة الفعالة من المرآة وهي المساحة التي نجت من الظل والحجب، بنفس الطريقة المتبعة في إيجاد المساحة المظلة والمحجوبة، ولكن هنا يتم التعامل مع إحدائيات الظل والحجب في مستوى المرآة معاً، وأخذ في الاعتبار كامل الاحتمالات الممكنة للتداخل، وتم التعبير عن النسبة بين المساحة الفعالة والمساحة الكلية للسطح العاكس بمعامل الاستفادة (F_u). وعليه فيصبح من الممكن تقييم دقة استخدام ضرب معامل الظل في الحجب للتعبير عن الفقدان والتي لا تأخذ في الحسبان المساحة المتداخلة بينهما.

3. برنامج المحاكاة

لدراسة الفقدوات البصرية المختارة وتأثير بعض المتغيرات التصميمية على الكفاءة البصرية لمنظومات فريزل، تم برمجة النمذجة الرياضية السابقة باستخدام الماتلاب (MatLab). يتكون البرنامج من 14 وظيفة لكل منها مهمة محددة، ويعمل البرنامج وفقاً للخطوات التالية:

أ. إدخال البيانات:

عند كل عملية محاكاة يتم إدخال مواصفات المجمع، المكان والفترة الزمنية للمحاكاة، وعدد النقاط الزمنية للمحاكاة.

ب. في كل محاكاة اللحظة زمنية يتم ما يلي:

- حساب موضع الشمس في القبة السماوية (زاوية ارتفاع وسمت الشمس)، والزاوية الجانبية.
- توجيه المرايا وفقاً لموضع الشمس (إيجاد زاوية ميل كل مرآة).
- تحديد شكل ميل المجمع (تحديد كل مرآة متوقع ان تسبب الظل على المرآة المجاورة لها).
- إيجاد معامل فقد جيب التمام والظل والحجب ومعامل الاستفادة لكل مرآة وتخزينها في جدول يحمل اسم اللحظة الزمنية للمحاكاة.

في حالة تشغيل البرنامج لمدة يوم كامل، فإنه يقوم بإيجاد ساعة الشروق والغروب لهذا اليوم وتكرار الخطوات السابقة بين هاتين الساعتين بخطوة تحدد من قبل المشغل.

كما للبرنامج إمكانية رسم المسقط الجانبي للمجمع موضح فيه زاوية ميل كل مرآة والزاوية الجانبية عند أي لحظة محاكاة. ونظراً للحجم الكبير للنتائج اللحظية المتحصل عليها لكل مرآة، تم استخدام متوسط القيم للمنظومة لكل متغير عند لحظة معينة (FF_x)، والمتوسط الزمني (يومي FF_xd، شهري FF_xm، سنوي FF_xy) لكامل المنظومة لكل متغير.

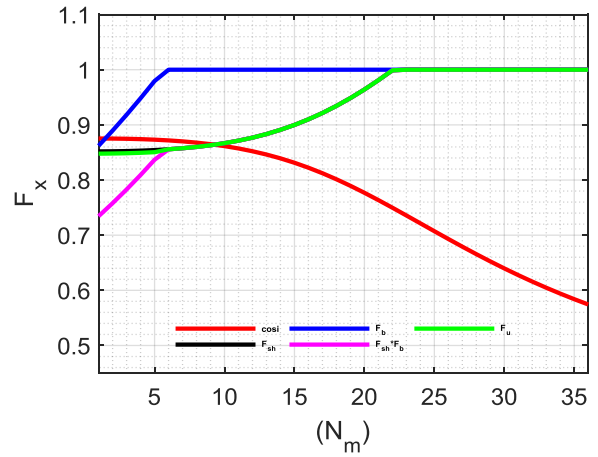
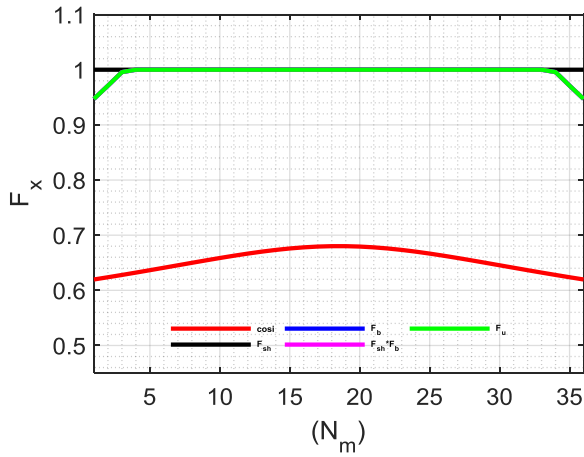
4. مناقشة النتائج

اعتمدت منهجية الدراسة على اختبار حالة مرجعية يتم فيها تحديد قيم مختلف البارامترات التصميمية، الجدول (1)، ودراسة الحساسية لكل متغير ومناقشة النتائج المتحصل عليها.

