



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد
كلية التربية للعلوم الصرفة – ابن الهيثم
قسم الفيزياء

تصميم وتقييم مرآة لتلسكوب ماكس مكيف باستخدام برنامج زيماكس

رسالة مقدمة الى

كلية التربية للعلوم الصرفة-ابن الهيثم – جامعة بغداد

وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء

من قبل الطالبة :

أريج عبد الزهرة عصمان

بكالوريوس علوم فيزياء / 2005

بإشراف :

أ.م.د علاء بدر حسن

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَعَلَّمَ مَا لَمْ تَكُن تَعْلَمُ ۗ وَكَانَ فَضْلُ اللَّهِ

عَلَيْكَ عَظِيمًا

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

سورة النساء

الآية (113)

إقرار المشرف على الرسالة

أقر أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ(تصميم وتقييم مرآة لتلسكوب عاكس مكيف باستخدام برنامج (زيماكس)) التي قدمتها الطالبة (اريج عبد الزهرة عصمان) تم بإشرافي في قسم الفيزياء كلية التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم، جامعة بغداد، وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء.

التوقيع : 

اسم المشرف : د. علاء بدر حسن

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

التاريخ : 2019/ 7 / 7

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصية المقدمة من قبل أ.م.د. علاء بدر حسن أحيل هذه الرسالة على لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها.

التوقيع : 


الاسم : د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : 2019 / 7 / 7

إقرار المقوم اللغوي


أشهد أني راجعت رسالة الطالبة (اريج عبد الزهرة عصمان) الموسومة بـ (تصميم وتقييم
مرآة لتلسكوب عاكس مكيف باستخدام برنامج (زيماكس)) من الناحية اللغوية، وصححت ما
ورد فيها من أخطاء لغوية وتعبيرية، وبذلك أصبحت الرسالة مؤهلة للمناقشة قدر تعلق الأمر
بسلامة الأسلوب وصحة التعبير ولأجله وقعت.


الأستاذ: هيثم عبد المهدى
2019 - 10 - 13

إقرار لجنة المناقشة

نشهد أننا أعضاء لجنة المناقشة إطلعنا على البحث الموسوم ب(تصميم وتقييم مرآة لتلسكوب عاكس مكيف باستخدام برنامج زيماكس) وقد ناقشنا الطالبة (اريج عبد الزهرة عصمان) في محتوياته وفيما له علاقة به وجدنا بأنها جديرة بالقبول لنيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

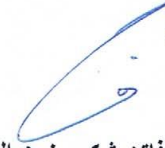
عضوا:

التوقيع: 
الإسم: أ.م.د. ابتسام محمد تقي

العنوان: جامعة بغداد/ التربية ابن الهيثم

التاريخ: 2019/10/13


رئيس اللجنة:

التوقيع: 
الإسم: أ.م.د. فاتن شكور زين العابدين

العنوان: الجامعة المستنصرية / كلية التربية

التاريخ: 2019/10/13


عضوا ومشرفا:

التوقيع: 
الإسم: أ.م.د. علاء بدر حسن

العنوان: جامعة بغداد/ التربية ابن الهيثم

التاريخ: 2019/10/13

عضوا:

التوقيع: 
الإسم: م.د. عقيل رزاق صالح

العنوان: جامعة بغداد/ التربية ابن الهيثم

التاريخ: 2019/10/13

صدقت من قبل عميد كلية التربية للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم/ جامعة بغداد

التوقيع: 

الإسم: أ.د. حسن احمد حسن

المرتبة العلمية: استاذ

العنوان: جامعة بغداد – كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم

التاريخ: 2019/10/24

الاهداء

...الى هالة النور التي تحيطني وسندي في المهمات...نبينا محمد
وال البيت الاطهار

...والى الدعاء والسند والحب... أبي

...والى الانس والرقة والحنان... أمي

...والى شركاء الروح واللحظات الجميلة.... أخي وأخواتي

... الى الحبيب الاول والصديق الدائم... زوجي

... الى فرحتي الاولى وسكر البيت ولداي ... محمد باقر وشمس

والى كل أم طموحة حققي أحلامك ففوة الارادة تقول للأحلام كوني
فتكون.....

الشكر والتقدير

الحمد لله الأول بلا أول كان قبله والآخر بلا آخر يكون بعده الذي قصرت عن رؤيته أبصار الناظرين، وعجزت عن نعته أوهام الواصفين، ابتدع بقدرته الخلق ابتداعا و اختراعهم على مشيئته، اختراعاً ثم سلك بهم طريق أرادته وبعثهم في سبيل محبته والصلاة والسلام على خير الأنام محمد وآله وصحبه الكرام...إما بعد فرحلة بحثي قد تكلفت بإنجاز هذا العمل بعد جهد كبير ومشاق عسيرة ومدة ليست قصيرة ، لذا لا يسعني الا أن أتقدم بالشكر والامتنان الى عمادة كلية التربية، ابن الهيثم للعلوم الصرفة، كما يسعدني ان أخص بأسمى عبارات الشكر و التقدير (الاستاد المساعد الدكتور علاء بدر حسن)، لما قدمه لي من جهد و نصح و معرفة طوال مدة انجاز هذا العمل كذلك اتقدم بشكري و عرفاني بالجميل إلى رئاسة قسم الفيزياء و أساتذتي في قسم الفيزياء لما بذلوه لي من جهد ورعاية خلال هذه المدة . ومن الوفاء ألا أنسى أن أقدم شكري إلى كل من مدّ لي يد العون والمساعدة في سبيل انجاز هذا البحث.

الباحثة أريج عبد الزهرة

الخلاصة

في هذه الدراسة تم تصميم نظام بصري مكيف يتضمن مرآة لتلسكوب عاكس باستخدام برنامج زيماكس للتصاميم البصري يتألف النظام من مجموعة مرايا سداسية الشكل مصفوفة مع بعضها لتكوين مرآة مقعرة كبيرة ذات شكل قطع مكافئ . المرايا لها حرية حركة محورية وقطرية تعمل على تغيير معالم النظام البصري ليتكيف مع كل التشوهات الحاصلة في جبهة الموجة للضوء القادم من المصدر نتيجة التأثيرات الجوية مثل الغيوم والغبار والمطر وتغير معامل انكسار الغلاف الجوي نتيجة تغير درجة الحرارة . ليعطي صورة خالية من الزيغ تقريبا بالرغم من وجود التأثيرات الجوية .

تم تصميم (19) مرآة ذات شكل سداسي لتجنب وجود الفراغات البينية بين القطع وكذلك يوفر الشكل السداسي حرية حركة قطرية بثلاثة محاور . ليكون نصف قطر التكور للمقراب (-) (4000 mm) والبعد البؤري له (2000 mm) المقراب ذو ابعاد (1500 mm x 1200 mm x 1380 mm)

تم استخدام برنامج زيماكس للتصميم البصري لتصميم هذا النموذج . استخدمت معالم البرنامج المناسبة ووضع سطح افتراضي يشوه الموجة الداخلة لمعرفة مدى تأثير المؤثرات الخارجية على اضطراب الموجة الداخلة للنظام . تم تقييم وتحليل الصورة من أدوات باستخدام التحليل الموجودة في البرنامج من خلال معرفة شكل التصميم ثلاثي الابعاد . كذلك استخدم منحنى زيغ الاشعة وفرق المسار البصري ومخطط انتشار الاشعة ودالة الانتشار النقطية ودالة الانتقال البصرية والطاقة المتجمعة .

تم اجراء مقارنة بين نظام بصري مكيف ونظام بصري تقليدي لغرض تقييم جودة الصورة ، ولتبيان الاختلاف الحاصل في الصورة في النظامين في حالة وجود جبهة موجة مشوهة . بينت النتائج افضلية النظام البصري المكيف لإنتاج صورة جيدة خالية من الزيغ تقريبا نتيجة استخدام تقنية التكيف .

تم تغيير قيم زاوية سقوط الاشعة الضوئية على النظام البصري بقيم مختلفة من (0° – 20°) لكونها من العوامل المهمة التي تؤثر على جودة الصورة للأنظمة البصرية . بينت النتائج تأثير واضح في جودة الصورة مع زيادة زاوية السقوط للنظامين البصريين المكيف والتقليدي ، لكن مع تأثير اقل بالنسبة للنظام المكيف .

المحتويات

رقم الصفحة	العنوان	الفقرة
الفصل الاولالانظمة البصرية		
1	المقدمة	1.1
2	انواع الانظمة البصرية	1.2
2	النظام البصري غير الصوري	1.2.1
3	النظام البصري الصوري	1.2.2
4	الحيود	1.3
5	الزيغ	1.4
6	الانظمة البصرية المكيفة	1.5
9	تكيف العين البشرية	1.6
10	التأثيرات الجوية	1.7
10	الكتلة الهوائية	1.7.1
11	المقرب الفلكي	1.8
12	مراجعة تاريخية	1.9
15	هدف البحث	1.10
الفصل الثاني.....التصميم البصري		
16	المقدمة	2.1
17	التصميم البصري	2.2

18	برنامج زيماكس	2.3
19	نمط تتبع الاشعة في زيماكس	2.4
20	نمط تتبع الاشعة المتسلسل	2.4.1
22	نمط تتبع الاشعة غير المتسلسل	2.4.2
24	طرائق تقييم النظام البصري في زيماكس	2.5
24	طرائق تقييم الاداء في الحاسوب	2.6
25	منحنيات زيغ الاشعة	2.6.1
26	فرق المسار البصري OPD	2.6.2
27	مخطط انتشار الصورة	2.6.3
28	دالة الانتقال البصرية	2.6.4
29	الطاقة المتجمعة	2.6.5
الفصل الثالث..... تصميم النموذج		
31	المقدمة	3.1
32	مواصفات النموذج	3.2
34	تثبيت موقع قطع المرايا	3.2.1
35	تحرير بيانات التصميم	3.2.2
37	محرر التكوينات المتعددة	3.2.3
40	دالة التأهيل	3.3
الفصل الرابع...النتائج والحسابات		
42	المقدمة	4.1
42	المظهر العام	4.2

44	مخطط منحني انتشار الاشعة	4.3
45	دالة الانتقال البصرية المعدلة	4.4
46	منحني زيغ الاشعة	4.5
47	فرق المسار البصري	4.6
48	منحني دالة الانتشار النقطية	4.7
49	الطاقة المتجمعة	4.8
50	محاكاة الصورة	4.9
51	زاوية سقوط الاشعة	4.10
الفصل الخامس....الاستنتاج والمشاريع المستقبلية		
63	الاستنتاجات	5.1
64	المشاريع المستقبلية	5.2
65	المصادر	

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	العنوان	الشكل
1	نموذج لنظام بصري	1.1
3	نظام بصري غير صوري	1.2
3	نظام توزيع الاستضاءة	1.3
6	مخطط لأنواع الزيغ في النظام البصري	1.4
7	نموذج نظام بصري مكيف	1.5
9	مقطع عرضي للعين البشرية	1.6
26	النمط العام لتتبع الأشعة	2.1
28	النافذة الرئيسية لنمط تتبع اشعة المتسلسل	2.2
29	النافذة الرئيسية لنمط تتبع الأشعة غير المتسلسل	2.3
32	مخطط منحني زيغ الأشعة	2.4
	مخطط فرق المسار البصري	2.5
34	دالة الانتقال البصرية المعدلة	2.6
35	مخطط الطاقة المتجمعة	2.7
36	مقطع لنموذج النظام البصري المصمم	3.1
37	ابعاد النظام البصري المصمم	3.2
38	موقع القطعة المركزية والمجاورة للمرايا المركزية المكونة للمقراب	3.4
40	المعلومات الخاصة بالتصميم في محور	3.5

	بيانات العدسة	
41	محزر التكوينات المتعددة	3.6
43	محزر التكوينات المتعددة لثلاثة تكوينات للتصميم	3.7
43	مخطط عرضي لثلاث قطع من المرآة المركزية و المجاورتين لها	3.8
44	مخطط عرضي لسبع قطع من المرآة المركزية والمجاورة لها	3.9
44	مقطع عرضي للنظام البصري المصمم (المقرب العاكس سداسي الشكل)	3.10
46	نافذة محزر بيانات دالة التأهيل	3.11
48	نافذة المظهر العام ثلاثي الابعاد	4.1
49	نافذة المظهر العام المجسمة	4.2
50	مخطط توزيع انتشار الاشعة	4.3
51	دالة الانتقال البصرية	4.4
52	منحني زيغ الاشعة	4.5
53	فرق المسار البصري	4.6
54	دالة الانتشار النقطية	4.7
55	منحني الطاقة المتجمعة	4.8
56	محاكاة للنظامين البصري المكيف والتقليدي	4.9
57	مخطط انتشار الاشعة لزوايا سقوط مختلفة	4.10
58	منحني زيغ الاشعة لزوايا سقوط مختلفة	4.11

59	فرق المسار البصري بالنسبة للزوايا مختلفة	4.12
----	--	------

قائمة الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
17	الجدول يوضح اهم البرامج البصرية	2.1
34	الجدول يوضح احداثيات كل قطعة بالنسبة ل(XYZ)والبعد عن نقطة المرجع	3.1
55	الجدول قيم MTF العيارية التي تقابل التردد المكاني 100cycle per mm لزوايا سقوط مختلفة للنظام بصري مكيف واخر تقليدي	4.1
61	الجدول يوضح قيم الطاقة المتجمعة عند زوايا سقوط	4.2

قائمة الرموز والوحدات

الوحدة بالنظام الدولي	الرمز	المقادير الفيزيائية
m	f	البعد البؤري
m	R	نصف قطر التكور
خالٍ من الوحدات	n	معامل الانكسار

قائمة الاختصارات

المصطلح	المعنى
OBJ	وصف الجسم في برنامج زيماكس
STO	وصف لاختيار عدسة او مرآة في برنامج زيماكس
IMA	وصف الصورة في برنامج زيماكس
PSF	دالة الانتشار النقطية
OPT	فرق المسار البصري
OTF	دالة الانتقال البصرية
MTF	دالة الانتقال البصرية المعدلة

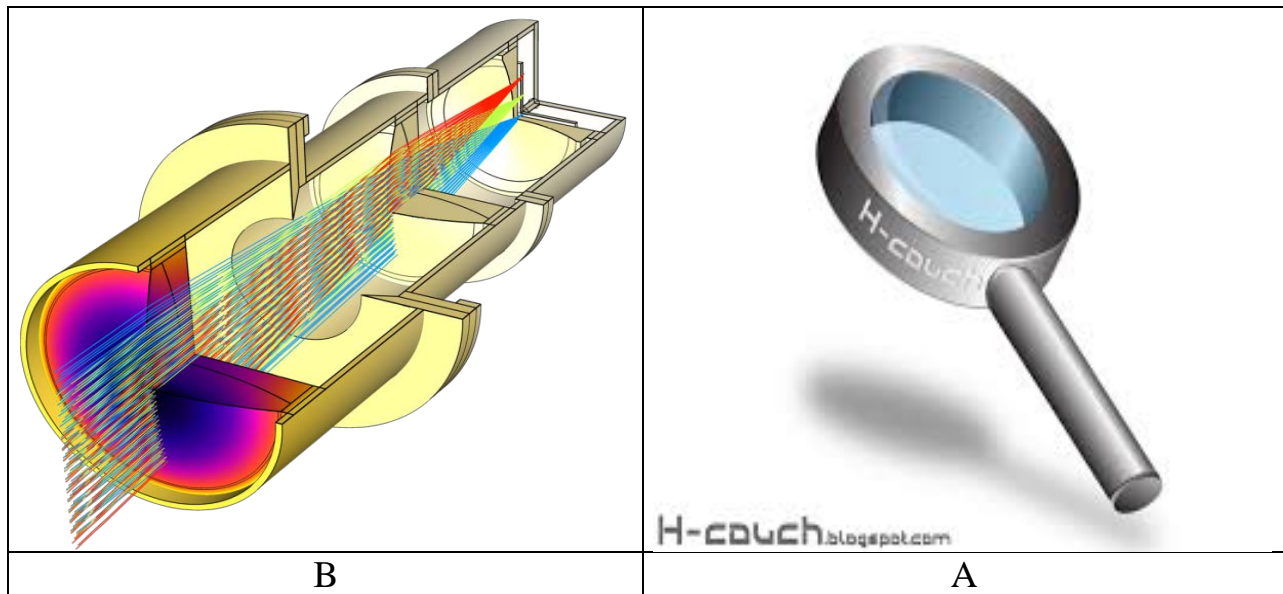
الفصل الأول

الأنظمة البصرية

1.1 المقدمة (Introduction)

بدأت البصريات مع تطور العدسات من قبل قدماء المصريين وبلاد ما بين النهرين. وكانت أولى العدسات مصنوعة من الزجاج المصقول، كما تم عمل عدسات مثل عدسة النمرود في بلاد آشور (700 ق.م) في وقت مبكر من التاريخ كما كان الرومان القدماء والإغريق يصنعون قديما عدسات بدائية عن طريق ملئ الزجاجات بالماء. وقد تلت هذه تطور نظريات الضوء والرؤية من الفلسفة اليونانية والهندية، ثم تطورت البصريات الهندسية عند اليونان و الرومان خلال العصور الوسطى، اذ كانت الأفكار اليونانية حول البصريات مأخوذة من العالم الإسلامي. وكان أول المسلمين هو (يعقوب بن إسحاق الكندي) والذي كتب في موضوع الأفكار الأرسطية والبصريات التقليدية، والعالم المسلم (ابن سهل) كتب أطروحة حول المرايا والعدسات ووضع أول قانون للانكسار، وقد استخدم القانون لتصميم أشكال العدسات التي تركز الضوء. وفي أوائل القرن الحادي عشر كتب (ابن الهيثم) في البصريات كتاب المناظر لشرح الرؤية والضوء والذي بحث في الانعكاس والانكسار، واقترح نظاما مبني على فكرة الملاحظة والتجربة ورفض نظرية الانبعاث (التي تفرض انبعاث اشعة من العين على الاجسام لحدوث الرؤية)، ووضع مفهوم الضوء المنعكس من جميع نقاط الجسم تظهر ويتم مشاهدتها ومن ثم تدخل العين فتحدث الرؤية.[1]

النظام البصري هو وسيلة لاستغلال الاشعاع الشمسي او الصناعي لتوظيفه لأغراض متعددة منها صناعية وعلمية وطبية وغيرها. ان ابسط انواع الأنظمة البصرية يتكون من عدسة (لامة او مفرقة) او مرآة (مستوية او كروية) او موشور او غيرها من العناصر البصرية الاساسية. او ربما تكون الانظمة اعقد من ذلك فتنكون من مجموعة عدسات او مرايا او عناصر مختلطة تؤدي الوظيفة المعدة لأجلها هذه الانظمة مثل المقراب (telescope) او المجهر (microscope) او آلة التصوير (camera)، كما في الشكل (a.1) والشكل [2](b.1)



الشكل (1.1) : نموذج لنظام بصري (a) بسيط (عدسة)، (b) : مركب (تلسكوب) [2].

1.2. انواع الأنظمة البصرية (Types of Optical System)

الانظمة البصرية اهتماماً كبيراً من قبل الباحثين لكونها تشمل تطبيقات كثيرة تدخل في كثير من المجالات التقنية في العصر الحديث ، من اهمها استخدامها في مجال الطاقات المتجددة (renewable energy) ، واجهزة المراقبة مثل التلسكوب (telescope) والمجهر (microscope) وآلة التصوير (camera) . لذلك تصنف حسب الغرض التي تعمل لأجله الى نوعين اساسيين هما : الانظمة البصرية الصورية (imaging optical system) ، والانظمة البصرية غير الصورية (non imaging optical system) [4].

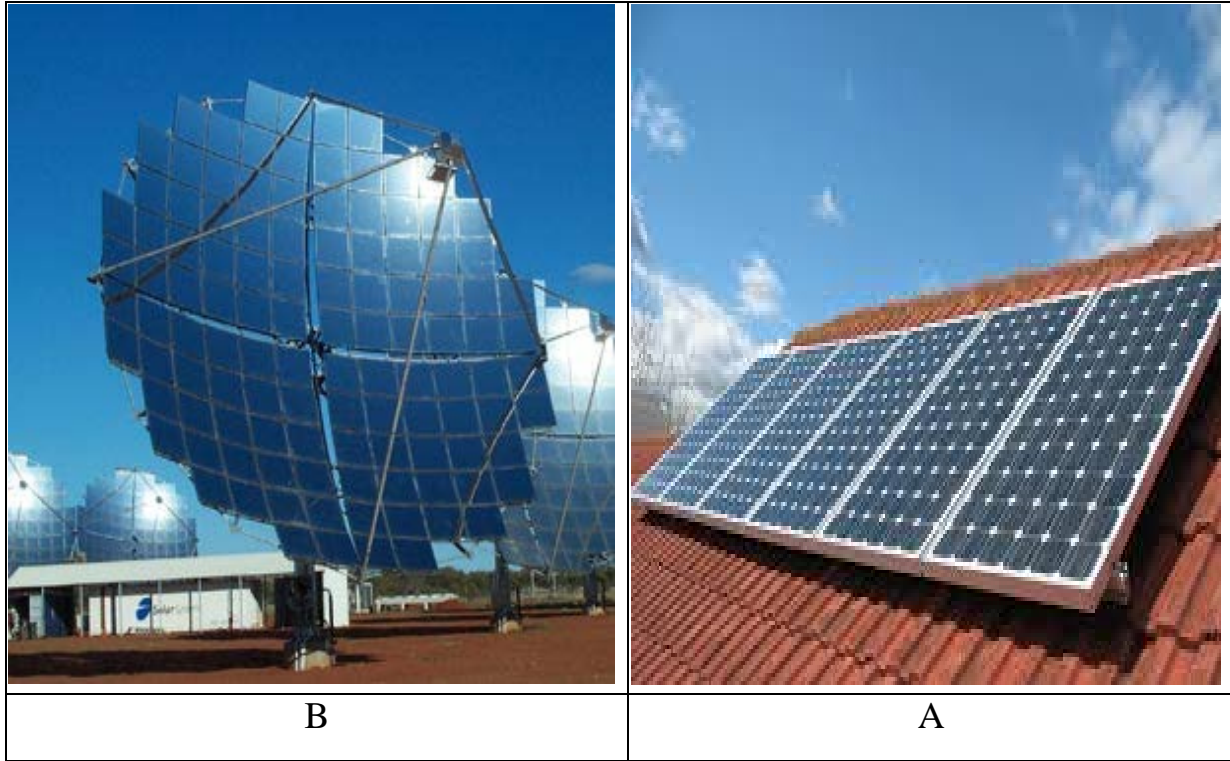
1.2.1. النظام البصري غير الصوري (Non- imaging Optical System)

الانظمة البصرية غير الصورية هي المعنية بالنقل الأمثل للإشعاع الضوئي بين المصدر والهدف ، فلا يمكن استخدامه بالصورة المتكونة في النظام على عكس البصريات التقليدية للتصوير . وبالتالي لا تهتم بالزيف والحيود المتولد في النظام . تستغل الانظمة غير الصورية كل الاشعاع الواصل الى سطح الارض (اذا كان المصدر الاشعاع الشمسي) والذي يتضمن الاشعة فوق البنفسجية (ultra violet ray) والضوء المرئي (visible light) والاشعة تحت الحمراء (infra-red rays) [5].

ان من اهم المعلومات التي تؤثر في عمل هذه الانظمة هي فيض الاشعاع (radiant flux) ، شدة الاشعاع (radiant intensity) ، الاشعاعية (irradiance) وزاوية القبول (acceptance angle) التي تعد واحدة من اهم العوامل المؤثرة في كفاءة النظام لكونها تحدد كمية الاشعاع الداخل الى النظام بزاوية سقوط معينة التي تعطي نسبة كفاءة بصرية (optical efficiency) مقدارها (80 %) تقريبا ، ولكون الانظمة البصرية تتعرض للاشعة الشمسية بزوايا مختلفة على مدار ساعات النهار [6,7].

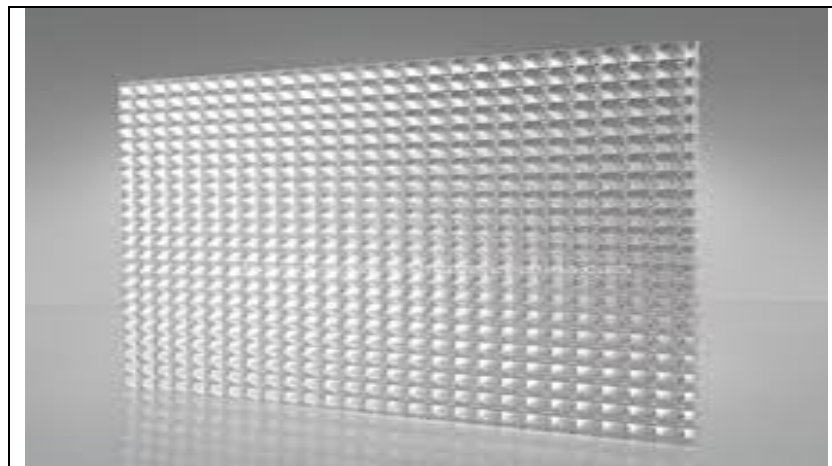
ان الدور الرئيس للأنظمة غير الصورية يتضمن ما يأتي :

- **تركيز الطاقة الشمسية (solar energy concentration):** هو استغلال الطاقة الشمسية الواصلة الى الارض عن طريق تجميعها وتحويلها الى طاقة كهربائية ، اما بصورة مباشرة عن طريق الخلايا الشمسية (photovoltaic solar cell) ، أو بصورة غير مباشرة عن طريق المركبات الحرارية (thermal solar concentrators) [8]. كما في الشكل (a.2)(b.2)[8].



الشكل (1.2) : النظام البصري غير الصوري (a) لوح خلايا شمسية [5]، (b) مركز شمسي حراري [8]

- الاستضاءة (illumination): هو التحكم في توزيع الضوء ، وعادةً ما يتم توزيعه بالتساوي على بعض المناطق ويتم حظره تمامًا من مناطق أخرى . لكون بعض الاجهزة تحتاج الى توزيع خاص للاستضاءة مثل انظمة مصابيح السيارات والمنارات، كما في الشكل (1.3) [10] .



الشكل (1.3) : نظام توزيع الاستضاءة [10].

1.2.2. النظام البصري الصوري (Imaging Optical System)

تستخدم الانظمة البصرية الصورية في الانظمة التي تحتاج تكوين الصور للأجسام (image formation). ان اهم العناصر البصرية المستخدمة في هذه الانظمة هي العدسات بانواعها والمرايا والمواشير. تستخدم الانظمة الصورية لتكوين صور مكبرة او مصغرة او مقربة حسب نوع الجهاز المستخدم ووظيفته [11].

ان اهم ما يميز الانظمة البصرية الصورية هي المعلمات البصرية (optical parameters) الخاصة به والتي تمثل دورا كبيرا في نوعية وجودة الصورة الناتجة ، وان اهم هذه المعلمات هي البعد البؤري (focal length) ومعامل الانكسار (refractive index) وقطر فتحة الادخال (entrance aperture diameter) [8]. وهناك معلمات اخرى مشتقة منها هي العدد البؤري (focal number f/#) الذي يمثل النسبة بين البعد البؤري وقطر فتحة الادخال ، والفتحة العددية (numerical aperture) التي تمثل المدى الزاوي للاشعة المستلمة من قبل النظام البصري [12].

ان اهم العوامل التي تؤثر على جودة الصورة في الانظمة الصورية هي الحيود (diffraction) والزيغ (aberration) ، فالنظام البصري الصوري يكون اما محددًا بالحيود (اذا كان قطر فتحة الادخال صغيراً مثلاً) ، او يعاني من الزيغ الذي يحدث بسبب تطبيق قوانين الانعكاس والانكسار على السطوح الكروية للعدسات والمرايا وليس بسبب عيب صناعي كما يعتقد البعض [13].

1.3. الحيود (Diffraction)

يحدث الحيود في جميع أنظمة التصوير البصرية على حد سواء ، ويعرف بأنه ظاهرة انحراف شعاع الضوء عن طريقه عندما يمر عبر فتحة ضيقة أو حافة حادة. الحيود هو خاصية طبيعية للضوء ناشئة عن طبيعته الموجية ، وله قيود أساسية على أي نظام بصري. ان الحيود موجود دائماً في الانظمة البصرية ، على الرغم من أن آثاره قد تحدث إذا كانت للنظام انحرافات كبيرة. عندما يكون النظام البصري خالياً من الزيغ ، يكون أدائه محدوداً فقط بالحيود ، ويشار إليه باسم نظام محدد بالحيود (diffraction limited system) [14].

ينشأ الحيود بسبب الطريقة التي تنتشر بها الأمواج الضوئية ، يوصف هذا من خلال مبدأ هوغنز (Huygens Principle) ومبدأ تراكب الأمواج (superposition principle). موجة الحيود في أي نقطة لاحقة هي مجموع هذه الموجات الثانوية تنتج عند إضافة الموجات معاً ، يتم تحديد مجموعها حسب فرق الطور بين الموجات الفردية وسعة الموجة بحيث يمكن أن يكون لسعة الموجات المجمع أي قيمة بين الصفر ومجموع السعات الفردية، وبالتالي عادة ما تحتوي أنماط الحيود على سلسلة من الاهداب المضيئة والمظلمة [13].

يحدث حيود الضوء عند تداخل الموجات الضوئية المنتشرة بعد مرورها من خلال فتحة ضيقة أو أكثر، ويلاحظ تأثيراته على وجه الخصوص عندما يكون طول موجة الأشعة مقاربة أو مساوياً للمسافات بين أنظمة الجسيمات المنحرفة عليها. فتشتد كثافتها عند نقطة وتقل كثافتها عند أخرى. يتسم تداخل الموجات الضوئية ذات طول موجة واحدة بنوعين من التداخلات، الأول يمثل تداخل فيه الموجتان وتتطابق بحيث تنطبقان مع بعضهما فتتقابل قمة موجة مع قمة الموجة الأخرى فتشتد شدتهما ويعرف هذا بالتداخل البناء (constructive interference) ، ويحدث التداخل الثاني بين الشعاعين عندما تتقابل قمة موجة مع قاع للموجة الأخرى فتحمي كل موجة الأخرى وتختفيان. أي لاتظهر لهما صورة. وهذا النوع من التداخل يسمى التداخل الهدام (destructive interference). والنتيجة العامة أن نرى صورة النموذج كشكل هندسي، تظهر فيه خطوط مضيئة وخطوط مظلمة .

ان الحيود لا يقتصر على الضوء المرئي فقط وانما يشمل بعض الطيف الكهرومغناطيسي (مثل الاشعة السينية) حيث تستخدم الاشعة السينية لمعرفة التركيب البلوري للمواد الصلبة البلورية ، لكون الطول الموجي لها مقارباً للمسافات البينية لذرات البلورة . كذلك الحيود يحدث في الجسيمات دون الذرية (مثل الالكترونات والنيوترونات) لكونها تحمل طبيعة مزدوجة (دقائقية وموجية) ، وقد برهنت العديد من التجارب على هذه الظاهرة والتي حملت معها الكثير من التساؤلات والجدل حول التفسير الكمي لها لكونها طرحت افكاراً جديدة حول تصرف هذه الجسيمات المزدوجة [13].

1.4.الزيف (Aberration)

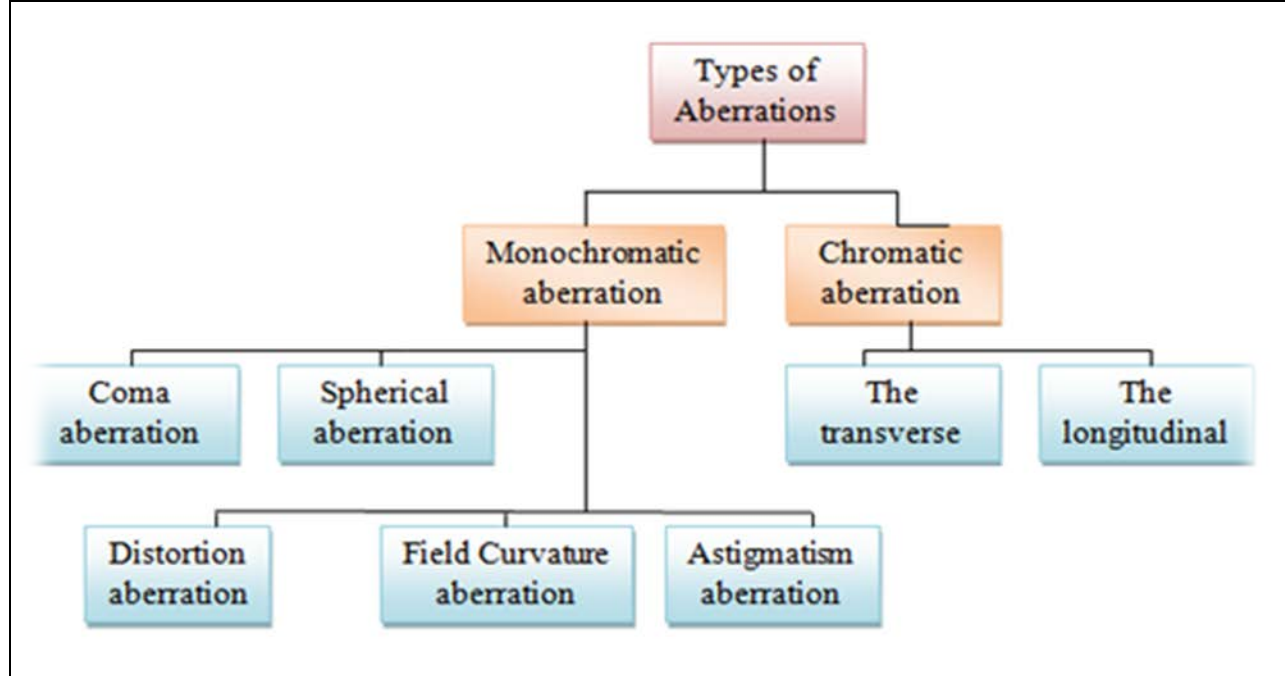
الزيف هو فشل الاشعة الضوئية (القادمة من مصدر نقطي) في التجمع في نقطة واحدة بعد الانعكاس او الانكسار من النظام البصري الصوري . الزيف لا يحدث نتيجة عيب صناعي في العدسة او المرآة ، وانما يحدث بسبب طبيعة قوانين الانعكاس والانكسار التي تطبق على السطوح الكروية [14].

يؤدي الزيف إلى عدم وضوح الصورة التي ينتجها النظام البصري لتشكيل الصورة. ان صناعة الأجهزة البصرية بحاجة إلى تصحيح الانظمة البصرية للتعويض عن الزيف الحاصل في الصورة عن طريق مجموعة طرائق لتقليل الزيف ، اما عن طريق عدسات ومرايا خاصة او تصحيح موضع الجسم .

الزيف ينقسم الى نوعين هما : لوني (chromatic aberration) ، ولا لوني (monochromatic aberration) . الزيف اللوني ينتج عن ظاهرة التفريق (dispersion) (اختلاف معامل الانكسار حسب الطول الموجي) عند استخدام ضوء مركب ، يحدث هذا الزيف حتى لو استخدمت اشعة شبه محورية (paraxial rays) في النظام البصري ، ويحدث في العدسات فقط .

اما الزيف اللالوني فيظهر عند استخدام ضوء أحادي اللون ، ويحدث نتيجة سقوط الاشعة غير المحورية (marginal rays) على النظام البصري فتسقط بعد الانعكاس أو الانكسار في نقاط متعددة (اكثر من بؤرة) وهي مصنفة إلى خمسة أنواع رئيسة هي: الزيف الكروي (spherical aberration)، وزيف المذنب (coma)

(aberration) ، والزيغ اللابؤري (astigmatism)، وزيغ تكور المجال (field curvature) ، وزيغ التشوه (distortion aberration) كما في الشكل (1.4)[14].



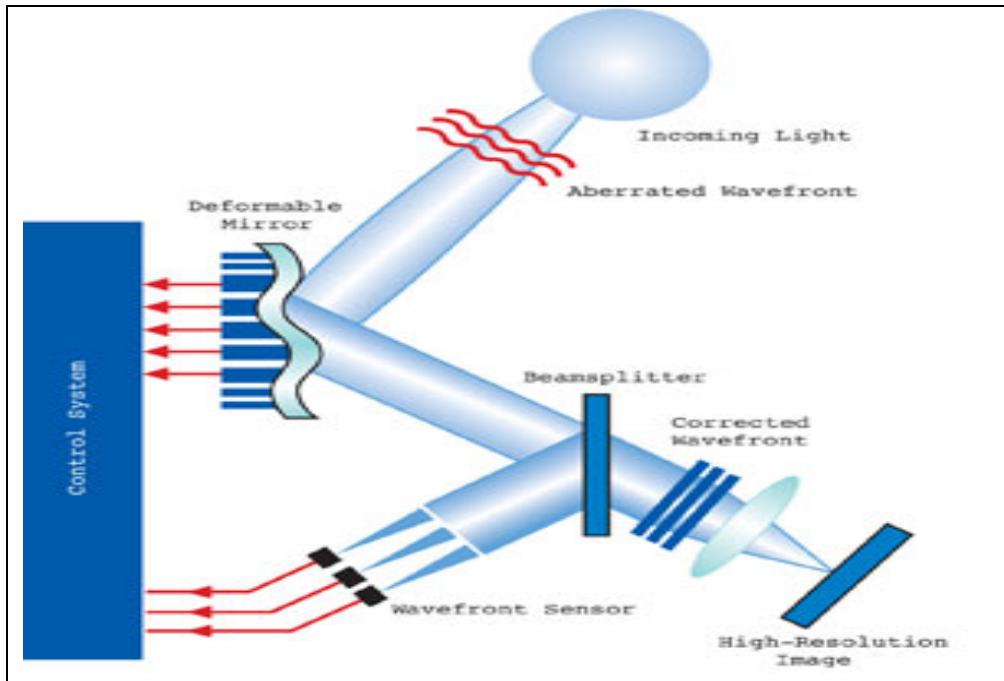
الشكل (1.4) مخطط لأنواع الزيغ في النظام البصري [14].

1.5.1 الانظمة البصرية المكيفة (Adaptive Optical System)

يمكن تقسيم الانظمة البصرية الى انظمة تقليدية وغير تقليدية اعتمادا على طبيعة تكيفها مع الظروف المحيطة التي تؤثر على جودة الصورة. فالانظمة التقليدية تعد غير فعالة (Passive system) من ناحية معالمها تبعا للظروف المحيطة مثل الظروف الجوية و حركة و اهتزاز النظام او حركة الجسم وغيرها ان الانظمة التقليدية تنتج صورا تكون جودتها تبعا لنوع النظام البصري و لنوع الظروف المحيطة. وتتأثر بصورة مباشرة بها من دون تغيير في معالمها تبعا لهذه الظروف. ان من اهم العوامل التي تؤدي الى اضطراب جبهة الموجة هو اختلاف معامل انكسار طبقات الغلاف الجوي نتيجة اختلاف الكثافة لها ، وهذا الامر يجب مراعاته عند استخدام المراقب الفلكية الارضية التي تستلم الصور القادمة من الفضاء مرورا بالغلاف الجوي.[15].

اما الانظمة غير التقليدية فتسمى الانظمة البصرية المكيفة (adaptive optical system) التي تتغير معالمها تبعا للمؤثرات الخارجية المحيطة بها للمحافظة على جودة الصورة المتكونة فيها ، وهذه تقنية ابتكرت لغرض تحسين تصوير الرصد عن طريق خفض الاضطرابات (turbulences) في الموجات الضوئية القادمة من المصدر. هذه التقنية تستخدم في كثير من الاجهزة مثل المراقب الأرضية والفضائية وآلات التصوير الاعتيادية والرقمية . ويجرى التكيف البصري عن طريق قياس الاضطراب في مقدمة

الموجة الضوئية ومعادلته عن طريق تغييرات مناسبة تحدث آليا في النظام ، وهذه التغييرات تتضمن استخدام مرايا أو عدسات تشويه (deformable lenses or mirrors) تعمل على تغيير شكل جبهة الموجة المستلمة من المصدر لتجعلها خالية من اي اضطراب (كما في الشكل (1.5)) بحيث نصل إلى صورة ذات جودة عالية ، أو باستخدام اجزاء بصرية صغيرة (segments) قابلة للحركة على محاور متعددة لتكون متجمعة في نظام بصري مكيف تتغير معالمته ذاتيا حسب نوع الاضطراب الموجود في جبهة الموجة المستلمة ، وهذه الاجزاء اما ان تكون مرايا او عدسات او اي جزء آخر من النظام ممكن ان يغير في معالمته .[16]



الشكل(1.5) : نموذج نظام بصري مكيف[15].

ينقسم النظام البصري المكيف الى نوعين هما : نظام بصري مكيف اعتيادي (ordinary adaptive optical system) يعمل على تغيير المعالمات ومعالجة الصورة ذاتيا ، ونظام نشط (active optical system) يعالج الصورة حاسوبيا في وقت قصير جدا بدون الحاجة الى تحريك اجزاء النظام ، وهذا النوع يدخل ضمن مجال المعالجة الصورية (image possessing) [17] .

يتكون النظام البصري المكيف من ثلاثة أجزاء رئيسة هي:

1. مستشعر جبهة الموجة وهو جهاز يقوم بقياس الاضطراب في الموجة .
2. حاسوب يقوم بحساب إشارات تصحيحية لمقدمة الموجة معتمدا على بيانات المستشعر.
3. أجهزة تصحيحية يمكن بها جعل معادلة الاضطراب في جبهة الموجة .

تستخدم هذه الأجزاء الثلاثة في الرصد الفلكي بحيث تعالج الصور عدة مئات المرات في الثانية الواحدة. وفي أبسط الحالات تكون الأجهزة التصحيحية مكونة من مرآة واحدة ويمكن تحريكها على محورين متعامدين يمكن بها معادلة حركة الصورة الناجمة عن التأثيرات الجوية من رياح وتغيرات في درجة الحرارة وتغيرات في كثافة الهواء وغيرها . هناك تصحيحات أخرى من الدرجة الثانية مثل الانحراف عن البؤرة إلى تصحيح ضوئي فعلي مثل مرآة ذات سطح مرن يمكن تغييره أو مرآة من سائل بلوري [18].

يمكن استخدام مرآة مرنة تقوم بمعادلة جبهة موجة الضوء الساقطة على التلسكوب. تتحكم في المرآة تغيرات تحدث في شعاع عياري من الليزر يرسله التلسكوب إلى الجو.

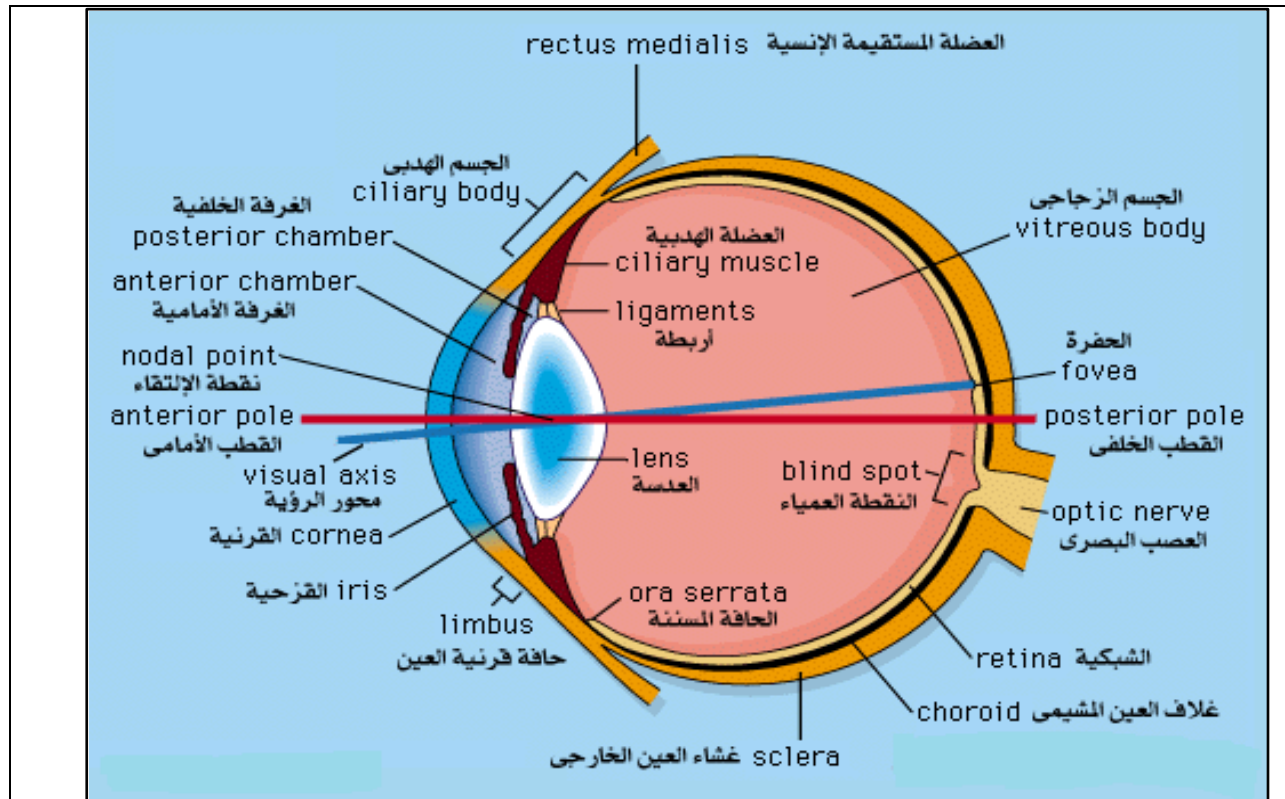
ان الوسط الرئيس لنقل الموجات الضوئية للتلسكوب الفلكية هو الغلاف الجوي (لكون الفضاء الخارجي خالي تقريبا من المادة وبدرجة حرارة ثابتة تقريبا فيعتبر وسط حر متجانس) . الغلاف الجوي للأرض هو وسيط كبير غير خطي وغير متجانس (nonlinear and anisotropic medium) يتغير باستمرار بطريقة عشوائية تؤثر على الضوء أثناء انتشاره من خلاله. هذا النموذج هو وصف لطبيعة اضطرابات جبهة الموجة التي تدخل الغلاف الجوي. تم اقتراح هذا النموذج لأول مرة من قبل عالم الرياضيات الروسي يدعى أندريه كولموغوروف (Kolmogorov) [17]. مدعوم بمجموعة متنوعة من القياسات التجريبية ويستخدم على نطاق واسع في عمليات المحاكاة للرؤية الفلكية. تعتمد نظرية كولموغوروف عن الاضطراب في الغلاف الجوي على افتراض أن الاضطراب يغير معامل الانكسار وهذا يؤثر على المجال البصري أو المجال الكهربائي ، لكونه ينتشر في الغلاف الجوي.

تعمل البصريات المكيفة في المراصد الفلكية العاكسة على تعديل انحناء المرآة عند تغيير وضعها وميلها. يبني المرصد الفلكي بمرآة كبيرة رئيسة من أجل تجميع الضوء بكمية كافية يمكن من خلالها الحصول على صورة واضحة للأجرام السماوية. ولهذا تستخدم بعض أنواع الزجاج السيراميكي ويتميز بمعامل تمدد حراري صغير، ويكون رقيق السمك وخفيف الوزن بحيث تسمح بتكوين صورة في مرآة. فينتج عن ذلك أن تفقد المرآة بعضا من توازنها ويتغير شكلها . مما تنتج عن ذلك صور قليلة التباين غير كاملة الوضوح لتصحيح هذه الصور غير الجيدة اذ تركز المرآة على ركائز كالمكابس تتحرك عن طريق وحدة تحكم يمكن رفع أو خفض وحدات من المكابس الصغيرة بحيث تعادل الاختلافات الحادثة في انحناء سطح المرآة، أي عن طريق تلك المكابس الصغيرة يمكن تعديل شكل المرآة إلى الحد الأمثل فتكون صورة الجرم السماوي واضحة [17].

1.6. تكيف العين البشرية Human Eye Adaptation

تكيف العين هي العملية التي من خلالها تقوم العين البشرية بتغيير الاشعة الضوئية للمحافظة على صورة واضحة التركيز على جسم ما وما تطراً عليه تغييرات في المسافة . اذ يمكن للعين البشرية السليمة تغيير بؤرة العدسة في (350 ms) . بتغيير في القدرة البصرية بؤرة العين نحو (12 diopeter) يحدث كنتيجة انقباض او انبساط العضلات الهدبية للعين (كما في الشكل (1.6)). فيتغير شكل تكور العدسة نتيجة لذلك الانقباض والانبساط مؤدياً ذلك الى تغير في قيمة البعد البؤري لها حسب موقع الجسم (زيادة البعد البؤري للجسام البعيدة ونقصان للجسام القريبة) . وهذه العملية تسمى تكيف عدسة العين (eye lens accommodation) [18] .

ان مدى تكيف العين ينخفض مع تقدم العمر. ففي العقد الخامس من العمر ينخفض مدى التكيف البصري بحيث ان اقرب نقطة على العين هي أكثر بعداً من المسافة اللازمة للقراءة. وعندما يحدث هذا يكون المريض مصاباً بقصر النظر الشيخوخي (presbyopia) . ان معظم كبار السن يعانون من انخفاض في قدرتهم على التركيز على الأجسام القريبة والبعيدة في الوقت نفسه. بسبب ضعف مرونة الالياف العضلية الخاصة لعدسة العين ، فيقل الانبساط والانقباض للعدسة مما يقل تكيفها للرؤية البعيدة والقريبة . ان اشهر الوسائل للتغلب على هذه المشكلة هو استخدام نظارات طبية مزدوجة العدسة (bifocal lenses) ، او باستخدام التداخل الجراحي [19] .



الشكل (1.6) مقطع عرضي للعين البشرية [19].

1.7. التأثيرات الجوية Atmospheric Effect

تطوّرت التلسكوبات، وكبرت أحجامها، وتحسّنت وسائل تصنيعها، وراحت قدراتها تتضاعف، إلا أن العقبة الكبرى أمام جودة التلسكوبات وكفاءتها كانت تكمن في الغشاوة التي تلازم الصورة بسبب ما يحدثه الغلاف الجوي من تأثير على الأشعة الضوئية حيث يشتتها بطريقة عشوائية، ويحيد بها عن مسارها، وهذا التأثير هو المسؤول أيضاً عن وميض النجوم، فمثلاً عند النظر بالعين المجردة إلى نجم في ليلة صافية ستجده يومض، حيث يختفي ضوءه والسبب يعود ذلك إلى التشتت لأشعة الضوء [20] .

وبسبب تأثير (الغلاف الجوي)، إضافة إلى (التلوث الضوئي) الناتج عن تداخل أضواء المدن، و(التلوث الصناعي) الناتج عن الغازات التي تطلقها المصانع وتؤثر على الأشعة الضوئية عبر تشتيتها وحجبها، لذا فإن موقع التلسكوب أصبح امراً مهماً تماماً مثل أهمية حجم المرايا والعدسات والتقنيات الأخرى المستخدمة في صناعة التلسكوب، ولهذا انطلق الفلكيون ليشيدوا تلسكوباتهم الضخمة على الجبال المرتفعة حيث تكون طبقة الهواء رقيقة، ومصادر التلوث الضوئي والصناعي بعيدة [21] .

وبالرغم من تلك الإجراءات لتقليل تأثير (الغلاف الجوي) إلا أنه بطبيعة الحال بقي عاملاً مهماً في الحد من كفاءة الرؤية مهما بلغت ضخامة وجودة التلسكوب الأرضي، ولم يبق في الواقع إلا حلاً جذرياً واحداً لهذه المشكلة، وهو أنه إذا لم يكن بالإمكان التغلب على تأثير (الغلاف الجوي)، فإن الهروب من (الغلاف الجوي) والفاك من أسره ينبغي أن يكون هو الهدف، وهذا هو ما أتاحتها إمكانات (التجوال الفضائي) الذي أصبح معلماً من معالم الثلث الأخير من القرن العشرين [22] .

1.7.1. الكتلة الهوائية Air Mass

الكتلة الهوائية للغلاف الجوي هي مقدار سمك الغلاف الجوي المار خلالها الإشعاع الكهرومغناطيسي . حيث ان الكتلة الهوائية تؤثر على كمية الإشعاع الواصل الى سطح الارض من خلال تأثير الاستطارة (scattering) والامتصاص (absorption) فيحدث توهين للإشعاع كلما زادت كتلة الهواء . حيث ان الاجسام السماوية (celestial objects) في الافق تبدو اقل لمعانا من قرينتها الاجسام التي في السميت بسبب حجم كتلة الهواء الاكبر في الافق ، وهذا التأثير يسمى الخمود الجوي (atmospheric extinction) حيث يحدد من خلال قانون خاص يعرف بقانون بير-لامبرت (Beer-Lambert law) [23] .

الكتلة الهوائية غالباً ما تعين عن طريق الكتلة الهوائية النسبية (relative air mass) التي تمثل النسبة بين سمك الغلاف الجوي بزاوية مائلة وبين سمكه بموقع السميت . فحسب التعريف تكون كتلة الهواء النسبية في موقع السميت تساوي واحداً ، وتزداد مع زيادة الزاوية بين المصدر والسميت لتصل الى قيمة مقاربة الى (38) عند الاق [23] .