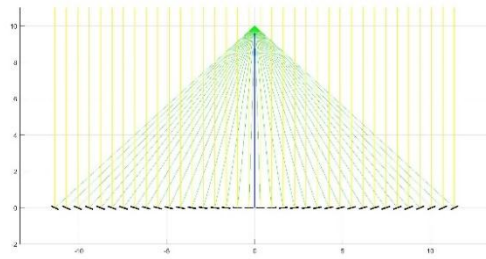
جدول 1. الحالة المرجعية لقيم المتغيرات والتوجيه للمجمع

القيمة المرجعية	
32.4°	زاوية خط العرض
0.5 m	عرض الشريط العاكس
10 m	طول المجمع
10 m	ارتفاع المستقبل
0.15	المسافة البينية بين المرايا
36	عدد صفوف المرايا
0°	زاوية سمت المجمع

سيتم المقارنة بين المتغيرات عن طريق المتوسط السنوي لمعاملات الفقدوات البصرية المدروسة، ولكن سيتم عرض نماذج من النتائج

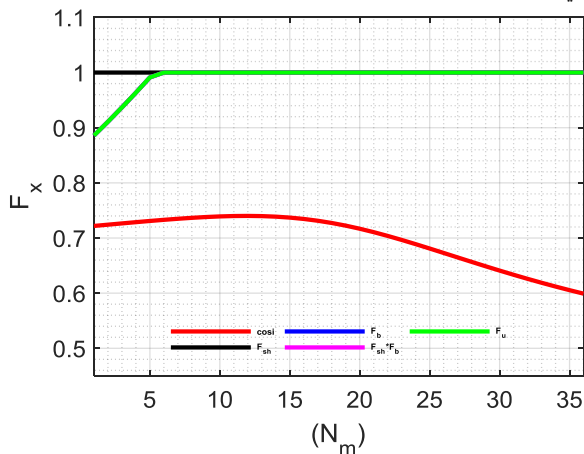


شكل 12. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية ($a_1=90^\circ, t=10, n=303$)



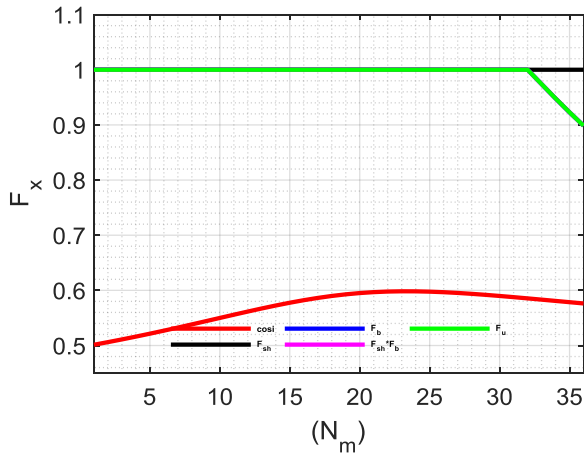
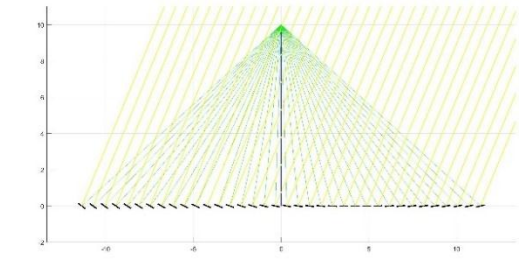
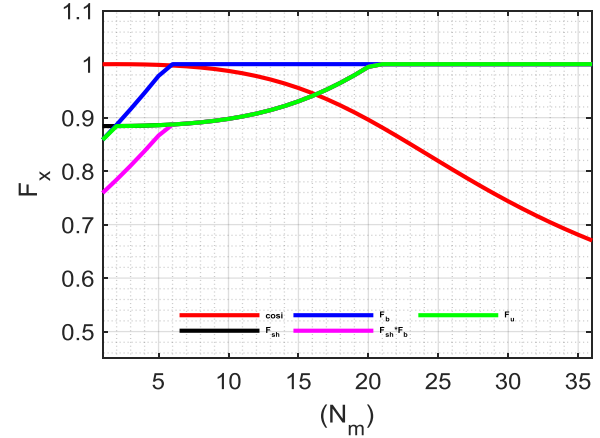
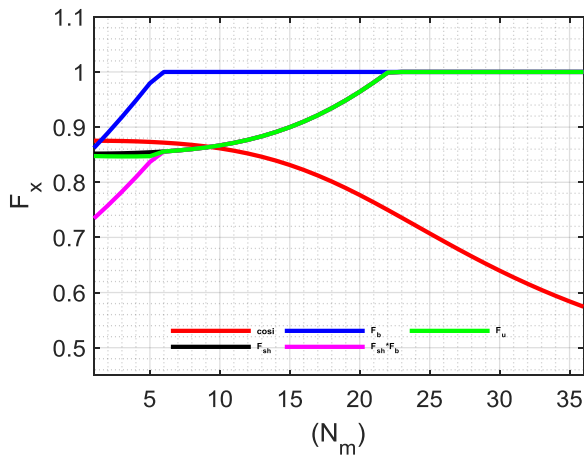
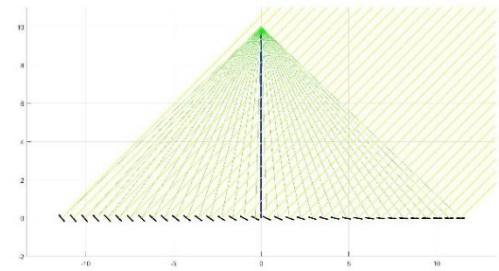
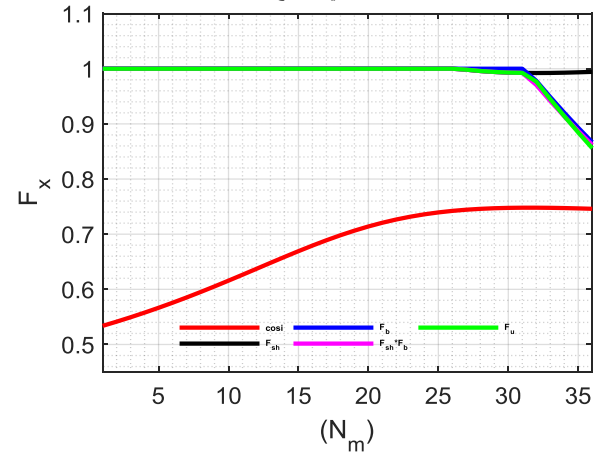
شكل 13. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية ($a_1=0^\circ, t=12, n=303$) والمسقط الجانبي للمجمع عند هذه اللحظة