1.8. التلسكوب الفلكي Astronomical Telescope

يعد التلسكوب الأداة الأساسية التي يستخدمها الفلكيون في رصد النجوم والأجرام في السماء. إذ تصدر الأجرام السماوية جميع الأطياف الكهرومغناطيسية، المرئية وغير المرئية، لكن يعاني الراصد الفلكي معوقات للرصد في نطاق الضوء المرئي التي تؤثر على جودة الصورة الواصلة، في أهمها التلوث الضوئي، ضبابية الغلاف الجوي، لهذا يلجأ الفلكيون في اختيار مواقع المراصد للعناية الفائقة. فتوضع المراصد في مناطق جافة خالية من الغيوم تقريبا وفوق قمم الجبال لتجنب الضباب الرقيق. هناك نوعان رئيسيان من المقاريب هما التلسكوب الكاسر للضوء (refractive telescope) والتلسكوب العاكس (reflective telescope).

- التلسكوب الكاسر (refractive telescope) يستخدم هذا النوع عدسة شبيئية كبيرة لتجميع الضوء القادم من الجرم السماوي لتكوين صورة واضحة له و عدسة عينية لرؤية الصورة المتكونة. وهذا النوع لم يتم تطويره منذ مدة طويلة، وذلك لصعوبة تصنيع عدسات ذات أقطار كبيرة. وكذلك لاحتوائه على عيوب عديدة منها: كبر الحجم الذي يعد اهم معوقات العمل في هذا النوع من التلسكوبات وذلك لاحتياجه الى عدسة ذات قطر كبير للحصول على كمية ضوء كافية لإنتاج صور واضحة، كذلك صعوبة نقل وتحريك المقراب بسبب الوزن الكبير واحتمال خدش العدسة وتحريكها من موقعها اثناء النقل، بالإضافة الى مشكلة الزيغ بنوعيه اللوني والألوني [24].

- التلسكوب العاكس (reflective telescope) يستخدم هذا النوع مرآة شبيئية كبيرة لتجميع الضوء القادم من الجرم السماوي. وهذا النوع هو الأكثر شيوعا في الاستخدام وذلك لسهولة تصنيع المرايا مقارنة بالعدسات. وتصنع المرايا من الزجاج بعد صقله وتلميعه حتى يغدو ذا شكل منحنى أملس ثم يطلى بطبقة رقيقة من الألمنيوم أو بعض المواد العاكسة للضوء. ان اهم ما يميز هذا النوع من المقاريب عن النوع الاول هو خلوه من الزيغ اللوني بسبب عدم استخدام عدسات فيه (فقط مرايا)، وكذلك مجال الرؤية الواسع من خلال كبر فتحة الادخال التي توفرها المرايا المقعرة الكبيرة [24].

ان اهم وظائف التلسكوب التي تصمم من اجله ممكن ان تندرج في النقاط الآتية:

1. تجميع الضوء من الجسم المراد رصده وتجميع الضوء يعتمد على مساحة المرآة أو العدسة الشبيئية ذات مربع قطر المرآة. فزيادة قطر العدسة الشبيئية إلى الضعف تزيد مساحة تجميع الضوء أربع مرات.
2. مقدرة التلسكوب على فصل (تفريق) صور الأجسام القريبة من بعضها البعض أو كشف التفاصيل الدقيقة لصورة الأجرام السماوية. وعملية التفريق تعتمد على قطر المرآة أو العدسة الشبيئية وكذلك الطول الموجي للضوء الساقط. يسمى قدرة التلسكوب على الفصل بين جسمين قريبين وتكوين صورة واضحة لهما يسمى بقدرة التفريق (resolving power) التي يعد واحدة من العوامل المهمة في تقييم جودة النظام البصري سواء كانت القياسية منها أو الرقمية (analog or digital optical system) [25].

3. قوة تكبير التلسكوب: التي تساوي البعد البؤري للعدسة الشيئية مقسوماً على البعد البؤري للعدسة العينية. او النسبة بين قطر العدستين الشيئية والعينية للحصول على تلسكوب ذي قدرة تكبير عالية، اذ تستخدم عدسة شيئية ذات قطر كبير او ذات بعد بؤري كبير بالمقارنة مع العدسة العينية [26].

1.9 مراجعة تاريخية (Historical Review)

احتل موضوع التصميم البصري للأنظمة المكيفة اهتماما كبيرا لدى الباحثين والمصممين، لكونه يسهم في تحسين جوده الصورة ويزيد من كفاءة عمل النظام البصري تحت اي ظروف ممكنة التي من خلالها ان تؤثر على جودة الصورة. يعتبر هذا المجال البحثي من المواضيع الحيوية لموضوع البصريات، لكونه يدخل في حيز تحديد قيم التوازن المثلى للمعلمات البصرية الخاصة بالنظام البصري التي تعطي افضل صورة من خلال تقليل التشوهات الحاصلة فيها عن طريق الظروف الجوية وغيرها. كذلك تمثل الجدوى الاقتصادية دورا مهما في مجال التصميم البصري لكونه من العوامل المهمة التي يركز عليها المصمم.

استخدمت الانظمة البصرية المكيفة اول مرة في عام (1953 م) حيث اقترح تلك الطريقة هوراس بابكوك (Horas Bapcock) عن طريق تغيير اجزاء من النظام البصري. بعد التطور الكبير الذي حدث في مجال الحاسوب (عام 1990 م) اصبح تطبيق الفكرة ممكنا عن طريق برمجة النظام البصري ذاتيا ليصبح بعد ذلك مكيفا (17).

ففي عام (1997) طورت طريقة جديدة من قبل الباحثين (A. Stern and N. Kopeika) لحساب دالة الانتقال البصرية لصورة متأثرة بعامل الحركة عن طريق استخدام نظام بصري مكيف حيث يتكون من مجموعة من المرايا الصغيرة، اذ تتجمع لتكون نظاماً بصرياً ذا فتحة ادخال كبيرة نسبيا ممكن معالجة اي تشوه في الصورة المتحركة عن طريق هذه الطريقة [27].

وقام كل من (Brad Armosky and Mary Kay Hemenway) بدراسة نظرية على تلسكوب فضائي مكيف كبير الحجم (11m) نوع (Hobby-Eberly Telescope) ويتكون من مرايا سداسية صغيرة، وقد تمت المقارنة بين النتائج المستخرجة من البحث مع نتائج تلسكوبات ارضية اخرى [28].

وصمم كل من (Dave Baiocchi and J. H. Burge) مقرباً عاكساً مكيفاً يتكون من مرايا سداسية صغيرة لها القابلية على الحركة لزيادة حجم المقرب ولتغيير قطر فتحة الادخال له. واستخدما طرائق رياضية لتحليل الخطأ في جودة الصورة لتعديل الصورة الناتجة [29].

تم تصميم مقرب ارضي مكيف من قبل مجموعة باحثين (G. Z. Angeli et al) يتكون من مجموعة مرايا يعمل على معالجة الاضطرابات في الصورة الناتجة من التأثيرات الجوية التي تتضمن تغير معامل انكسار الهواء في الغلاف الجوي، وتغير موقع المرآة نتيجة الرياح [30].

تم حساب دالة الانتشار الخطية (PSF) والانبعائية (emissivity) من قبل الباحثين (Dario Amodei and Stephen Padin) لمرايا سداسية الشكل ومختلفة الحجم بعدد (1000) قطعة ، واثبتا امكانية هذا العدد الكبير من المرايا من اجل الحصول على نظام بصري مكيف جيد [31].

طور مجموعة من الباحثين (C. Christopher et al) نظاماً بصرياً مكيفاً باستخدام تقنية تضمين تردد الضوء الفراغي البلورات السائلة (liquid crystal modulation) لتقليل الاضطرابات الجوية واستخدام مرايا مشوهة لتعديل جبهة الموجة المضطربة [32].

استخدم كل من (Frederic Gonte et al) تجربة الطور الفعال (active phasing) لتقييم عمل مقراب ضخم الحجم عن طريق مشروع النظام البصري الاوربي . هذه الطريقة تستخدم تضمين الطور حاسوبياً للحصول على موجة معدلة وخالية من التشوهات الناتجة من الظروف الجوية [33].

تم تصميم نظام بصري مكيف من قبل (Jason B. Stewart et al) يتكون من (331) مرآة صغيرة ذات قطر (600 μm) قابلة للحركة باتجاه مركزي ومحوري . المرايا لها ثلاث درجات حرية لضبط الحركة للدوران على المستوي (في محورين) وللحركة العمودية على مستوي السطح [34].

قام مجموعة من الباحثين (S. J. Thompson et al) بدراسة تقنية تصميم مقراب ذي فتحة ادخال كبيرة (4m) تتكون من مرايا صغيرة قابلة للطي للحصول على تعديل في شكل المقراب ليكون نظاماً بصرياً مكيفاً تتغير معالمته حسب الظروف المحيطة به [35].

تمكن (Markus Kasper) من تصميم تلسكوب يحتوي مرآة اوليه (D=8 m) للحد من الحيود والحصول على صورة خالية من التشوهات باستخدام البصريات المكيفة وتمكين التلسكوبات الارضية من الوصول الى حد الحيود وتوفير القرار المكاني متفوقة على ما يمكن تحقيقه من الفضاء مع الاقمار الصناعية الحالية او المخطط لها [36].

استخدم الجيزاني _ علاء بدر برنامج زيماكس للوصول إلى التصاميم المثلى من خلال اقتراح عدد من النماذج البصرية للعمل كمركزات شمسية مصغرة من ناحية ولتحسين كفاءة النظام من ناحية أخرى معتمد في الدراسة على استخدام الرزمة البرمجية (ZEMAX) للوصول إلى التصميم الأمثل لهذه النماذج. [37].

تمكن العبيدي-حسين طالب هاشم من دراسة استراتيجية لتصميم مجزأ الحزمة غير متحسس لظاهرة الاستقطاب بنوعيه المستوي والمكعب ليعمل في المنطقتين الطيفيتين المرئية وتحت الحمراء القريبة باستخدام الرزمة البرمجية زيماكس. [38].

صممت مريم غالب ازهر خلية شمسية سليكونية ذات اخاديد تلامس سطحها العلوي لزيادة كفاءة الخلية عن طريق تقليل الانعكاسية للاشعة الساقطة، وكذلك زيادة طول المسار البصري للاشعة وتقليل عدد الاشعة

الساقطة بزواوية اقل من الزاوية الحرجة، وبالتالي زيادة فرصة امتصاص الفوتونات داخل الخلية باستخدام برنامج زيماكس [39].

تمكنت رسل صادق جعفر من تصميم مركزات شمسية باستخدام مصفوفة عدسات اسطوانة مختلفة الاشكال تعمل على تركّز الأشعة الشمسية اسفل المنظومه, حيث توجد خلايا شمسية لتقلّل المساحة الفعالة وتنظّم انتشار الاشعة, ولذا تمت زيادة كفاءة الخلية الشمسية عن طريق زيادة الشدة الاشعاعية الواصلة اليها. تم تصميم هذه النماذج من خلال استخدام برنامج التصميم البصري زماكس [40].

تمكنت صباح علي حسين من تصميم نظام شمسي يحتجز الاشعة ويتضمن صفوفاً ذات عدسات (رباعية و سداسية) في الجزء العلوي للنظام التي تعمل على تركيز الاشعة في المستوى البؤري لها حيث تثبت شقوق تسمح بمرور الضوء الى داخل الخلية الشمسية وتمنع خروجه لوجود سطح داخلي عاكس، فتزداد الانعكاسات الداخلية في الخلية الشمسية، ومن ثم يزداد طول المسار البصري للاشعة فتزداد نسبة امتصاص الفوتونات في الخلية، وبالنتيجة تزداد كفاءتها البصرية باستخدام برنامج زيماكس [41].

1.10. هدف البحث (Aim of the Work)

1. تصميم ومحاكاة نظام بصري مكيف تلسكوب عاكس ارضي ذو شكل قطع مكافئ يتكون من (19) مرآة صغيرة سداسية الشكل متحركة على ثلاثة محاور.
2. محاكات جبهة موجة مضطربة داخله الى النظام عن طريق استخدام سطح وهمي يشوه شكل الموجة .
3. استخدام برنامج ZEMAX لتغيير معالم النظام البصري (البعد البؤري – نصف قطر التكور) للتغلب على مشكلة تشوه جبهة الموجة للحصول على صورة ذات جودة عالية .
4. مقارنة الصورة المتكونة من النظام البصري المكيف مع النظام التقليدي (غير المكيف) عن طريق مجموعة وسائل وتقييم للصورة يوفرها برنامج ZEMAX.

الفصل الثاني

التصميم البصري

2.1 مقدمة (Introduction)

يعد التصميم البصري واحداً من الخطوات المهمة التي تسبق صناعة الانظمة البصرية . لكون العملية توفر الجهد والوقت اللازم للحصول على المواصفات المناسبة للتصميم من حيث المعلمات (parameters) الخاصة به والتي تسمى متطلبات الاداء (performance) ، وقيود التصميم (tolerance) للظروف المحيطة به .

يشير التصميم البصري إلى حساب المعلمات البصرية (المتغيرات) التي تلي مجموعة من متطلبات الأداء والقيود ، بما في ذلك قيود التكلفة والتصنيع . إذ تشمل معلمات الإداء أنواع أشكال السطح كالكروي (spherical) وشبه الكروي (aspherical) والمستوي (plane) ، الخ ، ومعلمات كل سطح مثل نصف قطر التكور (radius of curvature) ، والمسافة إلى السطح التالي (thickness) ، ونوع المواد المستخدمة (زجاج أو بلاستيك أو مرآيا) وقطر فتحة الادخال (entrance pupil diameter).

ان متطلبات التصميم البصري تشمل ما يأتي[42]:

1. الأداء البصري (optical performance): الذي يشمل تحديد المعلمات الخاصة المتمثلة بحجم التصميم والموقع والمحاذاة وغيرها من الامور التي تبين الشكل العام للتصميم . كذلك تشمل تقييم جودة النظام البصري التي يتم تقديرها بوساطة مجموعة طرائق التحليل توفرها برامج التصميم البصري والتي تمثل معايير لتقييم اي نظام بصري بنوعيه (الصوري وغير الصوري) . ان اهم طرائق التحليل هذه هي : الطاقة المتجمعة (encircled energy) ، ودالة الانتقال البصرية (optical transfer function) ، مخطط انتشار الاشعة للجسم النقطي (spot diagram) .

2. المتطلبات المادية (material appliances): مثل الوزن والحجم الثابت والحجم الديناميكي ومركز الثقل ومتطلبات التكوين الشاملة.

3. المتطلبات البيئية (environmental appliances):مثل درجة الحرارة والضغط والاهتزاز والرطوبة وشدة الاشعاع الواصل للنظام .

يمكن أن تشمل قيود التصميم سمك الحافة للعدسة او المرآة ، والمسافات الدنيا والقصى بين العدسات ، والحدود القصى لزوايا الدخول والخروج للأشعة من والى النظام البصري ، ونوع الزجاج الذي من خلاله تتعين خصائص معامل الانكسار والتشتت [43].

2.2. برامج التصميم البصري (Optical Design Programs)

توفر برامج التصميم البصرية الحديثة للمهندسين والمصممين موارد سريعة ونماذج افتراضية دقيقة لتصوير تصميمات النظام البصري . اذ تعمل حزمة البرامج المناسبة على تحسين إنتاجية المهندسين وتقليل تكاليف تطوير المنتج ، مما يؤدي إلى ابتكارات أفضل على ميزانيات وجداول زمنية أكثر تشددًا. هناك عدد من الخيارات المتاحة لاختيار هذه البرامج التي تتلاءم مع انماط مختلفة يتمكن المصمم من خلالها معرفة الطريقة الرياضية (الخوارزمية) التي يعمل بموجبها البرنامج . وهذه الانماط هي ثلاثة انواع : نمط تتبع الأشعة المتسلسل (sequential ray tracing mode) ، ونمط تتبع الأشعة غير المتسلسل (non-sequential ray tracing mode) ، ونمط يستخدم الرياضيات العددية بطريقة الفرق المحدد (finite difference time domain FDTD) [44] . الجدول (1.2) يلخص اهم البرامج المستخدمة للتصميم البصرية مقسمة الى ثلاث فئات لكل نمط .

الجدول (2.1) اهم البرامج البصرية [44].

البرامج	الانماط
Code V, OpTaliX, OSLO and ZEMAX	نمط تتبّع الأشعة المتسلسل
ASAP, FRED, Light Tool, SPEOS, Trace Pro and ZEMAX	نمط تتبّع الأشعة غير المتسلسل
FDTD Solutions, Full Wave, JCM suite, Omnisim and Opti FDTD	طريقة الفرق المحدد

2.3 برنامج زيماكس (Zemax Program)

هو برنامج تصميم بصري واسع الاستخدام. يتم استخدامه لتصميم وتحليل الانظمة البصرية. حيث يمكن للبرنامج العمل بنمط تتبع الأشعة المتسلسل من خلال تصميم العناصر البصرية التقليدية (مثل العدسات والمرايا والمواشير) التي ينتقل خلالها الضوء بصورة متسلسلة أي من السطح الى الآخر الذي يليه دون الرجوع مرة اخرى وهذا يشمل تصميم الانظمة البصرية مثل المجهر والتلسكوب ، وكذلك يعمل بنمط تتبع الأشعة غير المتسلسل من خلال تصميم العناصر غير التقليدية (مثل الالياف البصرية المركبات الشمسية) ، التي ينتقل خلالها الضوء بصورة غير متسلسلة أي امكانية سقوط الشعاع الضوئي على السطح اكثر من مرة ولا يراعى فيها التسلسل في انتقال الضوء عبر السطوح بالتسلسل [45].

يمكن أن تقوم برمجة انتشار الأشعة من خلال عناصر بصرية مثل العدسات ، والمرايا ، والعناصر البصرية المركبة . كذلك حيث يقوم البرنامج ببرمجة تأثير الطلاء البصري على أسطح المكونات ، ويمكنه أيضاً إنتاج مخططات تحليلية قياسية مثل المخططات الموضعية للصورة (spot diagram) ومنحني زيغ الأشعة (ray fan aberration) وتوزيع الاستضاءة (illuminance distribution) والطاقة المحيطة (encircled energy) . ويحتوي البرنامج على مكتبة واسعة من نماذج العدسات بحسب الشركات المصنعة. ويوفر البرنامج ايضا مجموعة ضخمة من انواع الزجاج والبلاستيك مع عرض تفصيلي لكل المعلمات الخاصة بكل نوع من معامل الانكسار ومعاملات التفريق والتمدد الحراري الخ. [46].

يوفر برنامج زيماكس ايضا مجموعة كبيرة من نماذج التصاميم البصرية الجاهزة ، ليتسنى للمصمم الحصول على نموذج معياري للمقارنة مع التصميم الجديد . كذلك يعطينا فكرة واضحة على كل الوسائل اللازمة لتقييم اداء التصميم من خلال عرض مجموعة نوافذ لادوات التقييم ذات الصلة .

يحتوي البرنامج على مجموعة قوية من أدوات تحسين الاداء التي يمكن استخدامها للتصميم البصري عن طريق ضبط المعلمات تلقائياً لزيادة الأداء وتقليل الانحرافات الحاصلة في الاشعة لتقليل الزيغ [47]. الجدير بالذكر ان عمليات التحسين التي يوفرها البرنامج ان تكون قوية وقادرة على تحسين تصاميم النظام البصري وهذا يتطلب نقطة بداية مقبولة ومجموعة من المعلمات [48].

ان من المعروف استخدام قيمة معينة لاحد المعلمات في التصميم البصري للحصول على تصميم ذي جودة عالية . فمثلا يمكن تغيير قطر فتحة الادخال ونصف قطر التكور للعدسة من اجل تقليل الزيغ الكروي . لكن هذا التغيير يكون على حساب تأثيرات اخرى كالزيغ المذنب واللابوري مثلا . لذلك ينبغي اختيار قيم مناسبة لكل المعلمات القابلة للتغيير للحصول افضل اداء للنظام البصري بحيث يقلل الى اقصى قيمة كل التأثيرات التي تسبب نقصاً في اداء النظام . لذلك يوفر برنامج زيماكس قيماً مثلى لكل المعلمات ولكل تصميم ذاتي عن طريق اختيار قيماً التوازن المثلى (optimum balance values) التي تعين من قبل المصمم الذي له حق الاختيار للمعلمات التي يراد تغييرها والاخرى الثابتة [48] . ان من اشهر المعلمات التي يمكن ان تتغير لقيم مثلى للحصول على اداء جيد للنظام البصري هي :

1. نصف قطر تكور السطح.

2. المسافة بين السطوح التي يمكن أن تكون سمك العنصر أو الفسحة بين العناصر.

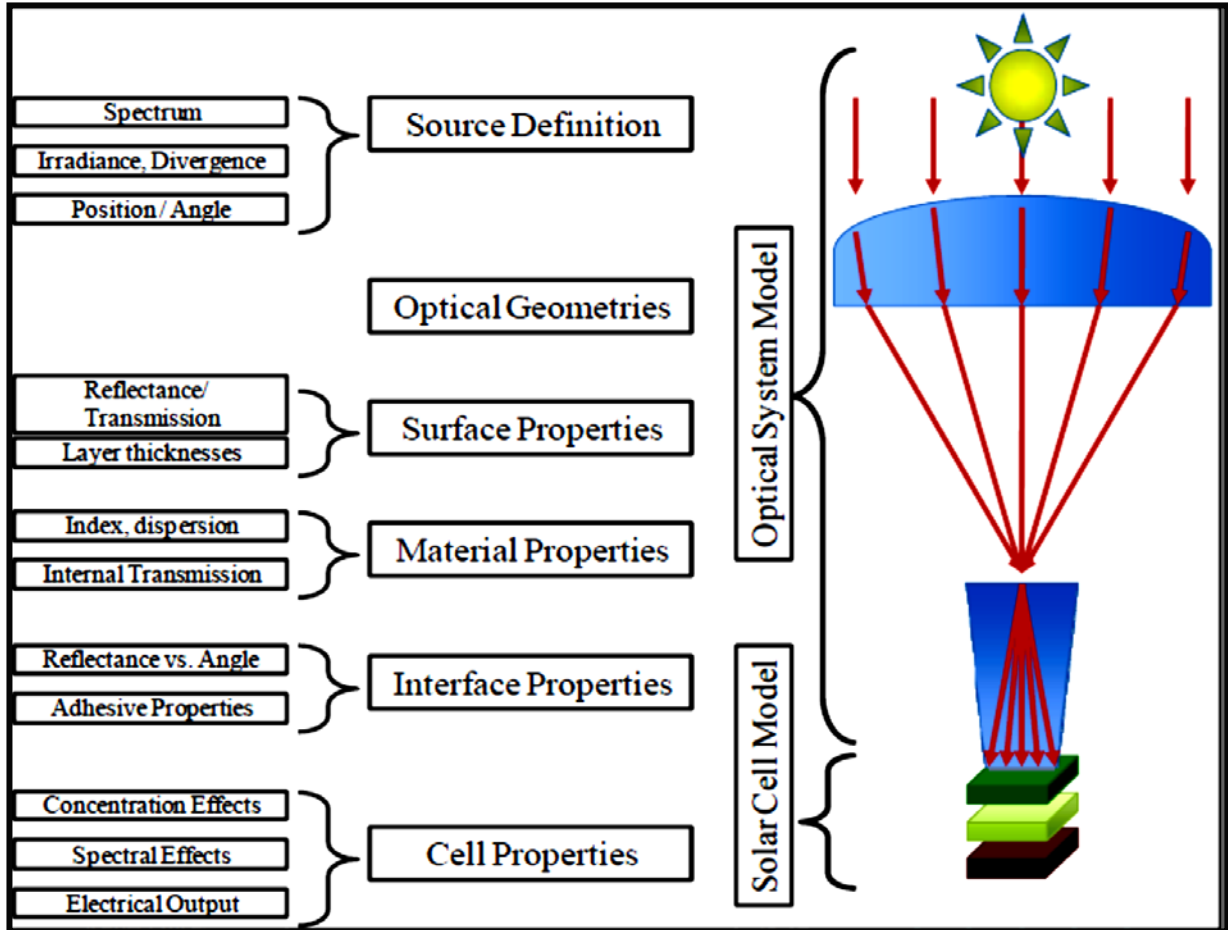
3. نوع المواد المستخدمة في صناعة العناصر البصرية.

4. قطر فتحة الادخال .

2.4 نمط تتبع الاشعة في زيماكس (Ray Tracing Mode in Zemax)

ان النمط الرياضي المستخدم في برنامج زيماكس هو نمط تتبع الاشعة عن طريق معالجة رياضية لقوانين الانعكاس والانكسار والامتصاص والاستطارة للضوء عند انتقاله عبر وسائط النظام البصري ، وهذا يتم بطريقة تمثيل المصفوفات (matrix presentation) التي يتعرف من خلالها على صفات الصورة المتكونة . هناك نوعان من انماط تتبع الاشعة المستخدمة في هذا البرنامج هما نمط تتبع الاشعة المتسلسل وغير المتسلسل . الشكل (2.1) يبين مخطط لنمط تتبع الاشعة. يوضح نظام تتبع الاشعة الذي يبدأ من نوع المصدر الذي يحدد من خلال نوع الطيف ، مقدار الاستضاءة و انفراج الاشعة ، موقع المصدر والزاوية التي تسقط بها الاشعة على النظام . ثم تليها خصائص السطح مقدار الامتصاصية والنفاذية للسطح ، سمك الطبقة . صفات المادة من خلال معامل التفريغ لكل مادة . والنفاذية الداخلية كمية المادة المسوح بها للدخول للمادة . ان صفات

الحد الفاصل بين النظام البصري والعنصر الذي يمكن ان يكون خلية شمسية او متحسساً بصورياً تعتمد عليه الانعكاسية وزاوية السقوط وصفات المادة اللاصقة بين الحد البصري والعنصر الذي يليه .يكون الجزء الأخير اما بشكل متحسس او كاشف ضوئي او خلية شمسية او شاشة حساسة للضوء[49].



الشكل (2.1) النمط العام لتتبع الأشعة [49] .

2.4.1 نمط تتبّع الأشعة المتسلسل Sequential Ray Tracing Mode

ان نمط تتبّع الأشعة هو تقنية رياضية تتمثل بمصفوفات قابلة للتطبيق على نطاق واسع لبرمجة انتشار الضوء من خلال نظام بصري. يُطلق على تمثيل انتشار الضوء عبر نمط تتبّع الأشعة عادة ما يطلق البصريّات الهندسية .

في نمط تتبع الأشعة المتسلسل ، يتم تتبع الأشعة من خلال سلسلة محددة مسبقاً من الأسطح أثناء الانتقال من سطح إلى سطح اخر في النظام البصري . اذ تصل الأشعة إلى كل سطح مرة واحدة بالترتيب (التسلسل) الذي يتم فيه تعريف الأسطح. يتم وصف أنظمة التصوير بشكل جيد من خلال الأسطح المتتابعة. تتبع الأشعة المتسلسل سريع من الناحية العددية ومفيد للغاية لتصميم مثل هذه الأنظمة وتحسينها وتحملها. يزود هذا النمط مجموعة من ادوات تقييم اداء النظام مثل مخطط انتشار الصورة ، ومخطط الزيغ ، ودالة الانتقال البصرية المعدلة (MTF)، وفرق المسار البصري (OPD) والطاقة المحاطة [50].

الشكل (2.2) يعرض المكونات الرئيسية في برنامج (زيماكس) يتضمن شريط القوائم الرئيسي وشريط المفاتيح ومحرر بيانات العدسة (LDE) . يمكن الوصول إلى جميع الميزات التي يقدمها (زيماكس) من خلال القوائم المختلفة في شريط القائمة الرئيسي. تتوفر اختصارات لمعظم هذه الميزات لسهولة الوصول في شريط المفاتيح أسفل شريط القائمة الرئيسي. يمكن تغيير المفاتيح المخصصة من خلال خيار القائمة [51].

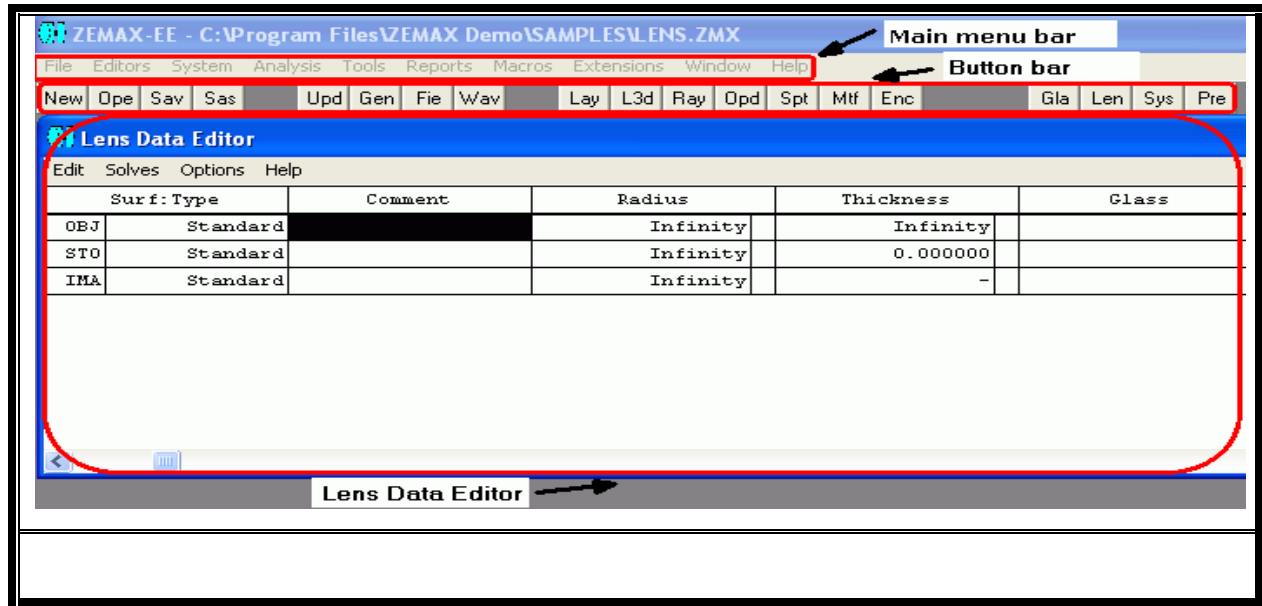
أسفل شريط المفاتيح يوجد محرر بيانات العدسة (LDE) الذي يحتوي على أعمدة للتعليقات ، ونصف قطر التكور ، والسلك ، ونوع الزجاج ، ونصف قطر فتحة الادخال .يتم استخدام عناصر البيانات الخمسة لتحديد المعلمات البصرية الاساسية للسطح. بالإضافة الى اعمدة ثانوية اخرى مكملة لمعلمات كل سطح تتغير حسب نوع السطح .

يمثل كل صف سطحاً بصرياً واحداً . كل سطح له نظام الإحداثيات المحلي الخاص به. يشار إلى موضع كل سطح على طول المحور البصري على السطح السابق بمعنى آخر ، يشير عمود "السلك" في محرر بيانات العدسة إلى المسافة من السطح السابق وليس من نقطة مرجعية [53] .

يعرض محرر بيانات العدسة بشكل افتراضي على ثلاثة سطوح اساسية هي: الجسم ، والفتحة ، والصورة . حيث يتم الإشارة إليها بواسطة OBJ و STO و IMA في العمود الصغير على الجانب الأيسر. يعرض العمود الثاني أيضاً على نوع السطح ، الافتراضي وهو السطح "القياسي". هناك العديد من أنواع السطوح الأخرى المتاحة. تُستخدم الأعمدة الموجودة على اليمين لإعداد معلمات إضافية لأنواع الأسطح الأكثر تقدماً [53] .

يحتوي كل نظام بصري على مواصفات فتحة النظام ، مثل العدد البؤري (f number) $f / \#$ ، وقطر فتحة الادخال (pupil diameter) ، والفتحة العددية (numerical aperture NA) ، الذي يعين العرض

الزاوي للحزمة الضوئية على المحور التي سيجمعها النظام البصري يتم استخدام مربع حوار بيانات الحقل لتحديد النقاط على سطح الكائن الذي يتم تشغيل الأشعة منه. يمكن الوصول إلى مربع الحوار هذا من خيار "System → Fields" في القائمة الرئيسية. يتم تعيين أطوال موجات الأشعة التي يتم تتبعها في مربع حوار بيانات طول الموجة. يتم الوصول إلى مربع الحوار هذا من خيار القائمة الرئيسية [52].



الشكل (2.2): النافذة الرئيسية لبرنامج زيماكس لنمط تتبع الأشعة المتسلسل.

2.4.2 نمط تتبع الأشعة غير المتسلسل Non-Sequential Ray Tracing Mode

لا تعاني نمط تتبع الأشعة غير المتسلسل في (زيماكس) من نفس القيود التي يعاني منها تتبع الأشعة المتسلسل. نظرًا لأن الأشعة يمكن أن تنتشر من خلال المكونات البصرية بأي ترتيب، يمكن حساب مسارات شعاع الانعكاس الداخلي الكلي (TIR) بينما يقتصر الوضع المتسلسل على تحليل أنظمة التصوير، يمكن استخدام الوضع غير المتسلسل لتحليل الضوء الشارد والتشتت والإضاءة في كل من أنظمة التصوير وغير التصوير. إذا كان يمكن تتبع نظام بصري بالأشعة، فيمكن تتبعه بتحليل غير متسلسل في البرنامج [53].

هناك العديد من أنواع المكونات البصرية التي لا يمكن تصميمها باستخدام برمجة السطح المتسلسل البسيط. تحتاج هذه البصريات إلى أن تكون على شكل مكونات ثلاثية الأبعاد حقيقية. تتضمن أمثلة الكائنات التي

تتطلب تتبع أشعة غير متسلسل: موشورات معقدة ، ومكعبات زاوية ، وأنايبب ضوئية ، وكائنات مجسمة ، واجسام مدمجة (أي اجسام موجودة داخل اجسام أخرى) [53]

يمكن برمجة تتبع الشعاع غير المتسلسل في (زيماكس) باستخدام أحد الاوضاع: تتبع الشعاع غير التسلسلي وتتبع الشعاع التسلسلي / غير التسلسلي المختلط.

الأشعة من مصادر غير متسلسلة ، يمكن تقسيمها بواسطة المكونات البصرية. ويمكن أيضاً أن تنعكس هذه الأشعة على الأسطح. تتضمن خيارات التحليل المتاحة عند نمط تتبع الأشعة غير المتسلسلة تقييم بيانات الإشعاع على أجهزة الكشف وتخزين بيانات الأشعة في ملفات قاعدة بيانات الشعاع. يمكن تصميم أجهزة الكشف على أنها أسطح مستوية ، وأسطح منحنية ، وحتى أحجام ثلاثية الأبعاد. تدعم الكاشفات عرض مجموعة متنوعة من أنواع البيانات بما في ذلك: ، الكثافة الإشعاعية والاستضاءة. يمكن تصفية مسارات الشعاع لعزل الأشعة التي تصطدم بالاسطح. يمكن بعد ذلك عرض بيانات الشعاع التي تمت تصفيتها في مخطط الكشف. كل ما سبق يجعل تتبع الأشعة غير المتسلسل مفيداً جداً لتحليل الضوء الشارد بالإضافة إلى مجموعة متنوعة من تطبيقات الإضاءة (الشكل 2.3)[54,55]

Object Type	Comment	Ref Object	Inside Of	X Position
1 Standard Lens	surfaces 2-3	0	0	0.000
2 Standard Lens	surfaces 4-5	0	0	0.000
3 Standard Lens	surfaces 6-7	0	0	0.000
4 Source Ellipse		0	0	0.000
5 Detector Rect		0	0	0.000

الشكل (2.3) النافذة الرئيسية لنمط تتبع الأشعة غير المتسلسل في (زيماكس).

2.5. طرائق تقييم النظام البصري في زيماكس Optical System Evaluation

Methods in Zemax

يمكن تمثيل خصائص أداء النظام البصري الصوري وغير الصوري بعدة طرق. غالبًا ما تكون مواصفات الأداء البصري النهائية من حيث دالة الانتقال البصري المعدلة (MTF) أو الطاقة المحاطة أو معايير أخرى. تتعلق هذه المعايير بطرق مختلفة بجودة صورة النظام. تباينها هناك معيار شائع الاستخدام لتقييم جودة الصورة المتكونة في النظام البصري هو قدرة التفريق (resolving power) الذي يشير إلى قابلية النظام البصري على التمييز بين جسمين قريبين مع بعضهما البعض ، ويدل على تباين الصورة (contrast) وحدتها (sharpness) [55].

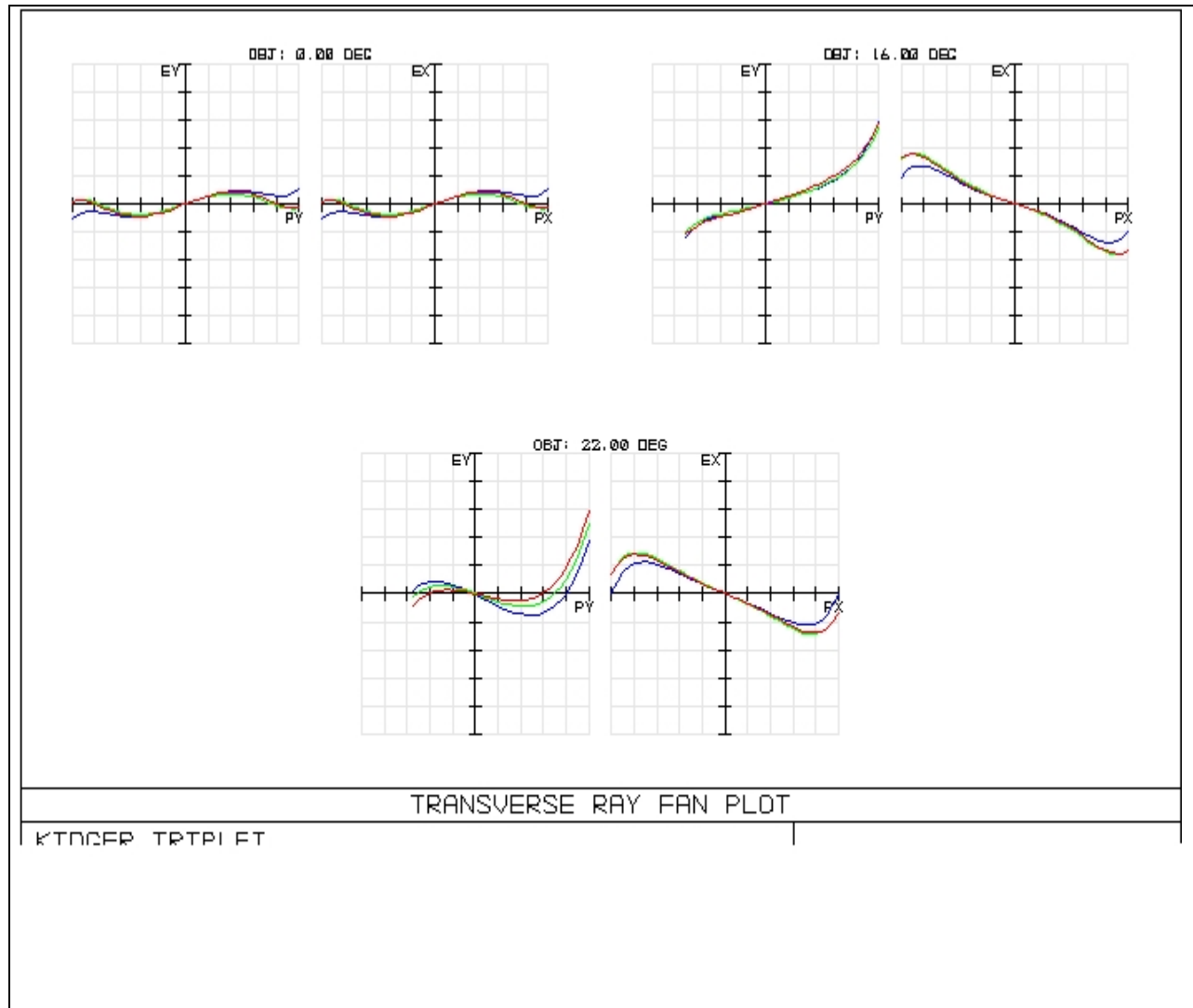
ان الصورة المتكونة ليست مثالية أبدًا. وهي محدودة بسبب الانحرافات الهندسية والزيغ وتأثيرات أخطاء التصنيع والتجميع وعوامل أخرى. سيساعد توصيف جودة الصورة بالطرق الموضحة في الأقسام التالية على تقييم كيفية أداء النظام بالنسبة لصورته.

من المهم أن ندرك أن جودة أو دقة الصورة للنظام بأكمله لا تعتمد كليًا على البصريات [55]

تجدر الإشارة إلى أن النظام البصري غير الصوري يحتوي على تقييم جيد للأداء من خلال الطاقة المُتجمعة والمخطط الموضوعي فقط ، بدلاً من الطرق الأخرى التي تقيم أداء الصورة في النظام البصري للتصوير [56].

2.5.1. منحنيات الزيغ للاشعة: Ray Fan Aberration

يمكن لمنحنيات زيغ الاشعة المستعرض أن تحدد على الفور كمية الزيغ الكروي والمذنب والاستجماتيزم وزيغ تكور المجال والزيغ اللوني . بالإضافة إلى ذلك يمكن للمستخدم أيضاً معرفة صفات هذا الزيغ أيضا ، يمكن من خلال مخطط توزيع الزيغ أن تصدر حكما موثوقا على ما يجب القيام به فيما يتعلق بمزيد من التحسين للنظام البصري. على الرغم من التقدم الحاصل في مجال المعالجة الصورية الحاسوبية ، إلا ان هذه الطريقة تعتبر فعالة ومفضلة للكثير من المستخدمين في مجال التصميم البصري . الشكل(2.4) يوضح مخطط منحنيات الزيغ بالنسبة لمحوري الصورة [57] .



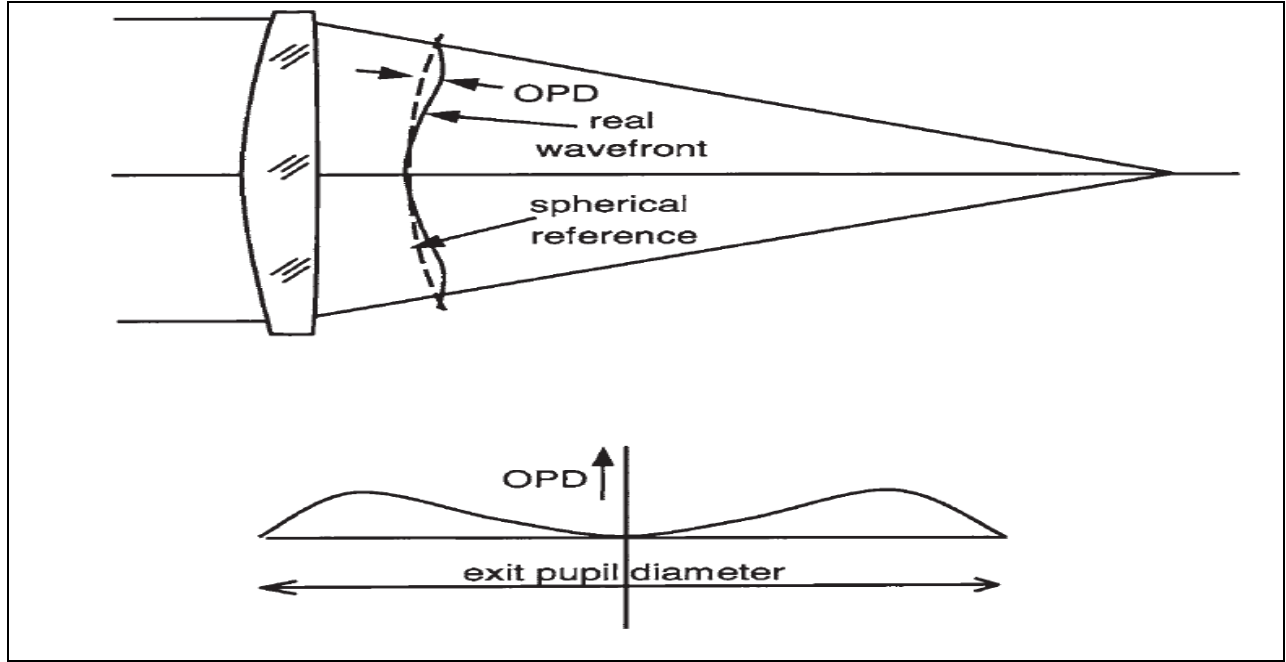
الشكل (2.4). مخطط منحنى زيغ الاشعة.

2.5.2. فرق المسار البصري (OPD) Optical Path Difference

يعد فرق المسار البصري مقياساً مفيداً للغاية لأداء نظام التصوير . إذا كانت جبهة الموجة التي تنتقل إلى صورة نقطة معينة كروية ومركزة في الصورة النقطية لمجال رؤية معينة ، فستكون الصورة مثالية هندسيًا ، أو تكون محددة في الحيود [58] .

إذا كانت جبهة الموجة كروية ومتحدة المركز ، ومركزة عند نقطة في الصورة ، فإن الأشعة ستصل جميعها إلى نفس النقطة كما حددها مركز انحناء جبهة الموجة. لكن بسبب تكور السطوح للعدسات والمرايا يكون هناك فرق في المسار البصري لجبهة الموجة على طول المحل الهندسي للسطح المنحني ، يؤدي فرق المسار هذا إلى عدم تجمع الأشعة بعد الانعكاس أو الانكسار في نقطة واحدة مما يسبب الزيغ . ان مخطط فرق المسار يعطي فكرة على كمية الانحراف الحاصل في جبهة الموجة الاصلية بعد مرورها خلال السطح المنحني ، وهو يمثل معياراً ثانياً لقياس كمية الزيغ في النظام البصري [60] .

يوضح الشكل (2.5) عدسة افتراضية ذات جبهة موجة كروية تمامًا وجبهة موجة متقطعة. إذ تغادر جبهة الموجة الكروية فيحدث فيها فرق مسار بصري بسبب الانحرافات الناجمة عن العدسة . يمكن تعريف فرق المسار البصري على انه الفرق بين جبهة الموجة الحقيقية وجبهة الموجة المرجعية الكروية ، والتي يتم تحديدها عادة لتكون مناسبة بشكل أفضل لمواجهة الموجة المنحرفة [61].



الشكل (2.5) مخطط فرق المسار البصري [61].

2.5.3. مخطط انتشار الصورة Spot Diagram

يبين مخطط انتشار الصورة التوزيع الهندسي للصورة المتكونة على مستوى الصورة . كميّار للتوزيع تستخدم دالة الانتشار النقطية (point spread function PSF) التي تمثل توزيع انتشار الصورة لجسم نقطي . تعتبر هذه الطريقة عيانية للتقييم أي ممكن الحكم على جودة الصورة من خلال الملاحظة المباشرة للمخطط . ممكن استخدام معيار مساحة انتشار مناسب للمقارنة مع التوزيع الجيد للصورة من خلال استخدام قرص آيري (Airy disc) الذي يحيط بمساحة (80%) من التوزيع الكلي . فالتوزيع الجيد للصورة يجب ان يدخل ضمن قرص آيري ، والا فلا تكون الصورة جيدة .

تعد هذه الطريقة مناسبة جدا لتقييم الصور الرقمية (digital images) لكون هذه الصور تتعامل مع وحدات مساحة صغيرة للصورة تكون اجزاء الصورة الكلية تسمى عنصر الصورة (picture element) والتي يطلق عليها اختصارا (pixel) [62].

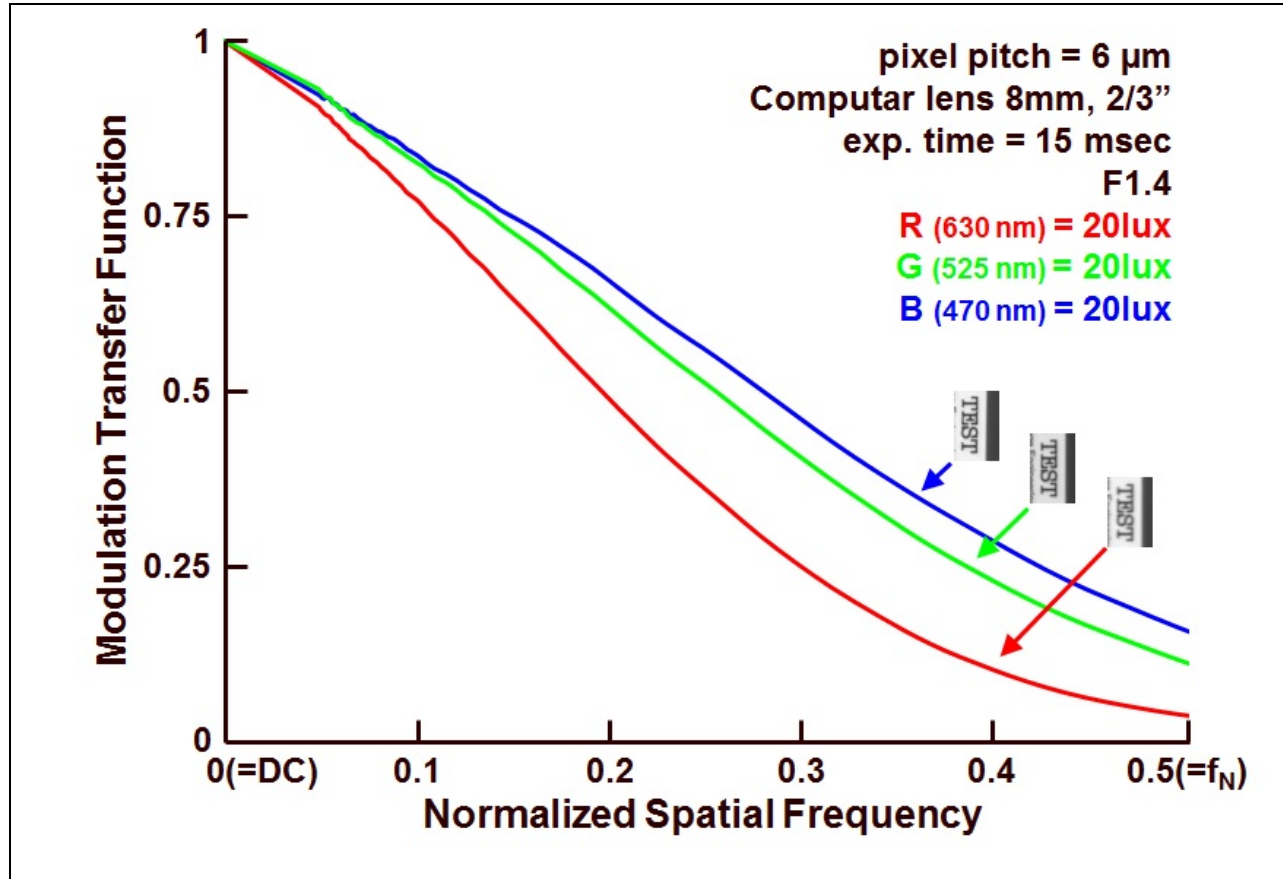
يمكن استخدام هذه الطريقة للحصول على معلومات مفيدة فيما يتعلق بجودة الصورة ، مثل حجم البقعة الهندسي للصورة وتوزيع الطاقة الإشعاعية . غالبًا ما يتم وصف صورة نقطة بواسطة عدسة غير محددة بالحيود من خلال حجم البقعة الهندسي [62].

2.5.4 دالة الانتقال البصرية Optical Transfer Function OTF

دالة الانتقال البصرية لنظام بصري صوري تحدد كيفية تغير جودة الصورة بالنسبة للتردد المكاني (spatial frequency) للضوء المستخدم . تستخدم هذه الدالة من قبل المصممين لإعطاء وصف تفصيلي لصورة الجسم في مستوى الصورة . يمكن استخدام دالة الانتقال البصرية المعدلة (modified optical transfer function MTF) عن طريق الغاء تأثير الطور (phase effect) عند استخدام نظام ذو وسط متجانس (homogeneous medium).

تصف دالة الانتقال البصرية الاستجابة لنمط الموجة الجيبية المارة خلال العنصر البصري (العدسة مثلا) كدالة للتردد المكاني . وتعرف الدالة على انها تحويل فوريير (Fourier transformation) لدالة الانتشار النقطية ، وتكون قيمتها حقيقية ومتناظرة مركزيا الشكل (2.6). [63]

تعمل الدالة على وصف التفاصيل الدقيقة للصورة سواء كانت رقمية او قياسية . من خلال وصف قدرة النظام لتغيير الصورة من اللون الابيض الى الاسود لانماط مختلفة من التردد المكاني . وبالتالي القدرة الفعلية لظهار تفاصيل الصورة بتباين ودقة عاليين [64] .