توضح الأشكال (16، 17، 18) معاملات الفقدوات البصرية بعد ساعتين من الظهيرة الشمسية لزاويا سمت المجمع المدروسة. ويلاحظ هنا حالة التماثل مع نتائج الساعة العاشرة مع انعكاس القيم بالنسبة للمرايا، لحالتي التوجيه شرق - غرب وشمال - جنوب. وليس هذا الحال بالنسبة للتوجيه القطبي. يبدأ تأثير الظل للمنظومتين ($a_1 = 0^\circ, 90^\circ$) عند المرايا التي تزيد قيمة زاوية ميلها عن $34^\circ 18'$ على التوالي. ولا يظهر الظل في المنظومة الموجهة قطبياً. كما يبدأ تأثير الحجب عند المرآة التي يزيد قيمة زاوية ميلها عن 40° للمنظومة التي زاوية سمتها صفراً، ويبدأ بالتأثير عند المرآة التي تزيد قيمة زاوية ميلها عن 45° لمنظومة التي لها زاوية سمت 90° ، أما بالنسبة للمنظومة الموجهة قطبياً، فإنه يبدأ التأثير عند المرآة التي يزيد قيمة زاوية ميلها عن 30° .



الأشكال (10، 11، 12) توضح معاملات الفقدوات البصرية عند الساعة العاشرة بالتوقيت الشمسي، لزاويا سمت المجمع المدروسة. حيث يلاحظ أن قيمة معامل جيب التمام في جميع الأوضاع أعلى للمرايا يسار محور المنظومة منه للمرايا الواقعة يمين المحور وذلك عند الساعة العاشرة صباحاً، ويلاحظ إجمالاً ارتفاع قيم معامل جيب التمام للتوجيه شرق - غرب وبقل كلما اتجهنا إلى التوجيه شمال جنوب. كما يلاحظ أن تأثير الحجب يظهر في المرايا التي تزيد زاوية ميلها عن 10° في المنظومة صفرية زاوية السمت، في حين لا يظهر تأثير الظل عند هذه الساعة من النهار عند هذا التوجيه. أما في حالة التوجيه (شرق - غرب)، فإن تأثير الظل يظهر جلياً عند زاوية ميل المرايا تزيد عن 20° ويظهر تأثير الحجب عند زاوية ميل المرآة أكبر من 42° ، وفي حالة التوجه القطبي يبدأ تأثير الظل والحجب في المرايا التي تزيد زاوية ميلها عن 17° و 42° على التوالي.