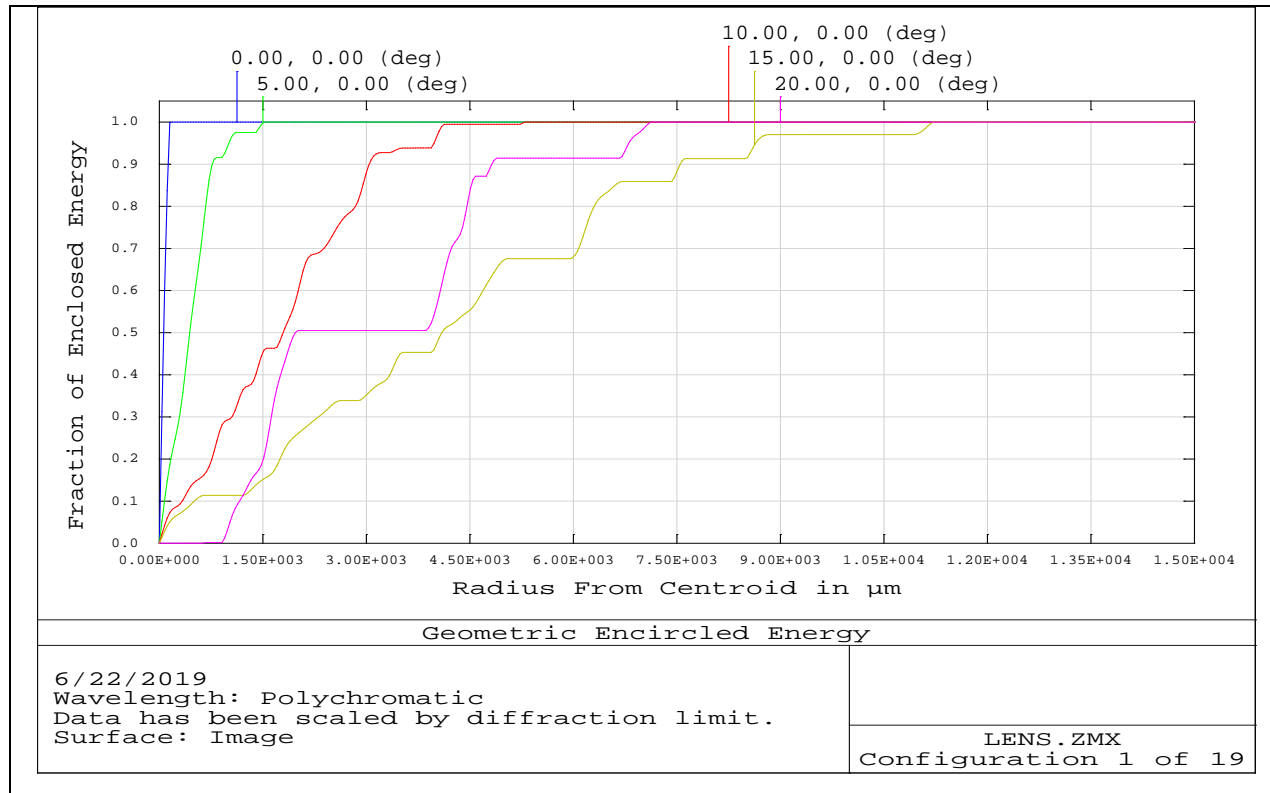


الشكل (2.6) دالة الانتقال البصرية المعدلة [64].

2.5.5 الطاقة المتمركزة Encircled Energy

يشير مصطلح البصريات للطاقة المتمركزة إلى مقياس تركيز الطاقة في مستوى الصورة يتم حساب الطاقة المتمركزة لجسم نقطي عن طريق دالة الانتشار النقطية (PSF) من خلال تحديد النقطة المركزية ثم تقسيم مستوى الصورة على شكل قطاعات (sectors) دائرية متحدة المركز تبعد تدريجياً من المركز. فيكون حساب الطاقة تجميعياً. فكلما زاد مساحة الدائرة كلما زاد إجمالي الطاقة في مستوى الصورة، إلى أن يتم احتواء جميع الطاقة [64]. يتراوح منحني الطاقة المتمركزة من صفر إلى واحد كما هو موضح في الشكل (2.7).

ان المعيار النموذجي للطاقة المحاطة هو نصف قطر دالة الانتشار النقطية الذي يحيط به إما 50٪ أو 80٪ من الطاقة. ، ويقاس عادة بالمايكرومتر. عندما يتم تقسيمها بواسطة العدسة أو البعد البؤري للمرآة ، فإن ذلك يعطي الحجم الزاوي لدالة الانتشار النقطية والذي يتم التعبير عنه عادةً في ثوان قوسية عند تحديد أداء النظام البصري الفلكي.



الشكل (2.7) مخطط الطاقة المتجمعة.

الفصل الثالث

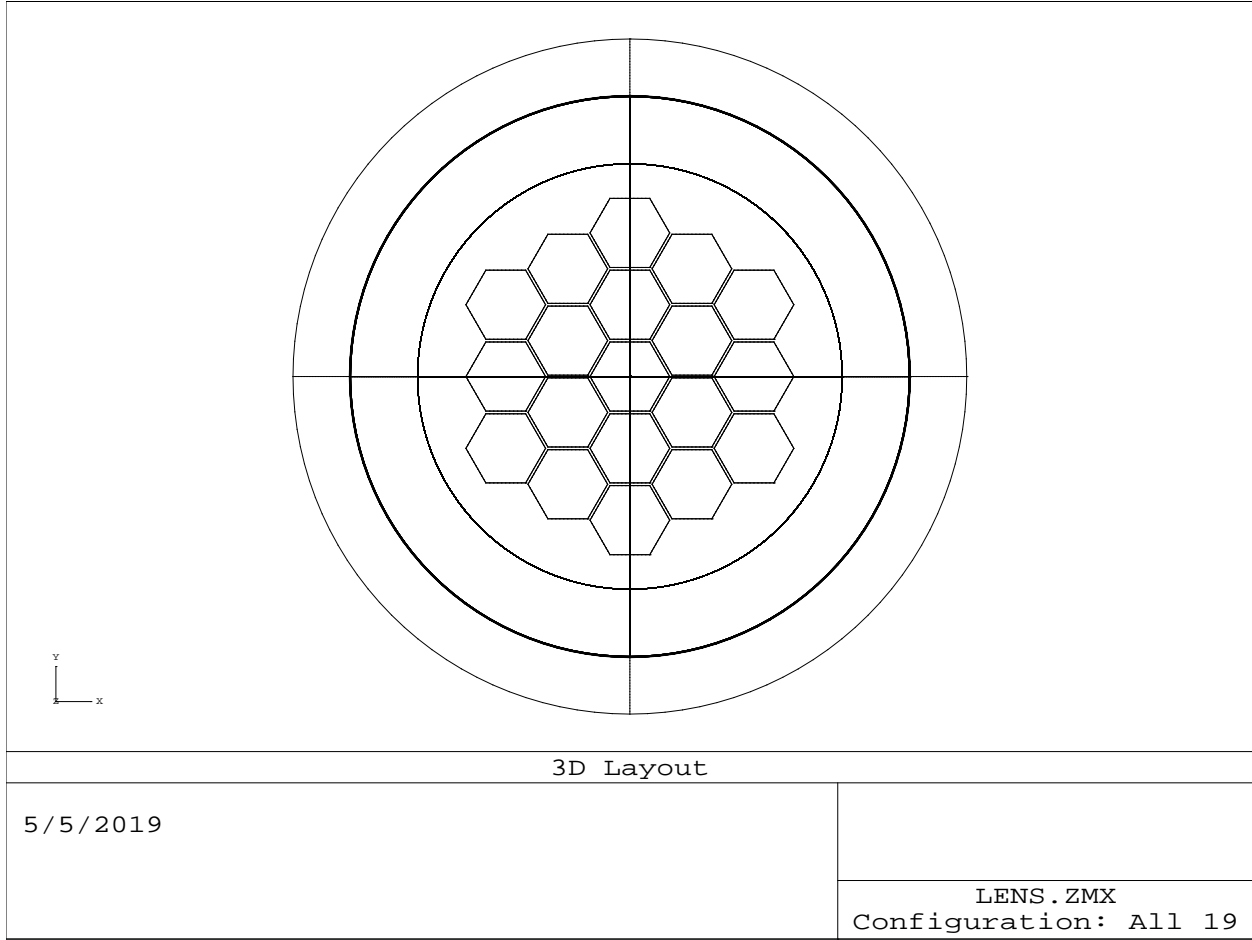
تصميم النموذج

3.1 المقدمة Introduction

ان استخدام برنامج زيماكس في التصميم البصرية يعطي مرونة كبيرة لدى المصمم من حيث اختيار المعلمات المناسبة للتصميم وقياس كفاءة التصميم عن طريق مجموعة متنوعة من الادوات . كذلك يوفر كل العناصر البصرية الضرورية لتصميم نظام جيد . من انواع العدسات والمرايا الى اختيار انواع خاصة من العدسات التي يوفرها البرنامج في مكتبته . بالإضافة الى ذلك يوفر البرنامج تصاميم جاهزة لمجموعة كبيرة من الانظمة البصرية المختلفة . حتى يتمكن المصمم لأجراء مقارنة مع التصميم قيد الانجاز .

تم تصميم نظام بصري لتلسكوب عاكس للضوء يتكون من مجموعة من المرايا المجزأة (19 مرآة) سداسية الشكل (hexagonal segmented mirror) مجموعة مع بعضها لتكون مرآة ذات شكل قطع مكافئ (parabola) عاكسة للضوء في موقع البؤرة التي أمام المرآة . استخدم الشكل السداسي للمرايا ليعطي حرية للحركة لهذه الاجزاء بثلاثة محاور (three axis of freedom) ، كذلك يوفر الشكل السداسي معامل ملء (packing factor 100%) كما في الشكل (1.3).

تم استخدام سطح تشويه (deformable surface) يعمل محاكاة للتأثيرات التي تطرأ على الموجة . فتصل الموجة مشوهة الى النظام البصري بسبب هذا السطح نتيجة العوامل الجوية المختلفة من درجة حرارة وضغط وأتربة التي تؤثر على معامل انكسار الغلاف الجوي [66،65].



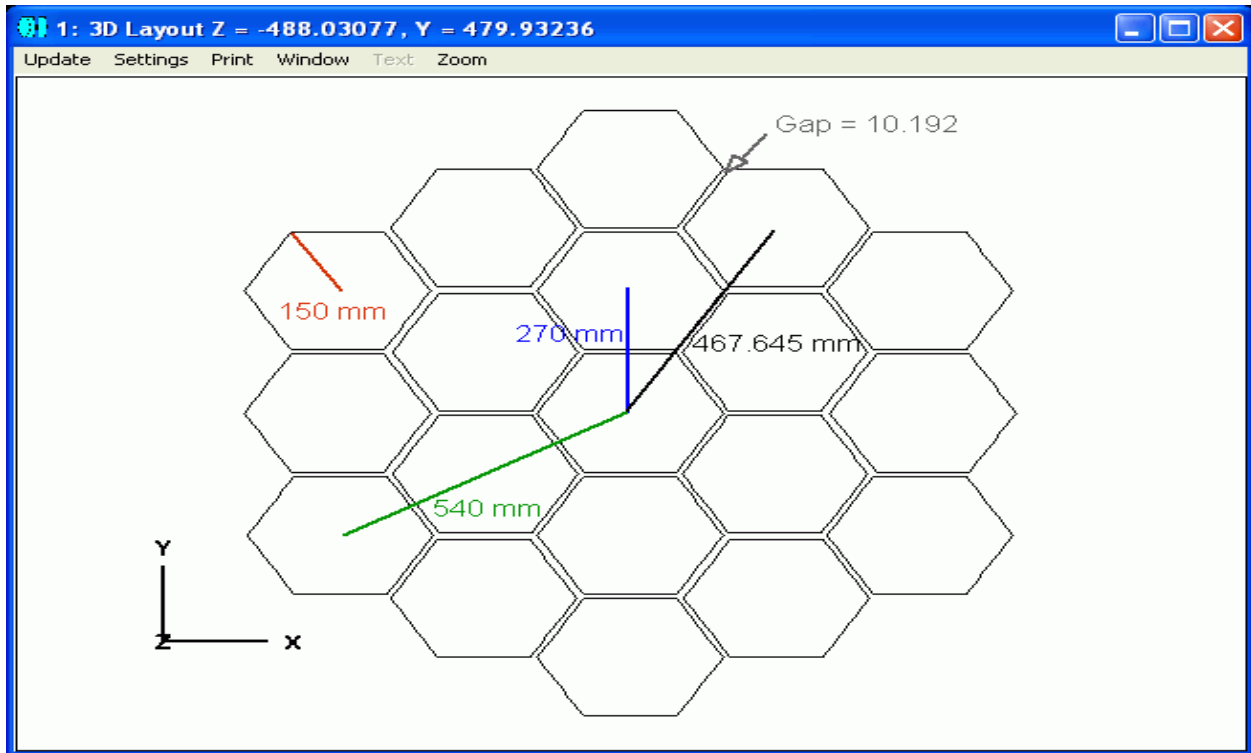
الشكل (1.3) مقطع لنموذج النظام البصري المصمم.

3.2. مواصفات النموذج characteristics of the prototype

تم تصميم تلسكوب عاكس (ground reflective telescope) سداسي الشكل ذي أبعاد (الطول 1500mm ، العرض 1200mm ، القطر 1380mm) يتكون من (19) مرآة سداسية الشكل قطر الواحدة منها (150 mm) مركبة مع بعضها لتكون حرة الحركة على المستوى القطري والزوايا لتكون نظاماً بصرياً مكيفاً لهذا النظام بشكل مرآة قطع مكافئ مقعرة الشكل نصف قطر تكورها (R= - 4000mm) وبعدها البؤري (2000mm) كما في الشكل (2.3) .

يعمل النظام البصري المكيف لإعطاء مرونة في المعلمات الرئيسية للتصميم لتكون قابلة للتغير مع ما يتناسب مع الموجة المشوهة القادمة له ، فيعمل على تصحيح الزيغ الحاصل نتيجة تغيير المعلمات . يحصل ذلك بجعل المرايا السداسية تتحرك قطريا (decenter movement) للتباعد وتقترب عن مركز النظام لتعطي مجالاً للرؤية (field of view) متغير للنظام . كذلك تتحرك المرايا محوريا (tilt movement) اي على محاور شكلها السداسي الثلاثة لتعطي نصف قطر تكور متغيراً للنظام .

تم استخدام الطول الموجي الوسطي للضوء المرئي ($\lambda=550 \text{ nm}$) باتجاه عمودي على النظام ، أي بزواوية سقوط ($\theta_{inc} = 0$) ، تأتي بعدها استخدام متعدد لزوايا سقوط مختلفة لقياس تأثير زاوية السقوط على جودة الصورة لنظام بصري مكيف .



الشكل (2.3) ابعاد النظام البصري المصمم.

استخدمت القياسات الخاصة بالتصميم بوحدات (mm) لكل المعلمات الخاصة بالابعاد مثل البعد البؤري ونصف قطر التكور وبعد الجسم والصورة ، يبدأ التصميم من استخدام سطح تشويه مستوي من مادة الزجاج ($n=2$) يبعد (90 mm) عن الموقع ($z=0$) ، وظيفة هذا السطح تشويه جبهة الموجة الضوئية للحصول على محاكاة للتأثيرات الجوية التي تطرأ على جبهة الموجة .

ان الفكره الاساسيه من وضع الزجاج امام المرايا هي تشويه الموجه ومن ثم اجراء تعديل التشويه الحاصل وبذلك نتمكن من تعديل الموجه المشوهة في الغلاف الجوي. في يما يلي الخطوات المتبعه لتصميم النظام المكيف .

3.2.1 تثبيت موقع قطع المرايا fixing of mirror segments

لتصميم اجزاء التلسكوب التي هي مرايا سداسية الشكل ، توضع القطعة المركزية (central segment) في الموقع ($x=0$, $y=0$, $z=2100\text{mm}$) ، بينما القطعة الثانية المجاورة للمركزية (off center segment) توضع في الموقع ($x=-270$, $y=0$, $z=2090\text{mm}$) . كما موضح في الجدول (3.3) ، وهكذا توضع القطع التسعة عشر مع بعضها كل حسب موقعها لتكوين التلسكوب السداسي الشكل

الجدول (1.3) يوضح احداثيات الموقع لكل القطع التسعة عشر للمرايا السداسية .

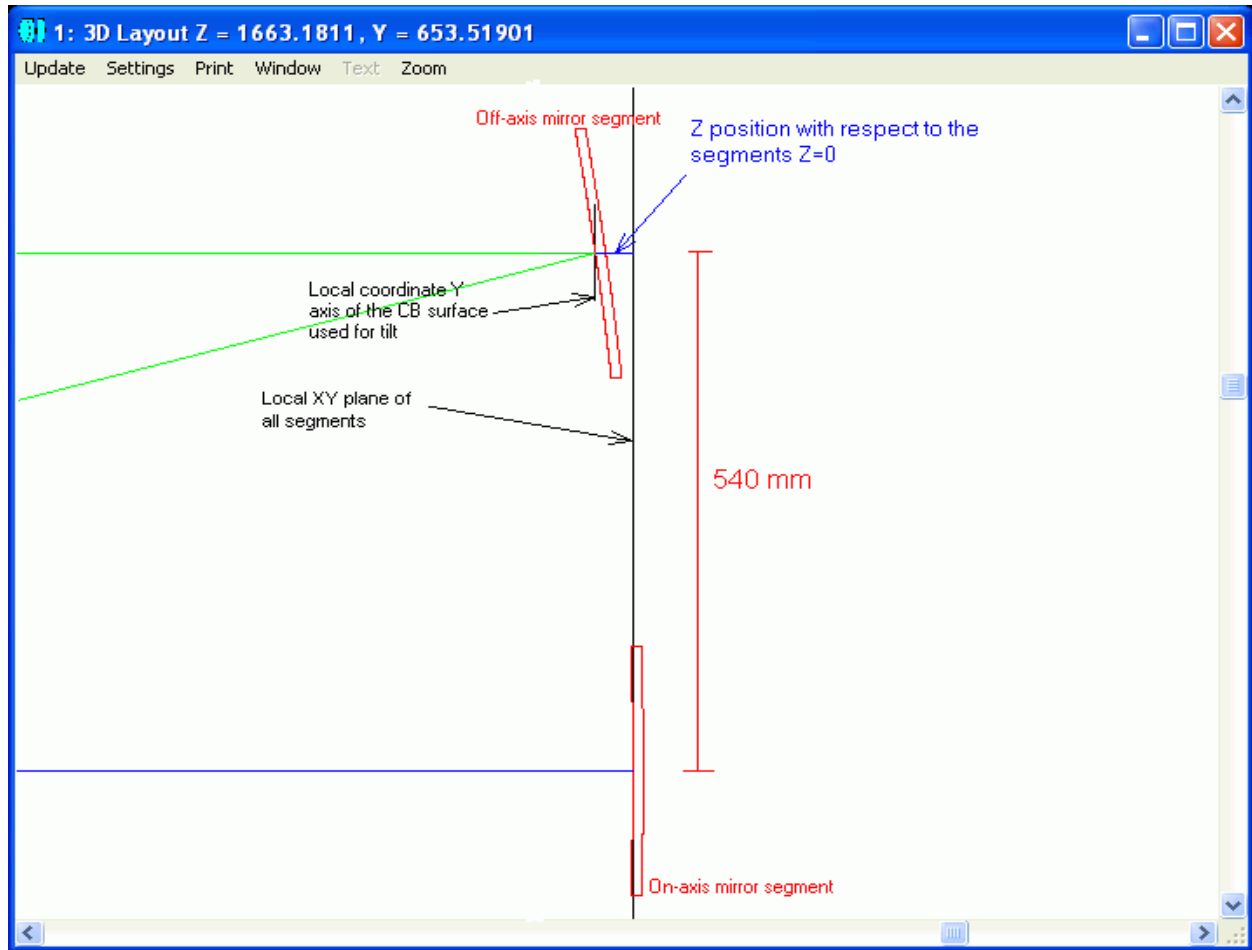
رقم المرآة	الموقع بالنسبة X	الموقع بالنسبة Y	البعد عن النقطة المرجعية
1	0	0	2100
2	-270	0	2090.889
3	135	233	2090.889
4	-135	233.820	2090.889
5	270-	0	2090.889
6	-135	-233.820	2090.889
7	135	-233	2090.889
8	540	0	2063.550
9	405	-233.820	62.094
10	270	467.640	2063.550
11	0	467.640	2072.094
12	-270	467.640	2063.550
13	-405	233.820	2072.094
14	540-	0	2063.550
15	-504	233.8	2072.094
16	-270	-467	2063.550
17	0	-467.640	2063.550
18	270	-467.640	2063.550
19	405-	-233.820	2072.094

3.2.2 تحرير بيانات التصميم prototype data editing

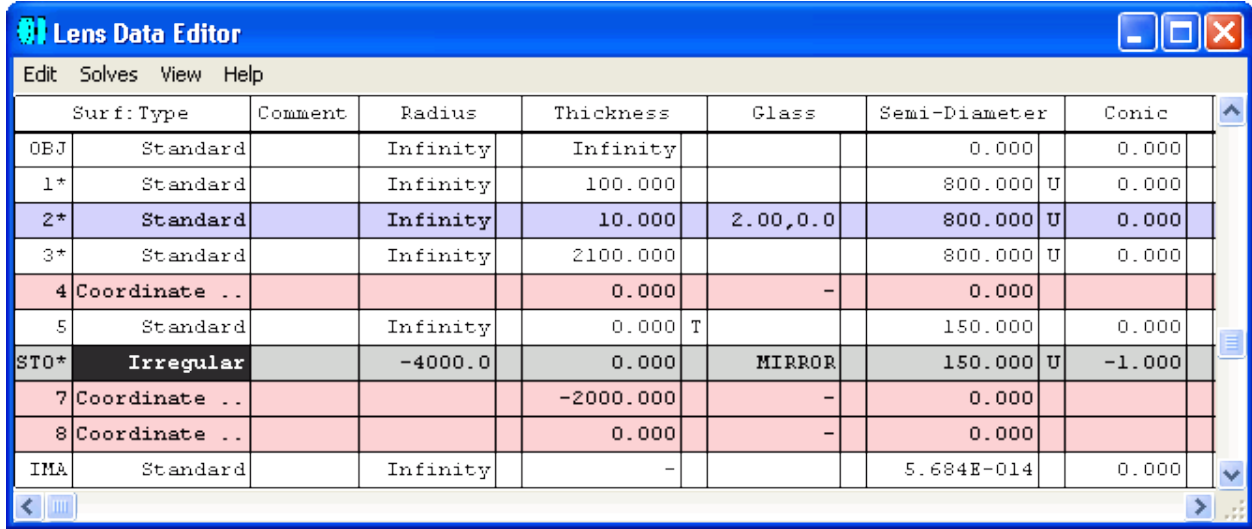
تدرج في محرر بيانات العدسة عشرة سطوح ، ابتداءً من سطح الجسم (object surface) أو المصدر الذي يفترض بعده مالا نهاية عن النظام البصري (على اعتبار الجسم جرم سماوي بعيد فيصح هذا التقريب

الرياضي). اما السطوح (1,3,5) فهي سطوح وهمية (dummy surface) تستخدم لتنظيم توزيع الاشعة (ray illumination) الساقطة على النظام البصري . اما السطح (2) فيمثل سطح التشوية الزجاجي ذو معامل الانكسار $(n=2)$. ان السطح (6) يمثل سطح المرآة السداسية بنوع سطح في مكتبة زيماكس يسمى غير منتظم (irrigular) للحصول على الشكل السداسي المطلوب وكذلك لمرونة الحركة المركزية والمحورية (decenter and tilt) ، بنصف قطر $(R=-4000mm)$ على اعتبار المرآة مقعرة وبمعامل قطع مخروطي يساوي $(k=-1)$ على اعتبار المرآة قطع مكافئ ، وبنصف قطر فتحة ادخال $(150 mm)$ كما ذكر سابقا .

ان السطوح (4,7,8) هي سطوح كسر الاحداثيات (coordinate break) وظيفتها تحويل مسار الاشعة وقلب الاحداثيات (x,y,z) حسب اتجاه الاشعة . ان هذه السطوح مهمة جدا في البرنامج خاصة للتصاميم التي فيها سطوح عاكسة . الشكل (3.5) يوضح المعلمات الخاصة بالتصميم في محرر بيانات العدسة في برنامج زيماكس .



الشكل (3.4) موقع القطعة المركزية والمجاورة للمرايا المركزية المكونة للمقراب.



Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Class	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		0.000	0.000
1*	Standard		Infinity	100.000		800.000 U	0.000
2*	Standard		Infinity	10.000	2.00,0.0	800.000 U	0.000
3*	Standard		Infinity	2100.000		800.000 U	0.000
4	Coordinate ..			0.000	-	0.000	
5	Standard		Infinity	0.000	T	150.000	0.000
STO*	Irregular		-4000.0	0.000	MIRROR	150.000 U	-1.000
7	Coordinate ..			-2000.000	-	0.000	
8	Coordinate ..			0.000	-	0.000	
IMA	Standard		Infinity	-		5.684E-014	0.000

الشكل (3.5) المعلمات الخاصة بالتصميم في محرر بيانات العدسة.

3.2.2. محرر التكوينات المتعددة Multi Configuration Editor

تعمل نافذة محرر التكوينات المتعددة على تكوين وتجميع أجزاء التصميم (configuration and assembling) عن طريق صفوف واعمدة خاصة بها . كل عمود يمثل جزء واحد من التكوينات للتصميم فلذلك يتكون هذا المحرر من (19) عمود كل واحد يمثل قطعة مرآة سداسية يتكون منها التصميم . اما الصفوف فهي خاصة بالمعاملات (operands) التي تميز كل تكوين عن الآخر من حيث الصفات البصرية من موقع وشكل .. الخ . الشكل (3.6) يوضح محرر التكوينات المتعددة الخاص بالتصميم ، حيث نلاحظ وجود الصفوف (1,2,4,5) الملونة باللون الازرق (pram) خاصة بالمعلمات المبينة في محرر بيانات العدسة بالنسبة للازاحة المركزية (decenter) التي تتعلق بالصف (1,2) ، والازاحة المحورية (tilt) التي تتعلق بالصف (4,5) . بينما الصف (7) يبين موقع كل قطعة مرآة (thick) .

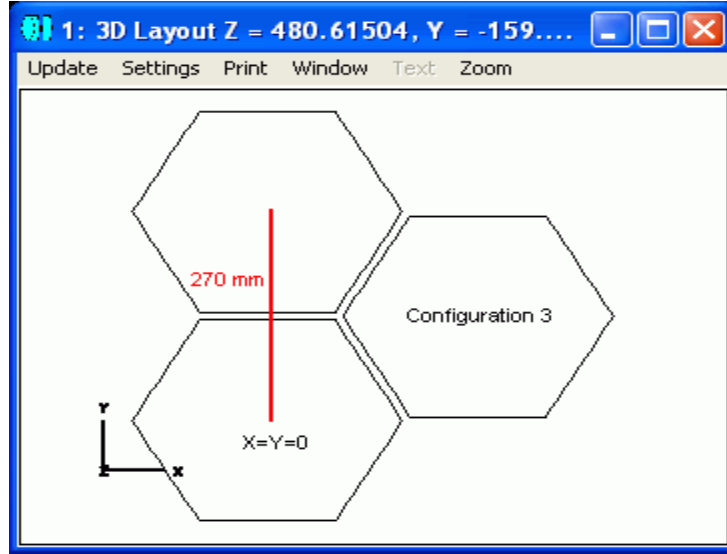
Active : 1/19		Config 1*	
1: PRAM	4/2		0.000
2: PRAM	4/1		0.000
3: MOFF	0	SEG TILT X, Y	
4: PRAM	4/3		0.000
5: PRAM	4/4		0.000
6: MOFF	0		
7: THIC	3		2100.000

الشكل (3.6) محرر التكوينات المتعددة.