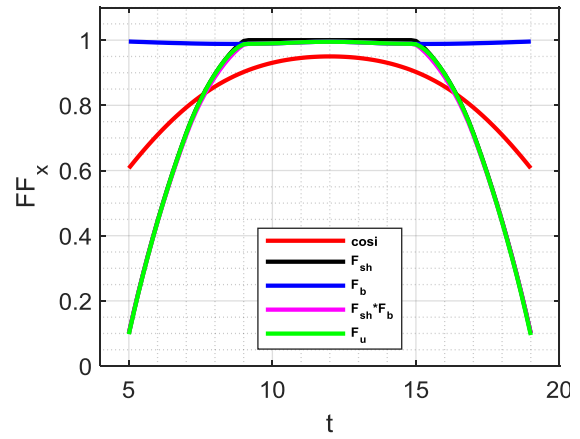
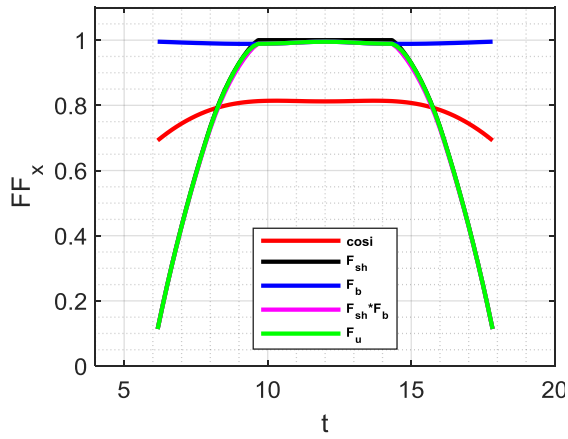
توضح الأشكال (13، 14، 15) معاملات الفقدوات البصرية عند الظهيرة الشمسية لزاويا سمت المجمع المدروسة. يلاحظ هنا حالة التماثل في حالة التوجيه شمال جنوب وهذا منطقي بطبيعة الحال. بينما لا يظهر فرق في حالة التوجيه شرق - غرب من حيث السلوك أما من حيث القيم فنلاحظ - ارتفاع قيم معامل جيب التمام إلى اقصى قيمة للمرايا المواجهة للشمس وهذا ايضا منطقي يعزز من مصداقية النمذجة والبرمجة. أما بالنسبة لمعاملات الظل والحجب، فلا يوجد تأثير للظل لقيم زاوية سمت المنظومة ($0^\circ, 23.45^\circ$)، ويبدأ تأثير الظل في المنظومة التي تميل بزاوية 90° عن محور شمال - جنوب عندما تكون زاوية ميل المرآة أكبر من 20° . ويظهر تأثير الحجب لنفس المنظومة في المرايا التي تزيد زاوية ميلها عن 44° درجة، وفي حالة المنظومة المنطبقة على محور شمال جنوب فيظهر تأثير الحجب في المرايا التي تزيد قيمة زاوية ميلها عن 22° .

شكل 14. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية ($a_i=23.25^\circ$, $t=12$, $n=303$) والمسقط الجانبي للمجمع عند هذه اللحظةشكل 14. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية ($a_i=23.25^\circ$, $t=12$, $n=303$) والمسقط الجانبي للمجمع عند هذه اللحظةشكل 15. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية ($a_i=90^\circ$, $t=12$, $n=303$) والمسقط الجانبي للمجمع عند هذه اللحظةشكل 17. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية ($a_i=23.45^\circ$, $t=14$, $n=303$) والمسقط الجانبي للمجمع عند هذه اللحظةشكل 16. معاملات الفقدوات البصرية اللحظية ($a_i=0^\circ$, $t=14$, $n=303$) والمسقط الجانبي للمجمع عند هذه اللحظة

كما سبق يتضح أن النتائج اللحظية تؤكد على صحة التحليل المتبع في النمذجة الرياضية وحسن برمجتها فجميع الحالات التي تم متابعتها تؤيد التفسير المنطقي لحركة الشمس الظاهرية وآلية التتبع وفقاً لتوجيه المنظومة.

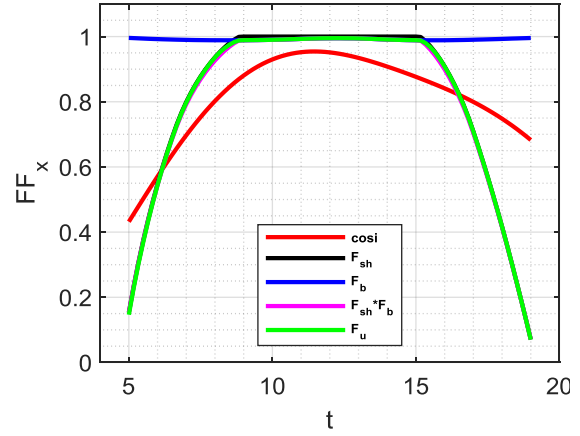
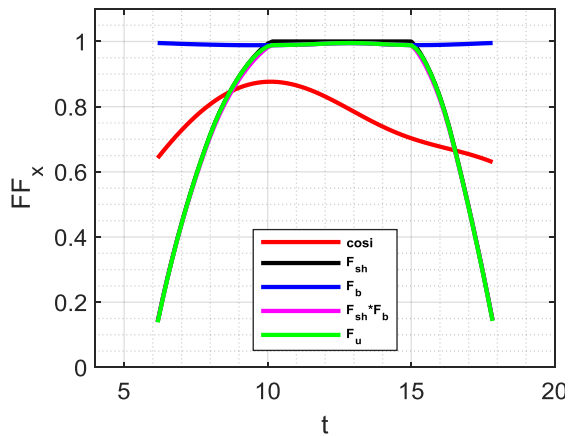
ثانياً/ متوسط المعاملات اللحظية للفقدوات البصرية لكامل المجمع:

للخروج بخلاصة من الكم الكبير للنتائج اللحظية تم اللجوء إلى المتوسط اللحظي لكامل المجمع؛ ويقصد به متوسط معاملات الفقدوات البصرية لكامل المجمع عند كل لحظة زمنية تمت فيها المحاكاة في اليوم. واختير الانقلاب الصيفي ($n=172$) والشتوي ($n=355$) والاعتدال الخريفي ($n=264$) لدراسة هذا المتوسط، وذلك لأن الاعتدال يتساوى فيه طول الليل والنهار، أما الانقلابين فأحده أطول أيام السنة وثانيه أقصره وكانت النتائج كالتالي: توضح الأشكال (من 19 إلى 27) المتوسط اللحظي اليومي لمعاملات الفقدوات البصرية لكامل المجمع، وذلك للأيام المذكورة.



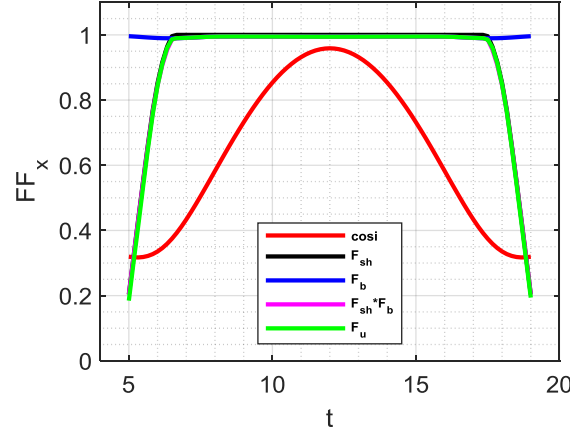
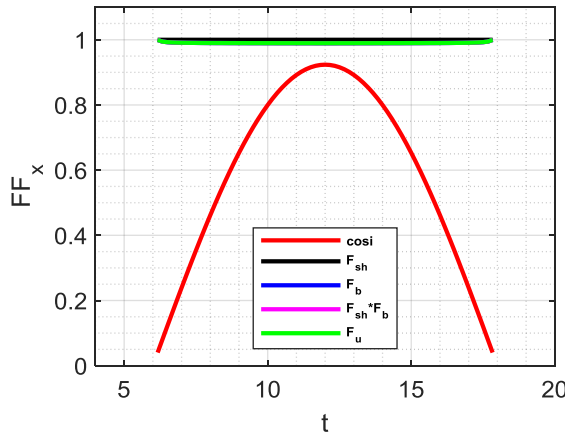
شكل 22. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدان البصرية لكامل المجمع ($a_f=0^\circ$, $n=81$)

شكل 19. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدان البصرية لكامل المجمع ($a_f=0^\circ$, $n=172$)



شكل 23. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدان لكامل المجمع ($a_f=23.45^\circ$, $n=81$)

شكل 20. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدان لكامل المجمع ($a_f=23.45^\circ$, $n=172$)



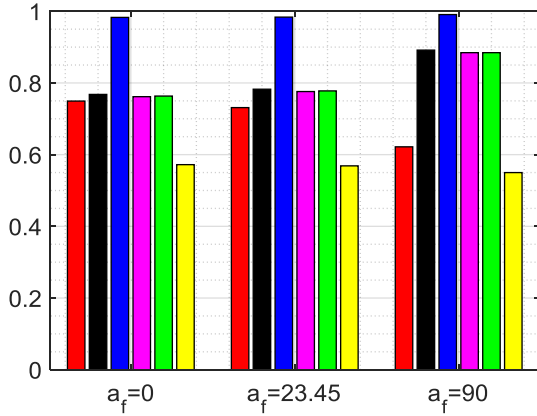
شكل 24. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدان البصرية لكامل المجمع ($a_f=90^\circ$, $n=81$)

شكل 21. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدان البصرية لكامل المجمع ($a_f=90^\circ$, $n=172$)

توضح الأشكال (22، 23، 24) نفس الأشكال السابقة، ولكن ليومي الاعتدال الربيعي والخريفي، ويلاحظ أن التوجيه شرق - غرب، يحقق النسبة الأعلى لمعامل الظل - حجب، وبالرغم أن معامل جيب التمام يحقق أعلى قيمة أيضاً، إلا أن ذلك يكون عند الظهيرة الشمسية وما حولها فقط، أما في حالة التوجيه شمال - جنوب، فإن متوسط معامل جيب التمام للمجمع يحقق قيمة مستقرة (0.8) أغلب ساعات النهار. أما في حالة زاوية سمت المجمع مساوية 23.45° فإن النتائج تكون مرتبة بين المرتبتين.

ويلاحظ من الأشكال (19، 20، 21) أن قيم معامل الحجب تحقق أعلى المستويات لجميع زوايا سمت المجمع وذلك لارتفاع الشمس في كبد السماء عند الانقلاب الصيفي، في حين يحقق معامل الظل القيمة الأفضل في حالة التوضع شرق- غرب ($a_f = 90^\circ$) ويكون معامل جيب التمام هو الأفضل في حالة تموضع المنظومة شمال - جنوب (سمت المنظومة 0). وهذا المنحى للنتائج يعد انسجاماً منطقياً لطبيعة العلاقة بين موضع الشمس في القبة السماوية وموضع المستقبل وآلية التتبع وفقاً لطريقة توجيه المجمع بالنسبة للمحور شمال- جنوب. كما يلاحظ تلاشي الفرق تقريباً بين حاصل ضرب معاملي الظل والحجب ومعامل الاستفادة في مستوى المتوسطات.