التكوين الاول الذي يمثل بالعمود الاول في محرر التكوينات المتعددة (configuration 1) يخص قطعة المرآة الاولى المركزية بازاحة مركزية ومحورية ($x=0,y=0$) معا . اما التكوين الثاني الذي يمثل بالعمود الثاني في محرر التكوينات المتعددة (configuration 2) يخص قطعة المرآة الثانية المجاورة للمركزية بازاحة مركزية ($x=0,y=270$) , وازاحة محورية ($x=0,y=0$) على اعتبار ان القطعة الثانية تميل بمحور (z) عن القطعة الاولى المركزية بمقدار بسيط يوضحه معامل السمك (thick=2090) حتى يصبح النظام البصري عبارة عن سطح شبه كروي (قطع مكافئ) مقعر الشكل . بينما التكوين الثالث الذي يمثل بالعمود الثالث (configuration 3) يخص قطعة المرآة الثالثة المجاورة للمركزية بازاحة مركزية ($x=135 , y=233$) كما في الشكلين (3.7) و (3.8).

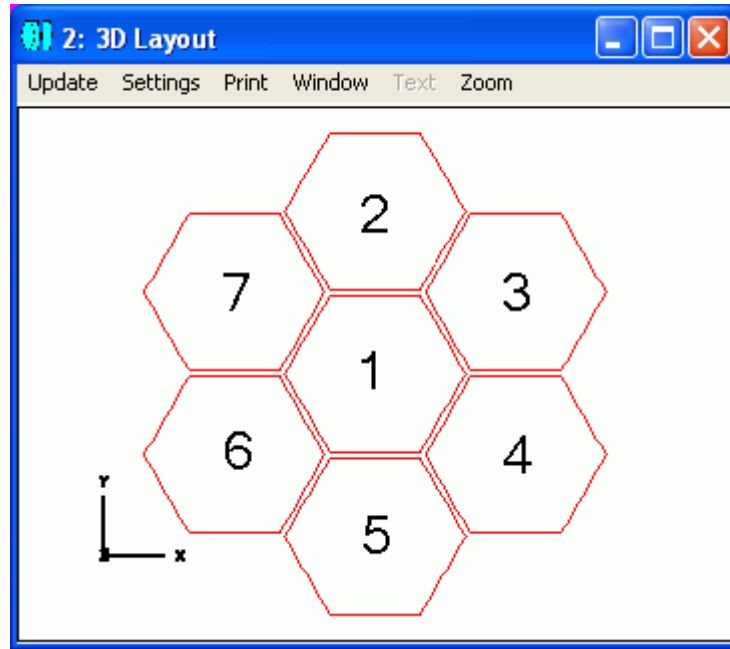
Active : 1/19		Config 1*	Config 2	Config 3
1: PRAM	4/2	0.000	270.000	135.000 P
2: PRAM	4/1	0.000	0.000	233.820 P
3: MOFF	0	SEG TILT X, Y		
4: PRAM	4/3	0.000	0.000	0.000
5: PRAM	4/4	0.000	0.000	0.000
6: MOFF	0			
7: THIC	3	2100.000	2090.887	2090.887

الشكل (3.7) محرر التكوينات المتعددة لثلاثة تكوينات للتصميم.

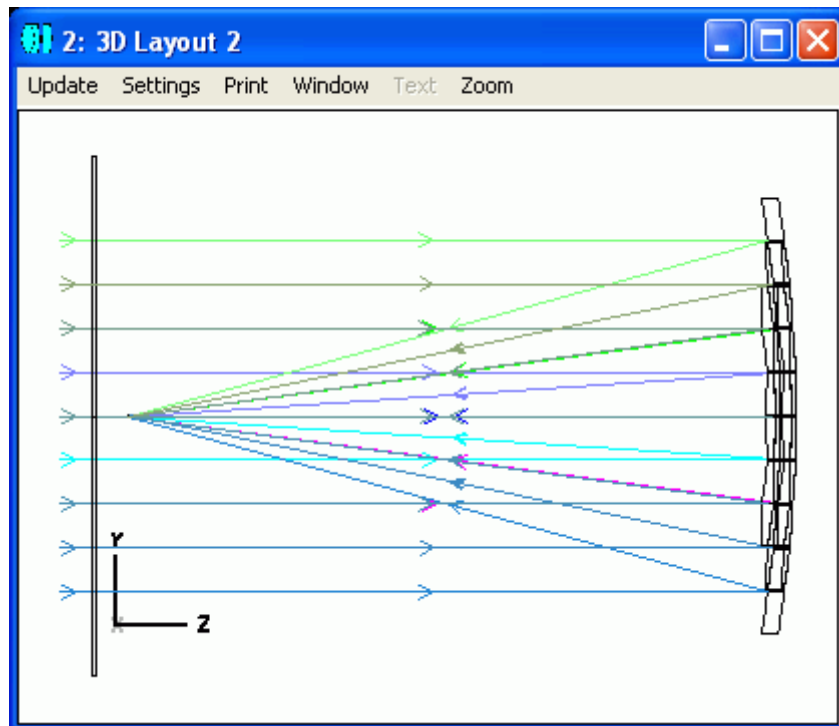


الشكل (3.8) مخطط عرضي لثلاث قطع من المرآة المركزية والمجاورتين لها.

وهكذا الى ان نصل للتكوين رقم (7) حتى يكتمل الجزء الاول من التصميم ، ولكل تكوين معاملات خاصة به تخص الموقع حتى توضع في المكان المناسب ليصبح كما في الشكل (3.9) . بعدها تدخل البيانات الخاصة ببقية التكوينات التسعة عشر حتى يكتمل التصميم . مع مراعاة المعاملات الخاصة بكل تكوين من الموقع والبعد حتى نحصل على النظام البصري الكامل الذي هو مقراب عاكس سداسي الشكل كما في الشكل (3.10).



الشكل (3.9) مخطط عرضي لسبع قطع من المرآة المركزية والمجاورة لها.



الشكل (3.10) مقطع عرضي للنظام البصري المصمم (التلسكوب العاكس سداسي الشكل)

3.3. دالة التأهيل Merit Function

هناك ميزة مهمة جدا يوفرها برنامج زيماكس تعمل على تصحيح كل المعلمات البصرية الخاصة بالتصميم وضبط قيمها للحصول على أفضل القيم لها بما يتوافق مع المعايير التي صمم من اجلها النظام البصري [67،68]، وهذه الميزة توفرها دالة التأهيل (merit function) التي تعمل ادراج معاملات خاصة بالتصميم في محرر بيانات خاص بها (merit function editor) لايجاد قيم التوازن المثلى (optimum balance values) لكل المعاملات .

تدرج المعاملات الخاصة بالتصميم في محرر بيانات دالة التأهيل في هذا التصميم لتقليل الزيغ الناتج من التأثيرات الجوية ، وبذلك تقليل قيمة دالة الانتشار النقطية (PSF) . احد الخيارات المتاحة في دالة التأهيل هو جعل النقطة الهندسية الوسطى لتكون نقطة السميت لكل سطح صورة لكل قطع المرايا ، لذا يكون موقع تجمع الاشعة مشتركاً لكل المرايا . هذه الطريقة سوف تنتج اصغر نمط حيود لدالة الانتشار النقطية وحجم صورة هندسي ضمن مدى جذر متوسط التربيع (geometrical r.m.s. spot size) . وهذا الخيار يجعل قيود في قيمة طول المسار للشعاع الرئيسي (chief ray) لكل قطعة مرآة لجعله مقارباً لكل مع بعض قدر الإمكان . تستخدم المعاملات (CENX , CENY) في محرر بيانات دالة التأهيل التي تمثل موقع النقطة الوسطى لاحتداثيات (x , y) لجعل هدفها في مستوى الصورة . كذلك المعامل (PLEN) الذي يمثل اتجاه الشعاع الرئيسي للقيم (Px=0 , Py=0) وضبطها لتكون متساوية لكل المرايا . الشكل (3.11) يوضح نافذة محرر بيانات دالة التأهيل .

لجعل دالة التأهيل تعمل بجعل قيم المعاملات لها قيم مثلى ، تجرى عملية ايجاد القيم المثلى (optimization) الذي يوفرها البرنامج للحصول على القيم المثلى للمعاملات الخاصة بالتصميم .

Merit Function Editor: 7.282821E-013

Edit Tools View Help

Oper #	Type	Surf	Wave	Field	Pol?	Samp		Target	Weight	Value	*
1	CONF	CONF	1								
2	CENX	CENX	9	0	1	0	5	0.000	1.000	2.651E-015	
3	CENY	CENY	9	0	1	0	5	0.000	1.000	2.863E-015	
4	PLEN	PLEN	0	9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4220.000	
5	CONF	CONF	2								
6	CENX	CENX	9	0	1	0	5	0.000	1.000	1.432E-015	
7	CENY	CENY	9	0	1	0	5	0.000	1.000	-7.636E-015	
8	PLEN	PLEN	0	9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4220.000	
9	CONF	CONF	3								
10	CENX	CENX	9	0	1	0	5	0.000	1.000	-1.061E-014	5
11	CENY	CENY	9	0	1	0	5	0.000	1.000	-5.090E-015	1
12	PLEN	PLEN	0	9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4220.000	

الشكل (3.11) نافذة محرر بيانات دالة التأهيل.

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

4.1. المقدمة Introduction

تعتبر طرائق تحليل الصورة التي يوفرها برنامج زيماكس حيوية جدا في تقييم اداء النظام البصري ، لكونها تعطي صورة شاملة لكل صفات الصورة ولكل معايير تقييم اداء النظام البصري . حيث تختلف الطرائق والأساليب وبالتالي تعطي شمولية في وصف كل معالم النظام .

ان الغرض الرئيسي لاستخدام طرائق التحليل هو تقييم جودة النظام البصري المصمم (المقرب العاكس) لإنتاج صور لا جسام بعيدة (اجرام سماوية) تمر من خلال الغلاف الجوي للأرض الذي يؤثر على جبهة الموجة القادمة الى المقرب بسبب التأثيرات الجوية (درجة الحرارة والضغط والغبار والغيوم والمطر) . فاستخدمت مقارنة بين المقرب التقليدي (نظام بصري غير مكيف) والمقرب المكيف لتبيان الفرق في جودة الصورة في النظامين وبالتالي كفاءة كل نظام لا عطاء صورة جيدة .

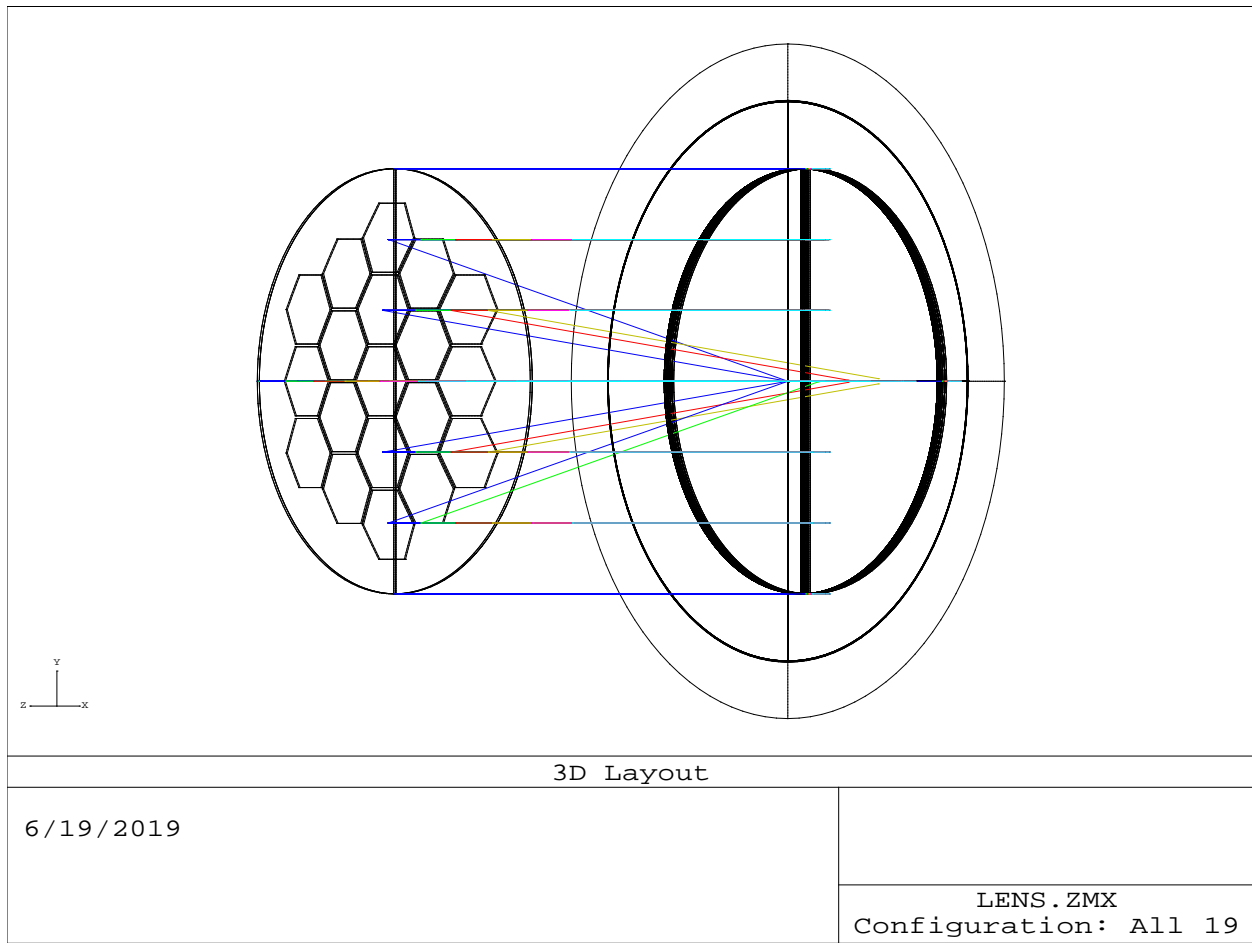
يوفر برنامج زيماكس مجموعة كبيرة من طرائق التحليل للصورة . تم اختيار مجموعة من هذه الطرائق المهمة التي تعطينا فكرة شاملة لصفات الصورة . على الرغم من تنوع الاسلوب في هذه الطرائق الا انها مفيدة لبيان جودة النظام البصري من خلال الوصف الشامل للصورة المتكونة . وفيما يأتي استعراض لهذه الطرائق المستخدمة :

4.2. المظهر العام Layout

هي طريقة تحليل عيانية يوفرها برنامج زيماكس ، حيث ان نافذة المظهر العام للتصميم تحاكي التصميم الفعلي من حيث الابعاد والشكل واتجاه الاشعة و مسارها بعد الانعكاس .نافذة المظهر العام تتضمن انواع :

1. نافذة المظهر العام ثلاثية الابعاد Three Dimensions Layout

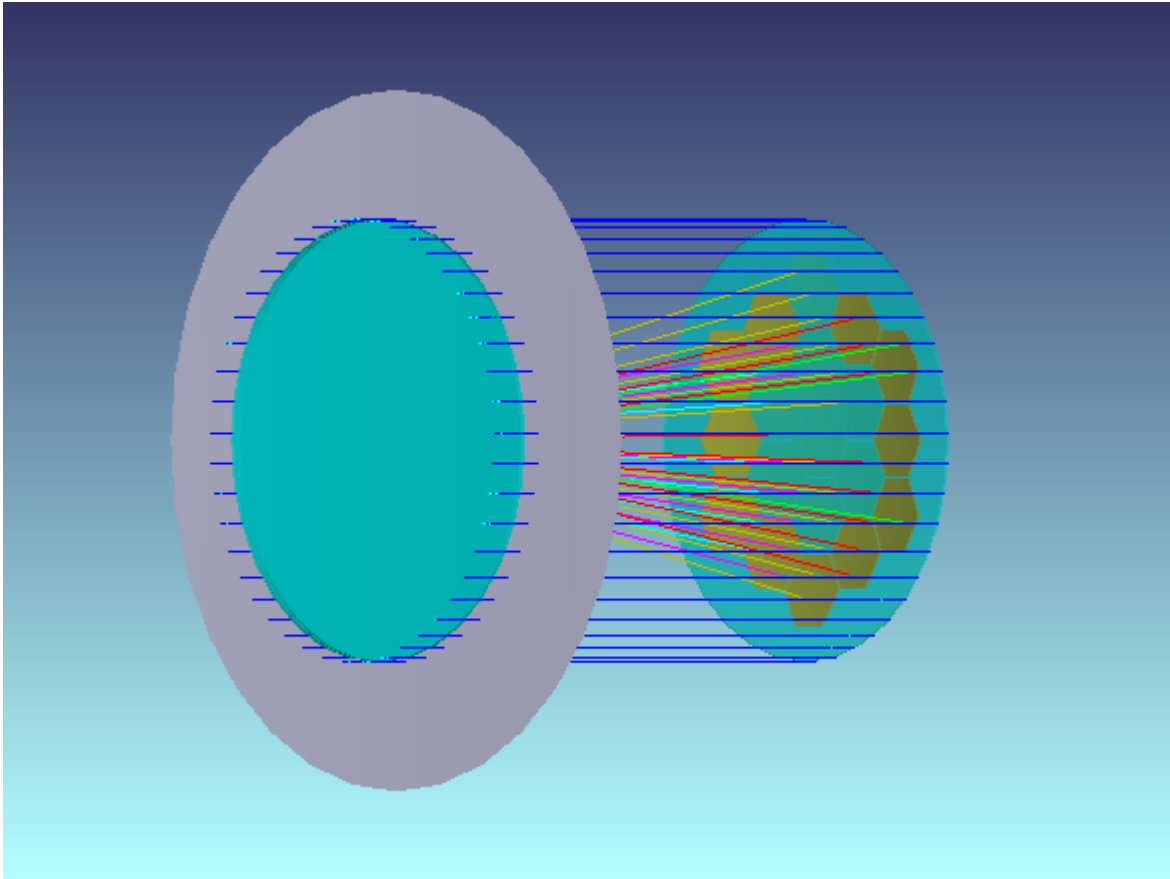
تعطي هذه الميزة للمصمم تصوراً ثلاثي الابعاد للتصميم . مع سهولة تغيير الشكل الآني باستخدام ايعاز التحديث ، كذلك تدوير الاحداثيات (orientation) على المحاور الثلاثة (x, y, z) بكل سهولة للحصول على تصميم واضح المعالم ووصف دقيق له في كل الزوايا . مما يعطي ديناميكية اكثر لوصف التصميم كما في الشكل (4.1) .



الشكل (4.1) يوضح نافذة المظهر العام ثلاثي الابعاد.

2. نافذة المظهر العام المجسمة Shaded Layout

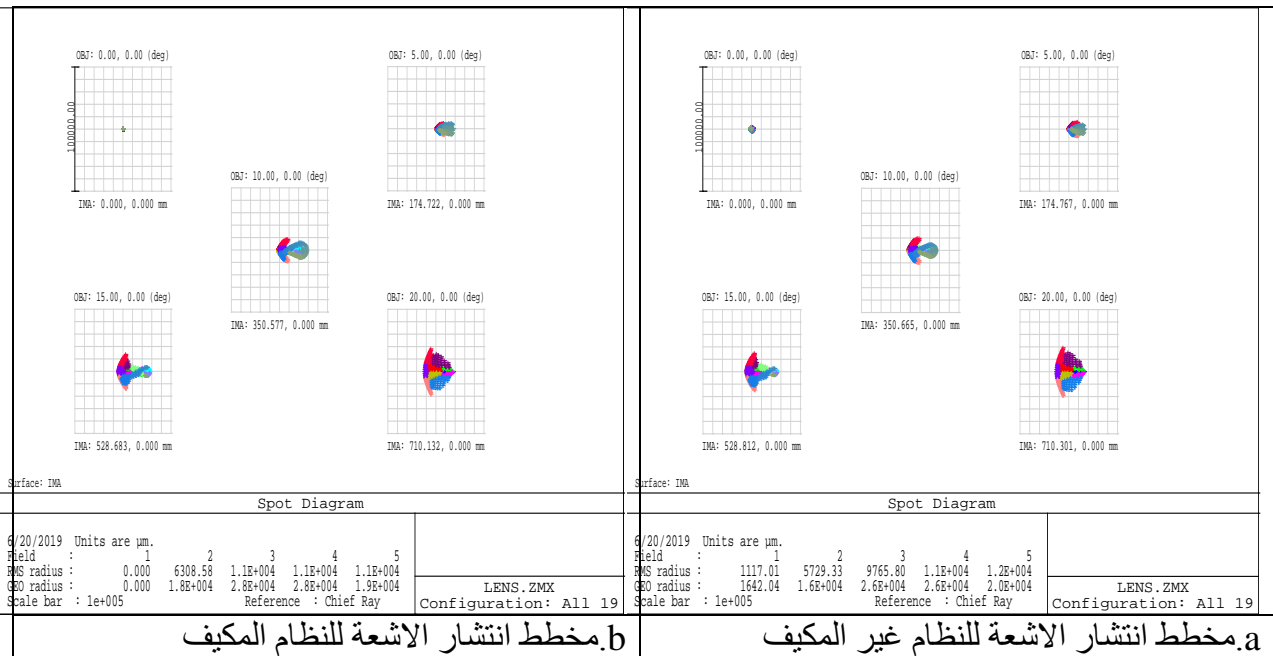
تعطي هذه الميزة للمصمم تصويراً مجسماً ثلاثي الابعاد للتصميم . يوضح الشكل الظاهري الحقيقي للتصميم لكون العناصر البصرية في هذه النافذة تكون مظلمة (غير شفافة) . الشكل (4.2) يوضح نافذة المظهر العام المجسمة .



الشكل (4.2) نافذة المظهر العام المجسمة.

4.3. مخطط انتشار الأشعة Spot Diagram

يعطي هذا المخطط فكرة عن توزيع انتشار الأشعة الواصلة الى مستوى الصورة ومقدار الزيغ. يعطي المخطط فكرة عن الفروقات بين انتشار الأشعة في النظام البصري المكيف والنظام غير المكيف من خلال المقارنة في انتشار الأشعة حيث نلاحظ ان الانتشار في النظام المكيف للضوء يكون اقل وذلك لتقليل الزيغ الحاصل نتيجة امكانية الحصول على صورة واضحة وكما مبين في الشكل (4.4) حيث يمثل الشكل الاول (a) النظام غير المكيف والشكل الثاني يمثل النظام المكيف (b).



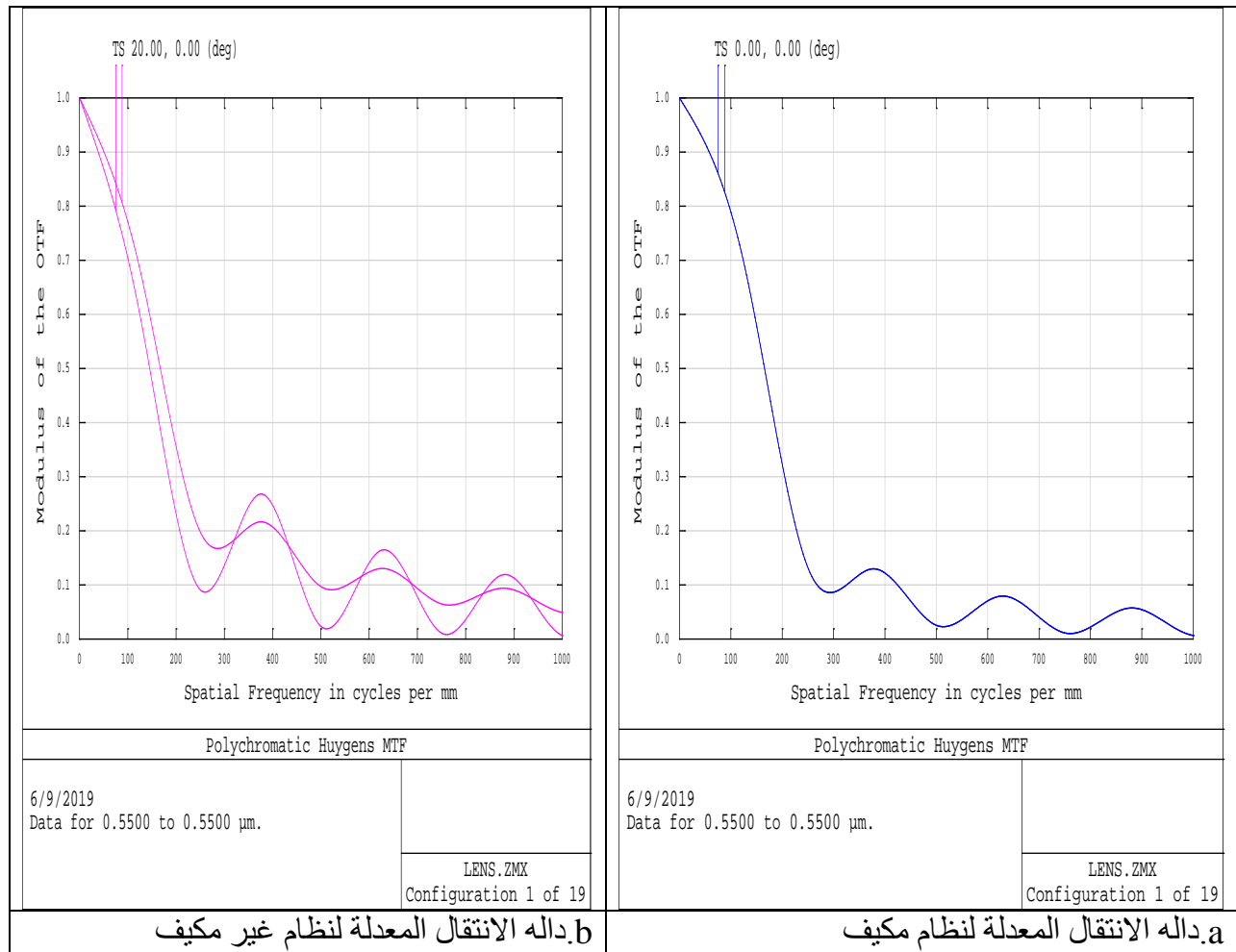
الشكل (4.3) مخطط توزيع انتشار الاشعة.

الشكل (4.3) يوضح مخطط توزيع انتشار الاشعة في مستوى الصورة الذي يعطي وصفاً لجودة الصورة المتكونة من خلال معيار مساحة الانتشار للأشعة الذي يعين بدالة عيارية تسمى دالة الانتشار النقطية (point spread function PSF)، التي تمثل دالة توزيع انتشار الاشعة في مستوى الصورة لجسم نقطي. ان استخدام دالة الانتشار النقطية كمعيار لوصف جودة الصورة في هذا التصميم مناسباً جداً لكون اغلب الاجسام المرصودة في التلسكوب هي اجسام نقطية (نجوم أو كواكب أو اقمار). فكلما كانت مساحة انتشار الاشعة صغيرة كانت الصورة جيدة. نلاحظ من الشكل (4.3) الاختلاف الواضح في مخطط انتشار الاشعة في النظام البصري المكيف والتقليدي. بسبب كون الاشعة الساقطة على النظامين ناتج من جبهة موجة مشوهة (deformable wave) بسبب التأثيرات الجوية، لكن الفرق بينهما ان النظام المكيف عالج التشوه من خلال تغيير المعلمات الخاصة به للحصول على نظام يتكيف تبعا لنوع التشوه الوارد من الاشعة. فلذلك اعطى صورة جيدة بالمقارنة مع النظام التقليدي.