عند زاوية سمت 90° . وتكون أقل قيمة لمعامل الظل عند زاوية سمت المنظومة مساوية للصففر، وترتفع قليلاً عند التوجيه القطبي، ولكن أفضل قيمة له تكون عند زاوية سمت منظومة مساوية 90° . وكما يسلك فقد الحجب نفس السلوك لفقد الظل ليكون أعلى قيمة له عند زاوية سمت المنظومة 90° . أما بالنسبة للكفاءة البصرية للون الأصفر وهي حاصل ضرب معامل فقد جيب التمام في معامل الاستفادة السنوي لكليهما، فتكون أعلى قيمة عند زاوية سمت المنظومة مساوية للصففر.

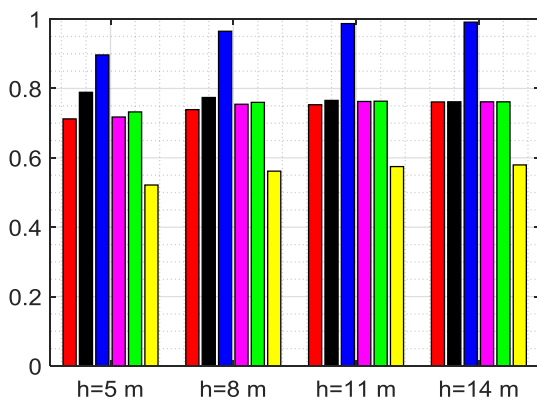


شكل 28. المتوسط السنوي لمعاملات الفقدوات البصرية عند قيم توجيه مختلفة للمجمع

ب. دراسة تأثير ارتفاع المستقبل على الفقدوات البصرية:

إلى جانب دراسة تأثير زاوية سمت المجمع على معاملات الفقدوات البصرية تم دراسة تأثير بعض بارامترات التصميمة عليها، وذلك من خلال تشغيل البرنامج المنشأ لقيم مختلفة لهذه البارامترات، والتي منها ارتفاع المستقبل. تم محاكاة البرنامج لقيم مختلفة لارتفاع المستقبل وهي (5، 8، 11، 14 متر)، الشكل (29) يوضح المتوسط السنوي لمعاملات الفقدوات البصرية والكفاءة البصرية للقيم السابقة لارتفاع المستقبل.

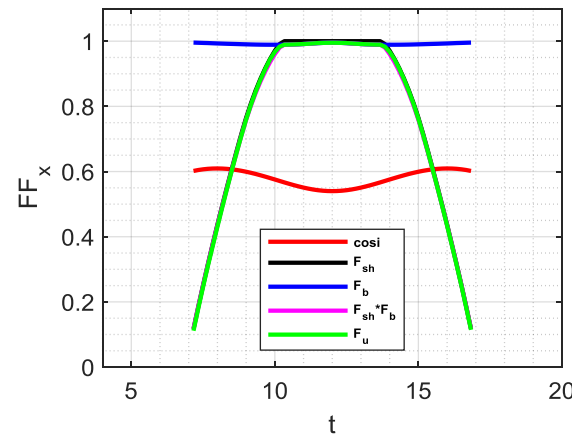
يكون أعلى قيمة لمعامل فقد جيب التمام عند أكبر قيمة لارتفاع المستقبل وهي 14 متر، أما معامل فقد الظل فتكون أعلى قيمة له عندما يكون ارتفاع المستقبل 5 متر، وتكون أعلى قيمة لمعامل فقد الحجب ومعامل الاستفادة وكذلك الكفاءة البصرية مناظرة لأعلى قيمة لارتفاع المستقبل.



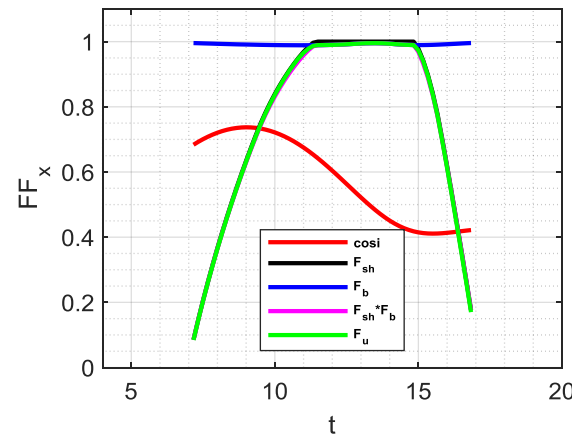
شكل 29. المتوسط السنوي لمعاملات الفقدوات البصرية والكفاءة البصرية لقيم مختلفة لارتفاع المستقبل

ت. دراسة تأثير عرض المرايا على الفقدوات البصرية:

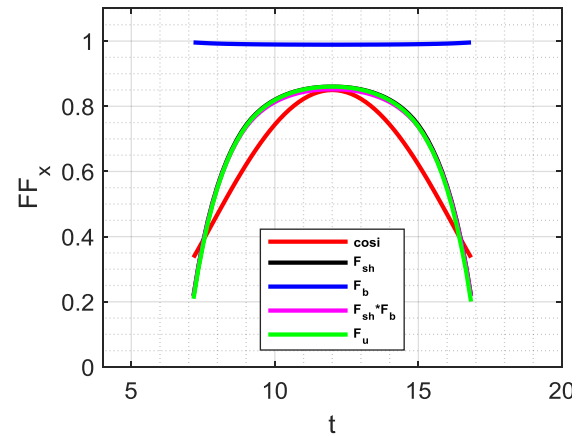
شكل (30) يوضح قيم المتوسط السنوي لمعاملات الفقدوات البصرية، وذلك لعدة قيم لعرض المرايا وهي (0.2، 0.35، 0.65، 0.8 متر).



شكل 25. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدوات البصرية لكامل المجمع ($a_f=0^\circ$, $n=355$)



شكل 26. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدوات البصرية لكامل المجمع ($a_f=23.45^\circ$, $n=355$)



شكل 27. المتوسط اللحظي لمعاملات الفقدوات البصرية لكامل المجمع ($a_f=90^\circ$, $n=355$)

في حالة الانقلاب الشتوي، الأشكال (25، 26، 27)، حيث تتحدر الشمس نحو الأفق، يحقق التوجيه شمال - جنوب، وتوجيه محور الأرض أفضل القيم لمتوسط معامل الظل؛ وبالتالي أفضل معامل الظل-حجب والاستفادة، في حين يحقق التوجيه شرق - غرب، القيم الأعلى لمتوسط قيم معامل جيب التمام لأغلب ساعات النهار.

ثالثاً/ المتوسط السنوي لمعاملات الفقدوات البصرية لكامل المجمع:

من أجل المقارنة بين قيم معاملات الفقدوات البصرية لزاويا سمت المجمع المدروسة، وذلك لكامل السنة، يتم إيجاد المتوسط السنوي لها، الشكل (28) يوضح المتوسط السنوي لمعاملات الفقدوات البصرية والكفاءة البصرية للمجمع لمختلف زوايا سمت المجمع. تكون أعلى قيمة لمعامل فقد جيب التمام عند زاوية سمت المنظومة مساوية للصففر، وتقل قليلاً عند التوجيه القطبي، وتنخفض بمقدار ملحوظ

جدول 3. قيم المتوسط السنوي لمعاملات الفقدان البصرية المدروسة لكامل المجمع المناظرة لكل تغير لأحد البارامترات التصميمية.

η_{op}	\overline{FFu}_y	\overline{FFb}_y	\overline{FFsh}_y	\overline{Fcost}_y	البارامتر (متر)
تأثير تغير ارتفاع المستقبل على المتوسط السنوي لمعاملات الفقدان البصرية لكامل المجمع					
0.5220	0.7324	0.8967	0.7890	0.7123	5
0.5616	0.7600	0.9650	0.7740	0.7390	8
0.5748	0.7633	0.9871	0.7656	0.7531	11
0.5796	0.7615	0.9912	0.7616	0.7611	14
تأثير تغير عرض المرايا على المتوسط السنوي لمعاملات الفقدان البصرية لكامل المجمع					
0.5956	0.9348	0.9967	0.9348	0.6372	0.2
0.5701	0.9053	0.9966	0.9055	0.6298	0.35
0.5258	0.8565	0.9640	0.8842	0.6139	0.65
0.4960	0.8184	0.9218	0.8720	0.6064	0.8
تأثير تغير المسافة البينية بين المرايا على المتوسط السنوي لمعاملات الفقدان البصرية لكامل المجمع					
0.5130	0.8181	0.9722	0.8366	0.6271	0.05
0.5333	0.8541	0.9810	0.8654	0.6245	0.1
0.5597	0.9041	0.9935	0.9089	0.6191	0.2
0.5732	0.9338	0.9985	0.9358	0.6139	0.3

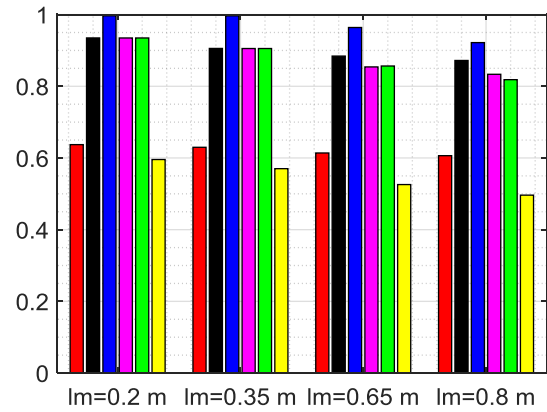
5. الخلاصة والتوصيات

يُعد تحسين المقدرة للربط على الشبكة إحدى أهم التحديات التي تواجه التقنيات الكهرو شمسية، والتي لا تتحسن إلا بتطوير سبل تخزين الطاقة الشمسية عند توفرها واستخدامها عند الحاجة إليها، وهذا ما يعطي تقنيات التركيز الشمسي أهمية خاصة نظراً لجدوى التخزين الحراري المصاحب لهذه التقنيات.

إلا أن تصميم هذه التقنيات يتطلب دراسة للفقدان البصرية الناتجة عن انعكاس الإشعاع الشمسي بواسطة المرايا وطبيعة عمل كل تقنية من هذه التقنيات، والتي تؤثر بشكل مباشر على أبعاد وتوجيه هذه المجمعات؛ الأمر الذي يدعو إلى استنباط طرق لحساب هذه الفقدان ونمذجتها رياضياً، ومن ثم برمجتها للحصول على برنامج محاكاة يمكن استخدامه في وضع التصاميم المبدئية لهذه المنظومة، بل لا يتكافأ سبل مستخدمة لتحسين أدائها.