4.4 دالة الانتقال البصرية المعدلة Modified Optical Transfer Function

ان دالة الانتقال البصرية تعطي فكرة عن التباين في الصورة وقدرة تحليل النظام البصري للصورة المتكونة لمختلف الترددات المكانية (spatial frequency) الذي يمثل عدد الدورات للدالة الجيبية للموجة الكهرومغناطيسية بحيث تعيد نفسها في كل مرة لوحدة المسافة. يستعاض غالبا عن دالة الانتقال البصرية (OTF) بدالة الانتقال البصرية المعدلة (MTF) التي تعطي قيمة عيارية للدالة (القيمة العظمى لها واحد).

تكون الصورة جيدة عندما تكون دالة الانتقال البصرية المعدلة ذات قيمة $(MTF \geq 0.8)$ عند الترددات اقل من $(100 \text{ cycle per mm})$. وتتراوح في الانخفاض والارتفاع عند قيم الترددات الاكبر من (100) كما في الشكل (4.5). بينما في الصورة ذات الجودة القليلة تكون دالة الانتقال البصرية المعدلة ذات قيمة $(MTF \leq 0.8)$ عند الترددات اقل من $(100 \text{ cycle per mm})$. وهذا الامر واضح في الشكل (4.4) الذي يعطي مقارنة بين دالة (MTF) للنظام البصري المكيف والتقليدي. حيث انخفضت قيمة (MTF) الى (0.7) عند التردد $(100 \text{ cycle per mm})$ في النظام البصري التقليدي، بخلاف النظام البصري المكيف الذي يعطي قيمة $(MTF=0.8)$ عند التردد $(100 \text{ cycle per mm})$.

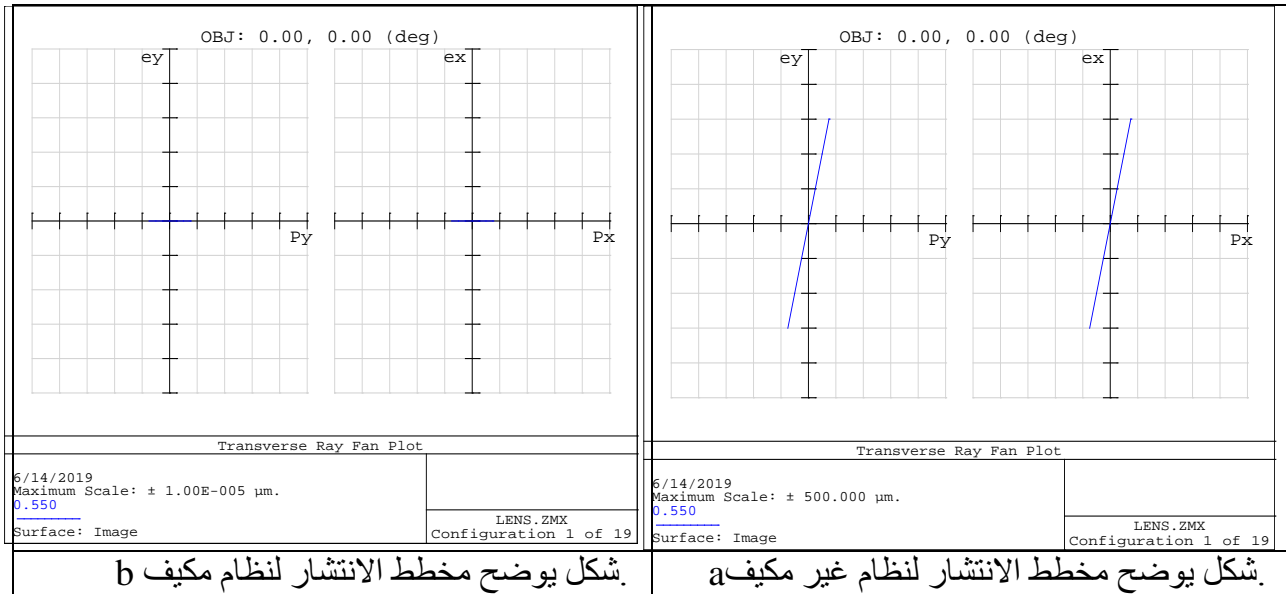


الشكل (4.4) دالة الانتقال البصرية MTF .

4.5. منحني زيف الأشعة Ray Fan aberration

يمثل منحني زيف الأشعة على المحورين (x, y) التي تمثل محاور مستوى الصورة مقدار الزيف الكروي العرضي (lateral spherical aberration) في النظام البصري . يكون منحني الزيف على شكل مروحة ثنائية متناظرة للزيف المحوري (عندما يكون الجسم على المحور البصري) ، بينما يكون المنحني على شكل خط منحني احادي عندما يكون الجسم خارج المحور البصري (زيف غير متناظر) .

الشكل (4.5) يمثل منحني زيف الأشعة لنظام بصري وآخر تقليدي . يلاحظ ان النظام المكيف خالي من اذرع مروحة الزيف لكون النظام خالياً من الزيف الكروي بسبب تكيفه مع تشوه جبهة الموجة الواردة للنظام ، وكذلك بسبب شكل النظام العاكس ذي القطع المكافئ الذي يمتاز بالغاء الزيف الكروي مهما كانت مساحة استلام الأشعة وهذه الميزة جعلت المصممين يستخدمون شكل القطع المكافئ العاكس في الكثير من التطبيقات (مثل المركبات الشمسية والاطباق اللاقطة في البث الفضائي والرادارات الفلكية والعسكرية) . بينما النظام التقليدي يمتلك اذرع مروحة الزيف بسبب وجود الزيف فيه نتيجة تشوه جبهة الموجة .



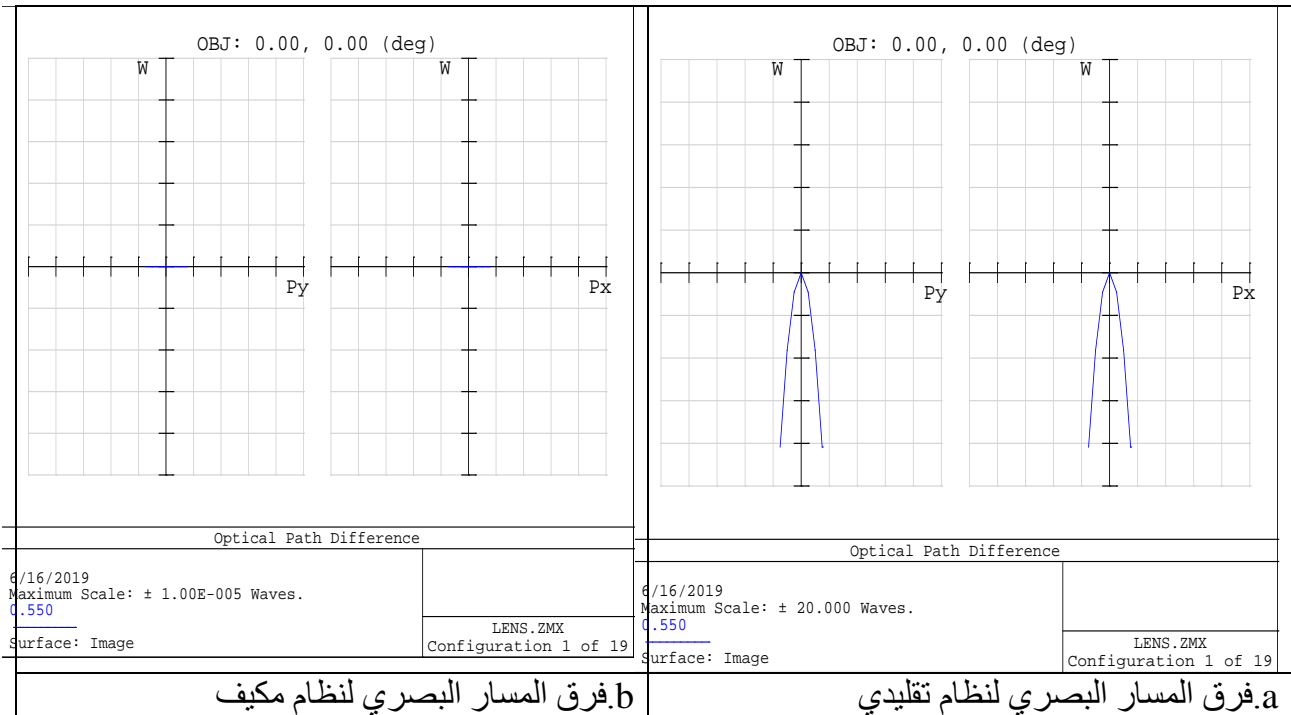
الشكل (4.5) منحني زيف الأشعة.

4.6. فرق المسار البصري (OPD) Optical Path Difference

ان فرق المسار البصري يعطي فكرة عن مسار انتقال الضوء في الاوساط المختلفة وتغيره نتيجة اختلاف سرعة الضوء في الاوساط المختلفة . كذلك يختلف المسار البصري عند مروره في السطوح المنحنية بسبب الطبيعة الهندسية لهذه السطوح وطبيعة الضوء . ان تفسير فرق المسار البصري عن طريق مفهوم جبهة الموجة الضوئية يكون بافتراض ان جبهة الموجة الساقطة على النظام تكون مستوية (plane wave) بسبب

بعد المصدر عن النظام ، فعند سقوطها على السطح العاكس المنحني (سطح المرايا) تتكور جبهة الموجة ليكون مركز تكورها موقع البؤرة (أو موقع الصورة) .

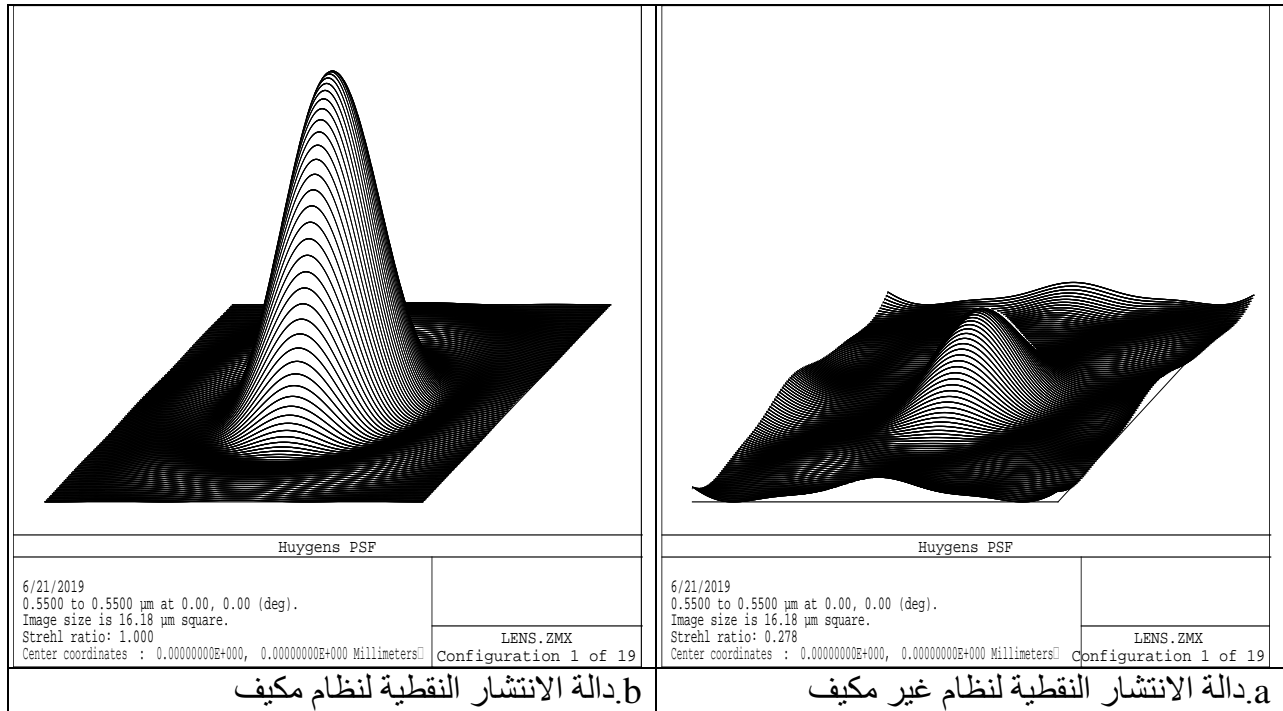
فاذا كان النظام مثالياً (خالي من الزيغ) يكون التكور منتظماً و فرق المسار بين الاشعة الساقطة على كل المحل الهندسي للسطح العاكس من الاشعة شبه المحورية (paraxial rays) والاشعة الهامشية البعيدة عن المحور البصري (marginal rays) منعدم وهذا ما يلاحظ في الشكل (4.6)b الذي يخص النظام البصري المكيف. بينما في النظام البصري التقليدي غير المكيف تكون هناك قيمة لفرق المسار البصري بسبب تشوه جبهة الموجة . وهذه القيمة تكون متناظرة على طول المحل الهندسي للسطح العاكس التي تسقط عليه الاشعة للمحورين (x , y) . الشكل (4.6)a يوضح فرق المسار البصري للنظام غير المكيف على شكل مسار منحني (شكل قوس) يمثل الاختلاف في مسار الاشعة الواصلة الى مستوى الصورة بالنسبة للأشعة شبه المحورية والهامشية ، والذي يؤدي الى عدم التقاء الاشعة في نقطة واحدة على مستوى الصورة والذي بدوره يؤدي الى حدوث الزيغ .



الشكل (4.6) فرق المسار البصري.

4.7. منحني دالة الانتشار النقطية Point Spread Function

يوفر منحني دالة الانتشار النقطية توزيع طوبوغرافي ثلاثي الابعاد للشدة في مستوى الصورة . نلاحظ في الشكل (4.7)a ان النظام المكيف عند زاوية سقوط (0°) وجود قمة مرتفعة نسبيا على سطح الصورة تمثل دالة الانتشار النقطية (توزيع الشدة ثلاثي الابعاد في مستوى الصورة) . دلالة على عدم وجود زيغ لكون الشكل منتظماً . اما في النظام غير المكيف فتتخفف الشدة وتظهر ارتفاعات على جانبي الصورة . نتيجة تغير توزيع الشدة في مستوى الصورة بشكل غير متناسق بسبب الزيغ كما في الشكل (4.7)b.



الشكل (4.7) دالة الانتشار النقطية

4.8 الطاقة المتجمعة Encircled Energy

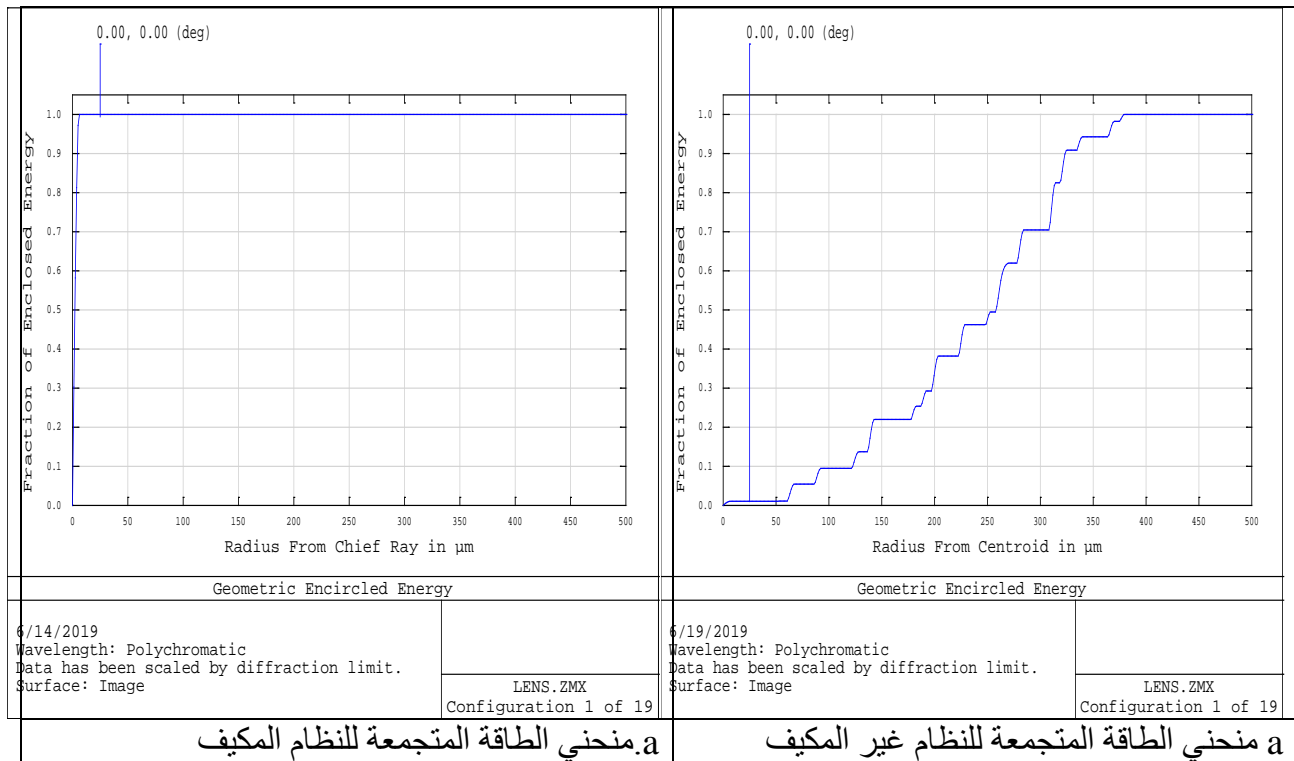
يمثل منحنى الطاقة المتجمعة مقدار توزيع الطاقة الضوئية على مستوى الصورة بصورة متناظرة بداية من المركز الى الاطراف . حيث تبدأ الطاقة من الصفر عند نقطة المركز لمستوى الصورة ثم ترتفع بصورة تدريجية مع زيادة نصف قطر دائرة المقطع لمستوى الصورة . الى ان تصل الى ذروتها عند تغطية المساحة لكل الطاقة المتجمعة ، بحيث يكون قيمة الطاقة المتجمعة بعدها ثابتة مهما زاد نصف قطر دائرة المقطع لمستوى الصورة لكون الطاقة موزعة في الداخل فقط .

ان طريقة توزيع الطاقة المتجمعة يكمن في تقسيم مساحة مستوى الصورة الى قطاعات دائرية الشكل (circular sectors) . فتحسب الطاقة المتجمعة في كل قطاع الى ان يستوعب كل مساحة الصورة . يوفر برنامج زيماكس امكانية استخدام قطاعات مربعة الشكل (squared sectors) اذا كان مستوى الصورة مربع الشكل ، فيكون توزيع الطاقة المتجمعة وفقا الى القطاعات المربعة فيسمى المنحنى حينها (ensquared energy).

الشكل (4.8) يوضح مقدار الطاقة المتجمعة لنظام بصري مكيف واخر تقليدي . يبين الشكل تجمع الطاقة للنظام المكيف بمساحة اقل منها في النظام التقليدي . بسبب تغير في توزيع الانتشار للصورة في كلا النظامين فيكون تجمع الطاقة بأقل مساحة في النظام المكيف لكون النظام يجمع الطاقة الضوئية بمساحة قليلة جدا بخلاف النظام التقليدي الذي يجمع الطاقة بمساحة اكبر.

نلاحظ من الشكل a (4.8) الخاص بالنظام البصري المكيف وصول الطاقة المتجمعة للقيمة القصوى عند نصف قطر (10 μ m) من نصف قطر مساحة مستوى الصورة بسبب تجمع الطاقة بمساحة صغيرة بعدها يبدأ يستقر المنحنى على قيمة واحدة مهما زاد نصف قطر مساحة القطاعات لمستوى الصورة.

بينما يكون مقدار الطاقة المتجمعة للنظام البصري التقليدي مبتدئا من الصفر ثم يرتفع بمسار متعرج الى ان يصل الى القيمة القصوى عند نصف قطر مساحة (375 μ m) تقريبا كما موضح في الشكل (b-4.8). وهذا يوضح الفرق الكبير بين مساحة الطاقة المتجمعة في مستوى الصورة للنظامين ، والأفضلية الواضحة للنظام البصري المكيف نتيجة خلو الاخير من التشوه الحاصل في جبهة الموجة.



الشكل (4.8) منحنى الطاقة المتجمعة.

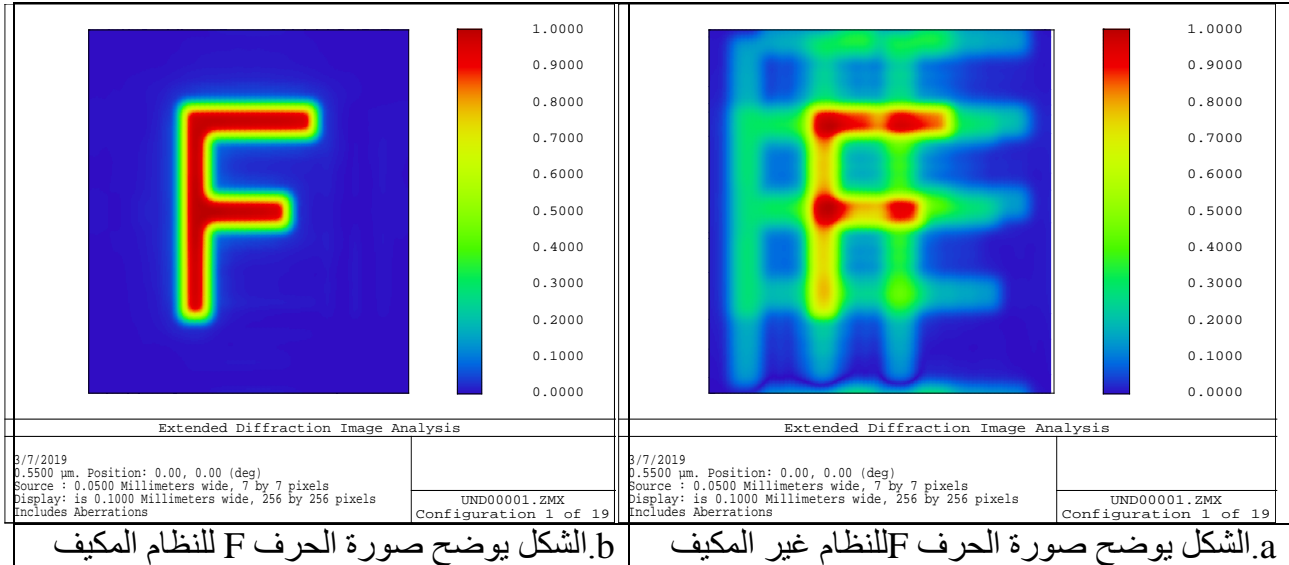
4.9 محاكاة الصورة Image Simulation:

يوفر برنامج زيماكس نافذة لمحاكاة الصورة بأشكال متعددة لتقييم عياني لجودة الصورة . استخدم احد هذه الاشكال (الحرف F) في تقييم جودة الصورة لكونه ملائماً أكثر من غيره من الاشكال لتوضيح الفرق بين النظام المثالي والعادي . كذلك بسبب اتساع ابعاده ووضوح شكله وكذلك يعتمد في الكثير من البحوث ذات الصلة .

نلاحظ في الشكل (4.9.a) عدم وضوح الصورة ووجود ضبابية فيها بحيث نرى صور هامشية اخرى حول الصورة الاصلية للحرف (F) بسبب وجود الزيغ للنظام البصري التقليدي الذي ينتج صورة مشوهة . بينما في الشكل (4.9.b) تكون الصورة واضحة المعالم ولا تجد فيها اي صور هامشية نتيجة عدم وجود الزيغ في النظام المكيف .

نلاحظ في الشكل (4.9) توزيعاً للاستضاءة لمستوى الصورة بشكل تدرج لوني حراري يبدأ من اللون الازرق (عدم وجود استضاءة) وصولاً الى اللون الاحمر للاستضاءة القصوى . بينما تتدرج الالوان الاخرى

للاستضاءة ذات القيمة بين الصفر والقصوى . ممكن استخدام تدرج لوني معاكس يوفره البرنامج مبدئاً من اللون الاحمر للقيمة الدنيا للاستضاءة وصولاً الى اللون الازرق للقيمة القصوى لها . او ممكن استخدام تدرج رمادي (gray scale) لمستوى الصورة ابتداءً من الاسود للاستضاءة الدنيا وصولاً الى الابيض للاستضاءة القصوى .



الشكل (4.8) محاكاة للنظام البصري المكيف والتقليدي لصورة على شكل حرف F.

4.10 زاوية سقوط الأشعة Incidence Angle of Rays

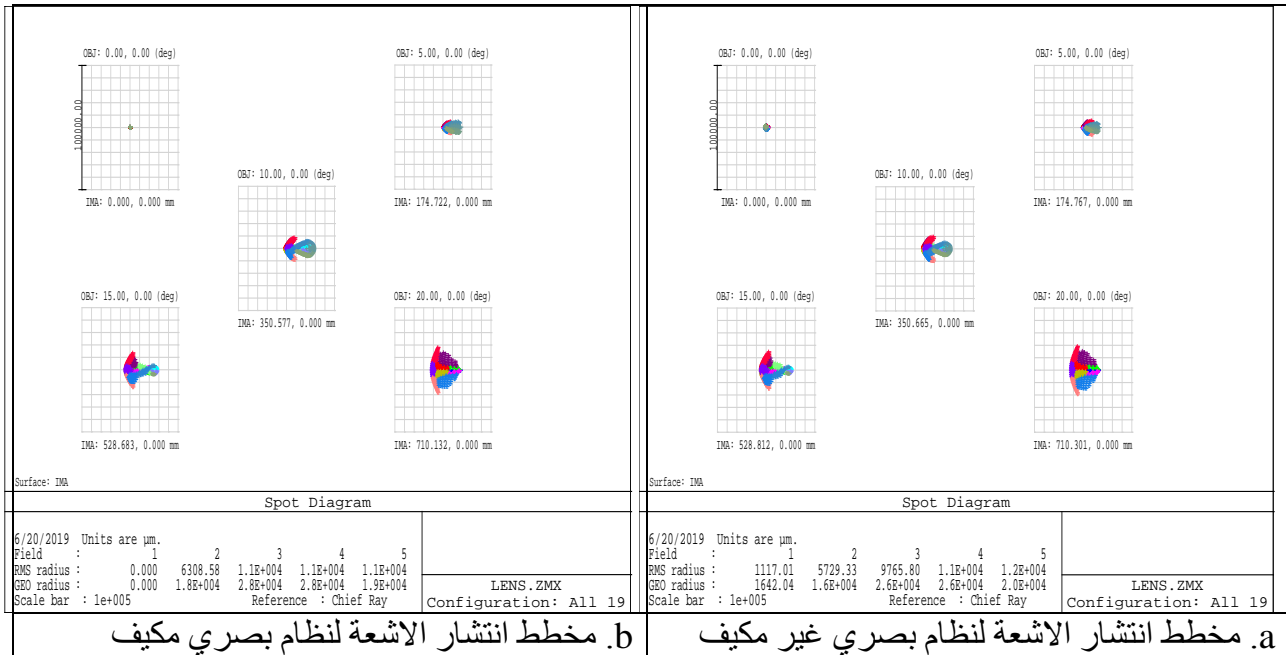
ان اختلاف زاوية سقوط الأشعة في الانظمة البصرية (بنوعها الصوري وغير الصوري) من المواضيع المهمة جدا لكون مجال الرؤية يختلف حسب موقع الجسم بالنسبة للمحور البصري للنظام . فبالنسبة للأنظمة البصرية الصورية (من ضمنها التسكوب العاكس) الذي يكون ثابت الحركة حين الرصد مستملاً صورة بمجال رؤية واسع توفرها المساحة السطحية الكبيرة نسبياً للمرآيا العاكسة ، وكذلك الشكل الهندسي للمرآة (قطع مكافئ) الذي يوفر مجال رؤية واسع . فلذلك تكون زاوية استلام الأشعة لكل رصد مختلفة تبعاً لموقع الجسم .