تأتي هذه الورقة، في هذا السياق، حيث تم تطوير طريقة لحساب فقدي الظل والحجب في عاكسات فريزل الخطية، وإعداد برنامج محاكاة لعمل هذه المنظومات، استخدم لدراسة الفقدان البصرية بها وتأثيرها على المتغيرات التصميمية؛ حيث وجد أن:

أفضل زاوية سمت للمجمع والتي تعطي أفضل كفاءة بصرية للفقدان المدروسة وكذلك معامل فقد جيب التمام هي 0°، أما بالنسبة لفقد الظل والحجب فقد أعطت الزاوية 90° أعلى متوسط سنوي. أي أن فقد جيب التمام يكون أكثر تأثيراً في توجيه المجمع.



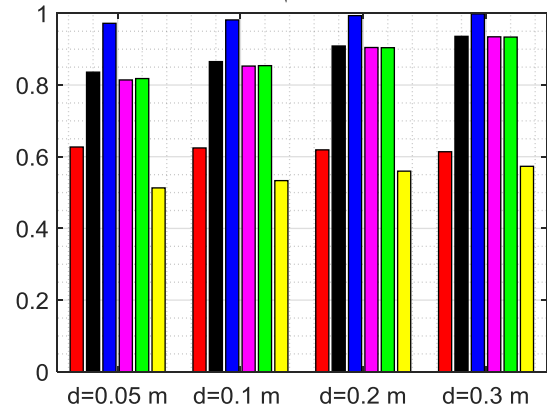
شكل 30. المتوسط السنوي لمعاملات الفقدان البصرية والكفاءة البصرية للقيم المختارة لعرض المرايا

تكون أعلى القيم لجميع المعاملات البصرية وكذلك الكفاءة البصرية عند أقل قيمة لعرض المرآة، وكلما زادت قيمة عرض المرآة سببت في نقص قيمة المعاملات البصرية وكذلك الكفاءة لها، وهذا متوقع.

ث. دراسة تأثير المسافة البينية بين المرايا على الفقدان البصرية:

تعتبر المسافة البينية بين المرايا من البارامترات المهمة والتي تتأثر بها الفقدان البصرية للمجمع، ويعرض الشكل (31) المتوسط السنوي للمعاملات الفقدان البصرية لأربع قيم للمسافة البينية وهي (0.05، 0.1، 0.2، 0.3) متر.

يتضح من الشكل (31) أنه كلما زادت المسافة البينية بين المرايا، يؤدي إلى تقليل الظل والحجب بين المرايا، أي زيادة في معاملات فقد الظل والحجب. ولكن بالنسبة لفقد جيب التمام فإنه يسلك سلوك معاكساً لها بحيث تقل قيمة معامل فقد جيب التمام بزيادة المسافة البينية بين المرايا.



شكل 31. المتوسط السنوي لمعاملات الفقدان البصرية الناتجة من تشغيل البرنامج لأربع قيم للمسافة البينية بين المرايا

يوضح الجدول (3) قيم المتوسط السنوي لمعاملات الفقدان البصرية المدروسة والكفاءة البصرية لكامل المجمع المناظرة لكل تغير لأحد البارامترات التصميمية. ويلاحظ من الجدول منطوقية السلوك التي اتبعته النتائج.

المراجع

- [1] Duffie John,A, Beckman William,A, Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition, Canada, 2013.
- [2] Kalogirou, soteris, Solar Energy Engineering, United States of America, 2009.
- [3] Feldhoff Jan Fabian, A Technology overview SFERA Summer School 2012. Spain, 2012.
- [4] Sharma Vashi, B. Kedare Shireesh, Effects of shading and blocking in linear Fresnel reflector field, Solar Energy 113 (2015), pp 114–138.
- [5] Yanjun Dai, Zhigang Zhan, Optical Analysis and Optimization of the Linear Fresnel Collector's Mirror Field, International Forum on Energy, Environment Science and Materials (IFEESM 2015).
- [6] Eddhibi, F., et al., Analytic optical design of a Linear Fresnel solar collector with variable parameters, J. Mater. Environ. Sci., 2017 Volume 8, Issue 11, pp 4068-4084.
- [7] Siala.F.M.F., Elayeb.M.E., "Calculation of the Shading Factor in Heliostat Fields", Eurosun2012, Rijeka, Croatia, 18-20 sept 2012.
- [8] Elayeb. Mustafa, et al., Calculation of the blocking factor in heliostat fields, Energy Procedia 57 (2014) 291 – 300.
- [9] Dipl.-Ing. Max Mertins, Technische und wirtschaftliche Analyse von horizontalen Fresnel-Kollektoren, Universität Karlsruhe (TH),2009.
- [10] Benoit Gourhand, Simon Benmarraze, Modeling Linear Fresnel, (France: SOLAR EUROMED, 7/23