تم استخدام قيم مختلفة لزاوية السقوط للقيم ($0^\circ - 20^\circ$) لكونها مناسبة لمجال الرؤيا التي توفرها مساحة المقراب المصمم في هذا العمل ، وكذلك تعطي فكرة عن تأثير الاختلاف في زاوية السقوط على جودة الصورة . استخدمت نفس الطرائق لتحليل الصورة السابقة الذكر لعمل مقارنة شاملة للصورة بزوايا سقوط مختلفة ولنظامين بصريين احدهما مكيف بصرياً وآخر تقليدي (غير مكيف) . تم استخدام زاوية السقوط

المتغيرة باتجاه محور (x) فقط بسبب تناظر المحورين (x , y) نتيجة تناظر النظام البصري (المقرب يمتلك مقطعاً دائرياً منتظماً) ، عن طريق استخدام نافذة (field) في برنامج (زيماكس) .

الشكل (4.10) يوضح مخطط انتشار الاشعة في مستوى الصورة لقيم مختلفة من زاوية السقوط لنظامين بصريين احدهما مكيف بصريا وآخر تقليدي . نلاحظ اختلاف توزيع الشدة مع اختلاف زاوية السقوط ، فكلما زادت زاوية السقوط كلما زاد توزيع انتشار الاشعة في مستوى الصورة بسبب ظهور الزيغ غير المتناظر (مثل زيغ المذنب والاستجماتزم) في النظام البصري لكون الجسم اصبح خارج المحور البصري . فنلاحظ التناسب الطردي لزاوية السقوط مع قيمة الزيغ غير المتناظر .

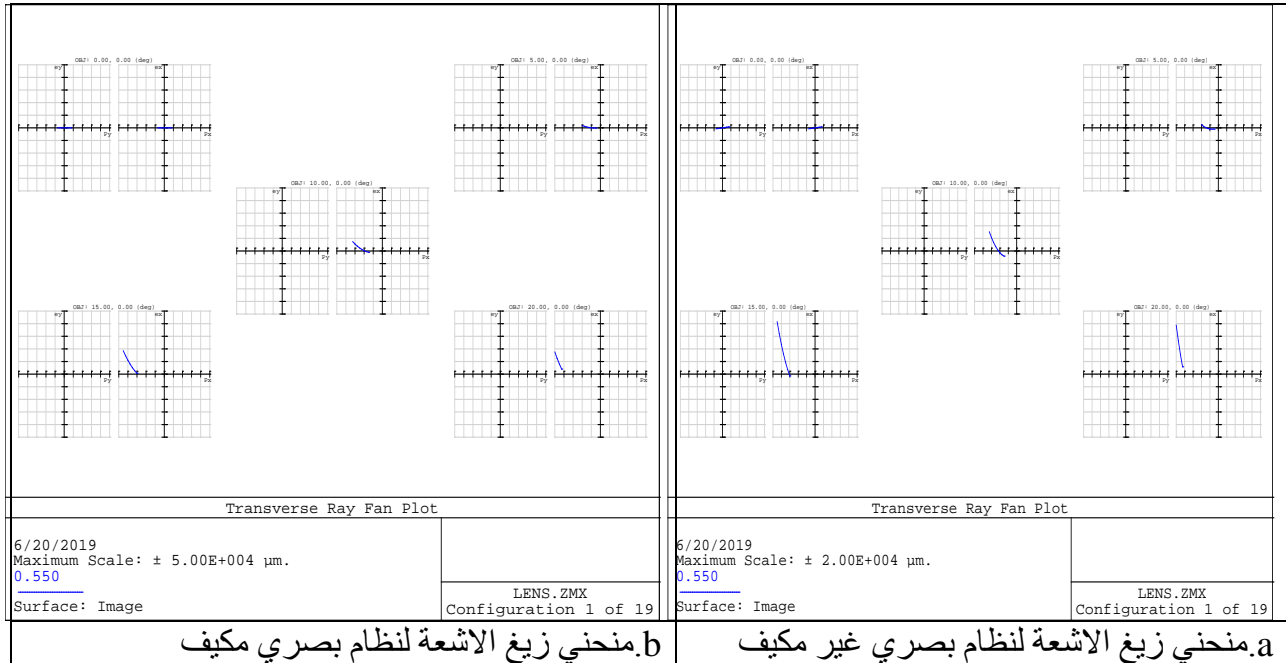
عند عمل مقارنة مع الشكلين (4.10.a) و (4.10.b) نلاحظ اختلافاً طفيفاً في تأثير تغير زاوية السقوط على توزيع الشدة في مستوى الصورة لنظام بصري مكيف بصريا وآخر تقليدي . السبب في ذلك يعود الى ان النظام البصري المكيف صمم لتغيير معالمته لتصحيح الزيغ المتناظر فقط (مثل الزيغ الكروي وتكور المجال وزيغ التشوه) . وكذلك مخطط انتشار الاشعة يعطي تصوراً عيانياً عام (غير دقيق) لتقييم الصورة . فيكون الفرق غير واضح عند المقارنة بين النظامين البصريين المكيف والتقليدي في هذه الحالة .



الشكل (4.10) مخطط انتشار الاشعة لزاويا سقوط مختلفة.

من الشكل (4.11) الذي يبين منحنى زيغ الاشعة (Ray fan aberration) لقيم مختلفة لزاويا السقوط . نلاحظ في الشكل اختلاف شكل منحنى الزيغ مع اختلاف زاوية سقوط الاشعة بسبب زيادة قيمة الزيغ غير المتناظر . كذلك يكون منحنى الزيغ بذراع واحدة (غير متناظر) ولمحور (x) فقط ، بسبب سقوط الاشعة بزواوية ميلان مع محور (x) فقط بسبب تناظر المحورين .

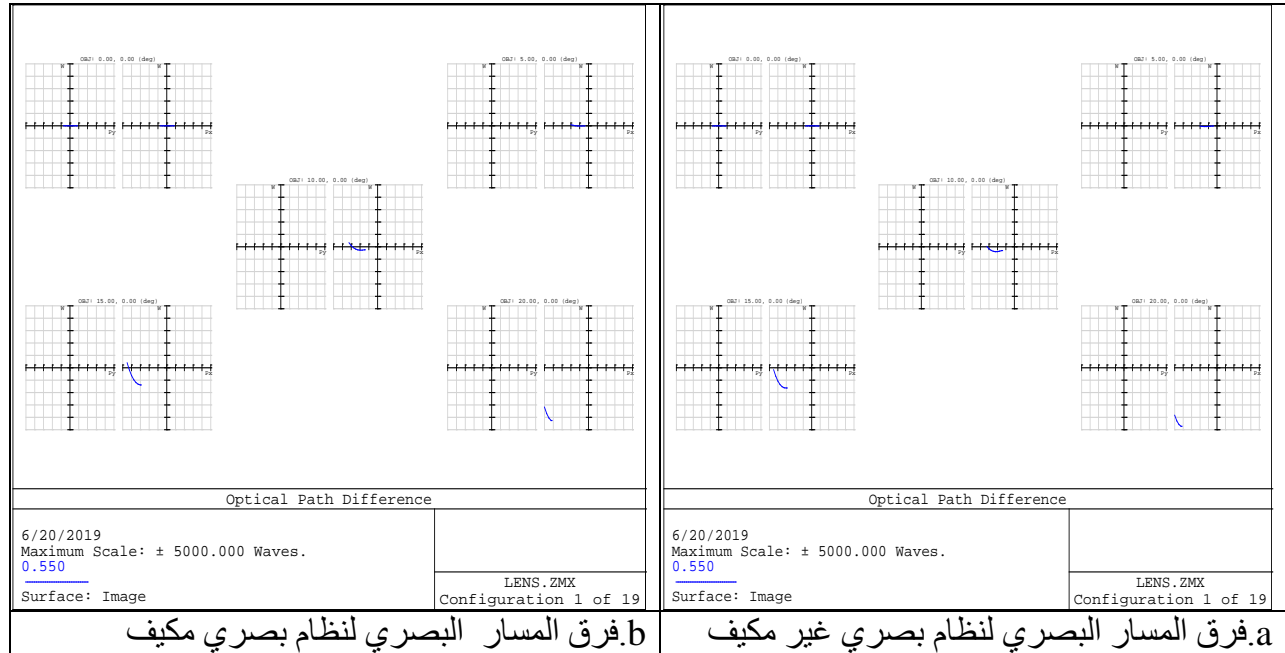
الشكل (4.11.b) يبين تمنحني الزيغ عند زوايا السقوط ($0^\circ - 20^\circ$) لنظام بصري مكيف . نلاحظ كلما ازدادت قيمة زاوية السقوط ازداد منحني الزيغ بصورة تدريجية ، ويبتعد عن المحور الافقي (الذي يعتبر معيار جودة الصورة لهذا المخطط ، فكلما اقترب المنحني من المحور الافقي يكون الزيغ قليلاً) . اما في الشكل (4.11.a) للنظام البصري التقليدي ، فنلاحظ زيادة واضحة بمقدار منحني الزيغ واستطالة بمنحني الزيغ لكل زيادة في زاوية السقوط . وتكون الزيادة في هذا المخطط كبيرة مقارنة مع مخطط الزيغ الخاص بالنظام البصري المكيف . وهذا يدل على زيادة كمية الزيغ في النظام التقليدي.



الشكل (4.11) منحني زيغ الاشعة لزوايا مختلفة

ان فرق المسار البصري بالنسبة لزوايا السقوط ($0^\circ - 20^\circ$) يوضحه الشكل (4.12) . نلاحظ ظهور فرق المسار البصري بمقدار قليل عند الزاوية (0°) ويزداد ظهور المنحني بزيادة مقدار قيمة الزاوية في كل مرة . يكون مخطط فرق المسار البصري في هذه الحالة غير متناظر بسبب عدم التناظر في سقوط الاشعة على النظام البصري .

نلاحظ الفرق بين الشكل (4.12.a) والشكل (4.12.b) نلاحظ زيادة فرق المسار البصري في الشكل الذي يمثل النظام التقليدي حيث يظهر فرق المسار البصري واضحاً من الزاوية ويزداد ظهور فرق المسار البصري غير المتناظر بزيادة قيمة زاوية السقوط .

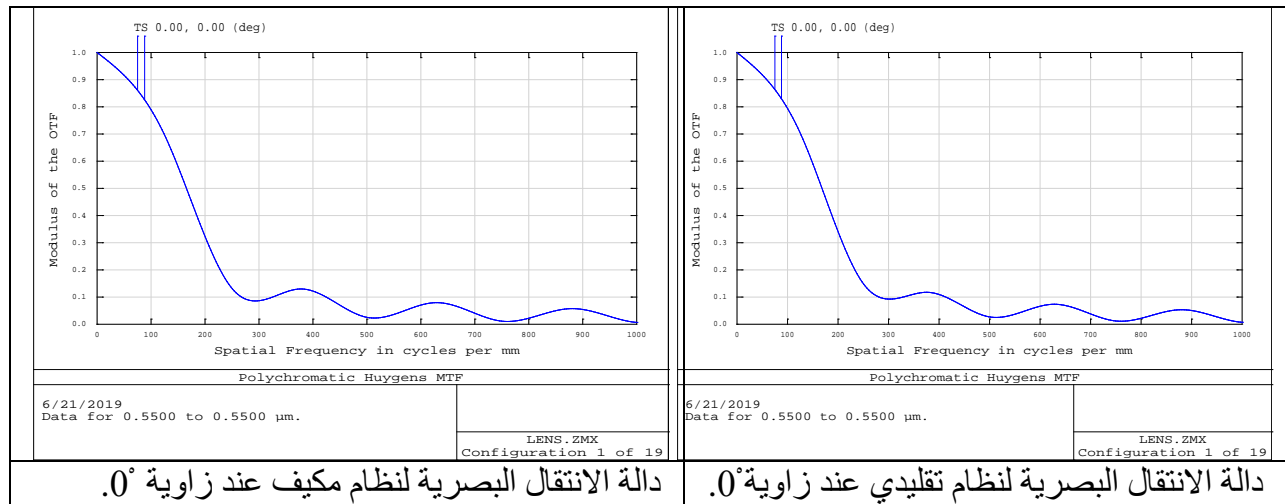


الشكل (4.12) فرق المسار البصري لزوايا سقوط مختلفة لنظام بصري مكيف وغير مكيف.

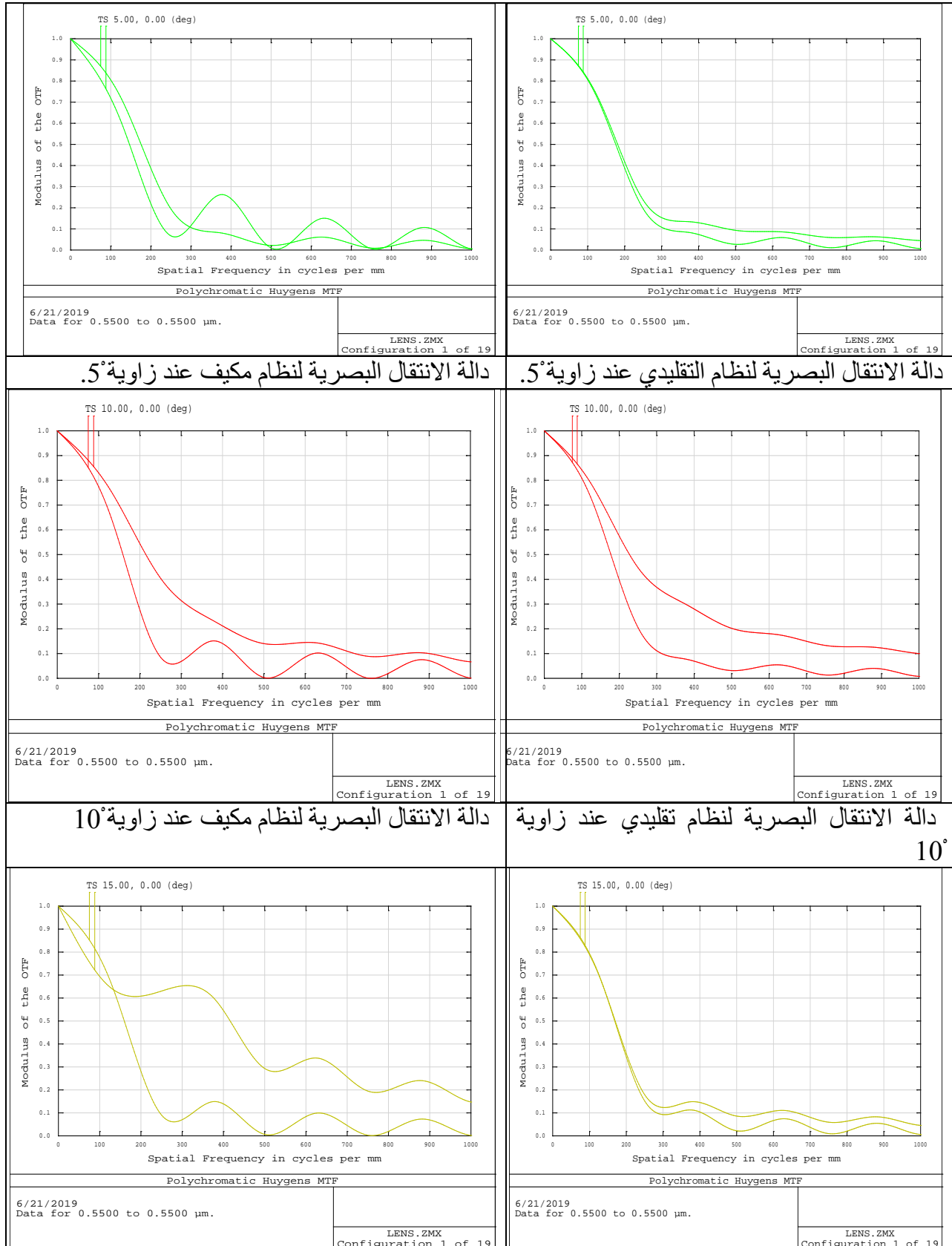
بالنسبة لدالة الانتقال البصرية . عند تغيير زوايا سقوط الأشعة نلاحظ تغير المحور السهمي (sagittal axis) والمحور المماسي (tangential axis) لمنحني دالة الانتقال البصرية. الشكل (4.13) يمثل دالة الانتقال البصرية . فعند زاوية السقوط (0°) يكون منحنى الدالة واحداً فقط دلالة على تطابق منحنى الدالة للمحورين السهمي والمماسي بسبب التناظر. بينما باقي الزوايا من (5° - 20°) يكون هناك منحنيان للدالة للمحور المماسي والسهمي دلالة على تغير مقدار قيمة الدالة للمحورين بسبب اختفاء التناظر. فتتغير قيمة دالة الانتقال البصرية بقيمتها العيارية عند التردد المكاني (cycle per mm) بالمنحني السهمي والمماسي حسب زاوية السقوط و النظام المكيف والتقليدي . نلاحظ تفاوتاً كبيراً في هذه القيم دلالة على تأثير النظام البصري بنوعية بزوايا سقوط الأشعة . لكن الأفضلية للنظام المكيف لكونه يمتلك ميزة تعديل معلماته للتغلب على تشوهه في جبهة الموجة بالتالي تغلب على الزيغ كما هو موضح بالجدول (4.1) والشكل (4.13) .

الجدول (4.1) قيم MTF العيارية التي تقابل التردد المكاني (100 cycle per mm) لزوايا سقوط مختلفة لنظام بصري مكيف وآخر تقليدي.

النظام البصري التقليدي		النظام البصري المكيف		زاوية السقوط
MTF (S)	MTF(T)	MTF(S)	MTF(T)	
0.8	0.8	0.8	0.8	0°
0.77	0.79	0.79	0.79	5°
0.81	0.83	0.77	0.82	10°
0.82	0.8016	0.78	0.71	15°
0.79	0.77	0.72	0.78	20°



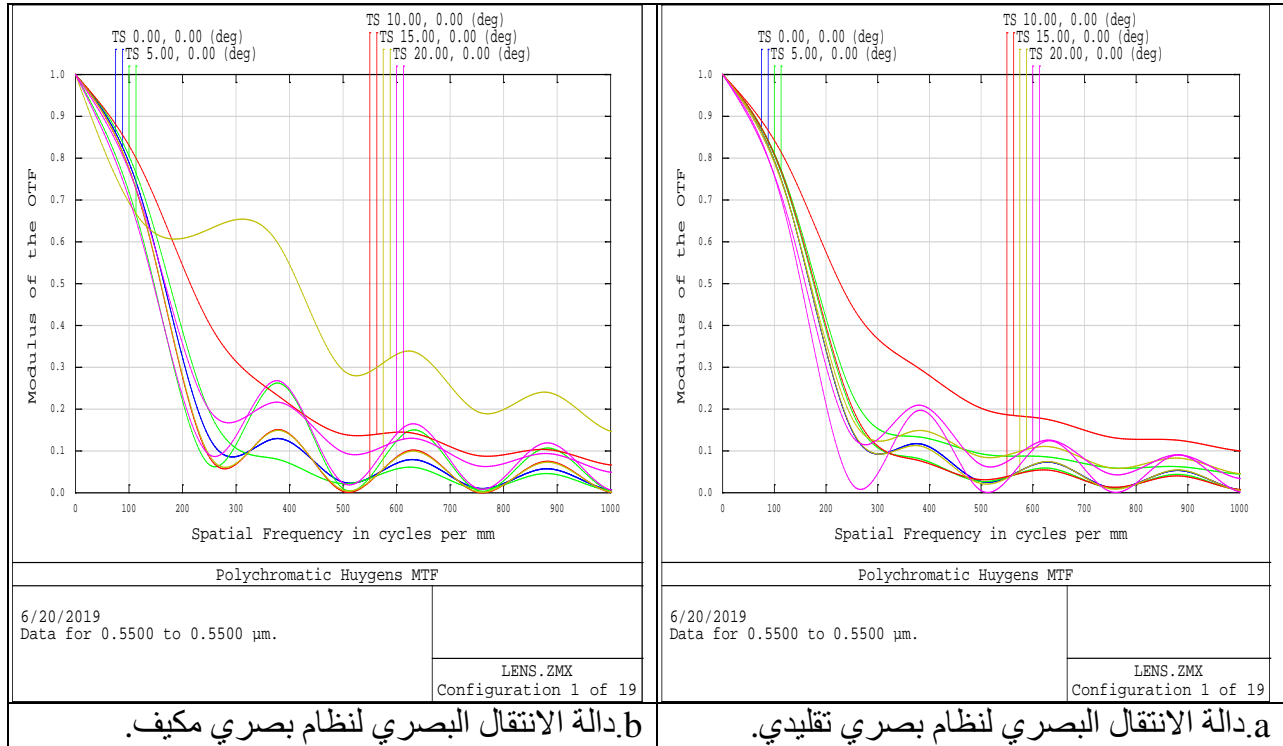
دالة الانتقال البصرية لنظام تقليدي عند زاوية 0°.



<p>دالة الانتقال البصرية لنظام مكيف عند زاوية 15°.</p>	<p>دالة الانتقال البصرية لنظام تقليدي عند زاوية 15°.</p>
<p>Polychromatic Huygens MTF 6/21/2019 Data for 0.5500 to 0.5500 μm. LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>	<p>Polychromatic Huygens MTF 6/21/2019 Data for 0.5500 to 0.5500 μm. LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>
<p>دالة الانتقال البصرية لنظام مكيف عند الزاوية 20°.</p>	<p>دالة الانتقال البصرية لنظام تقليدي عند زاوية 20°.</p>

شكل (4.13) دالة الانتقال البصرية لزوايا سقوط $(0^\circ-20^\circ)$.

الشكل (4.13) يوضح دالة الانتقال البصرية لكل زوايا السقوط $(0^\circ-20^\circ)$ للنظامين البصري مكيف واخر تقليدي . نلاحظ التفاوت في قيمة دالة المنحني السهمي والمماسي بسبب تفاوت زاوية السقوط . ان هذا الشكل مفيد من حيث شمولية العرض لاعطاء فكرة عن تأثير زاوية السقوط على جودة الصورة التي تتمثل بدالة الانتقال البصرية .



a. دالة الانتقال البصري لنظام بصري تقليدي.

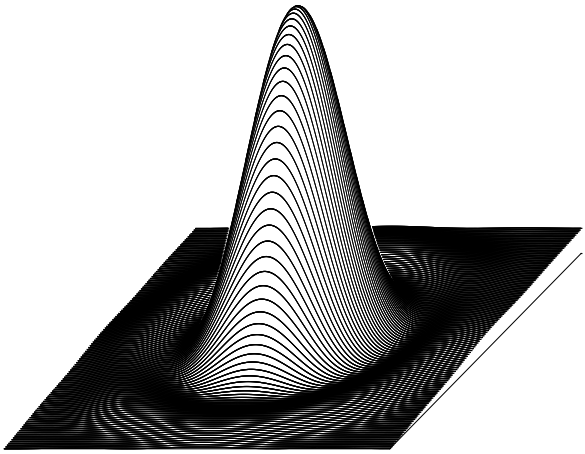
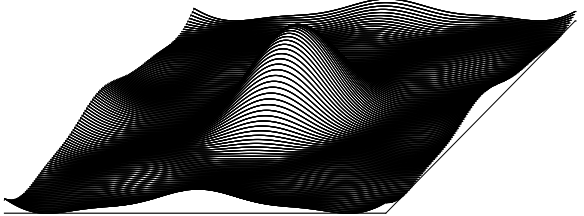
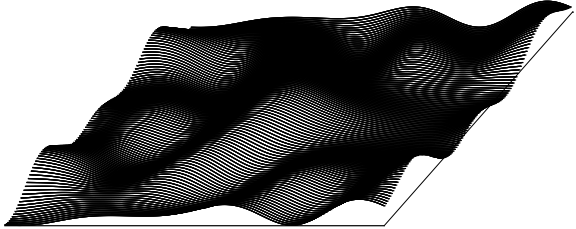
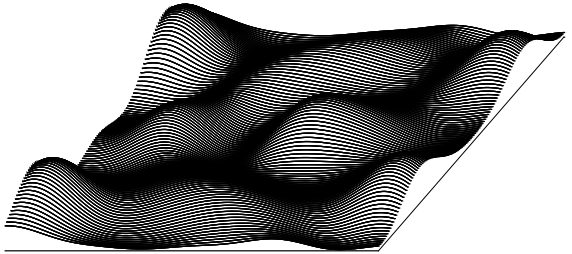
b. دالة الانتقال البصري لنظام بصري مكيف.

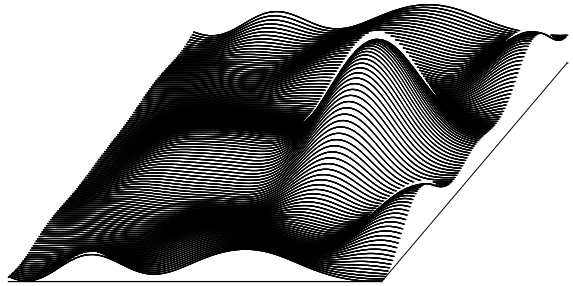
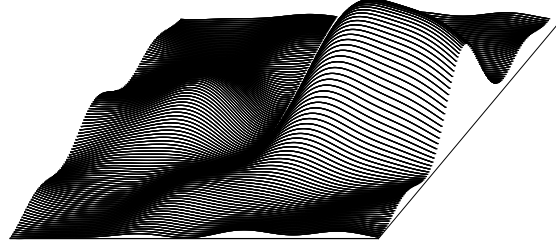
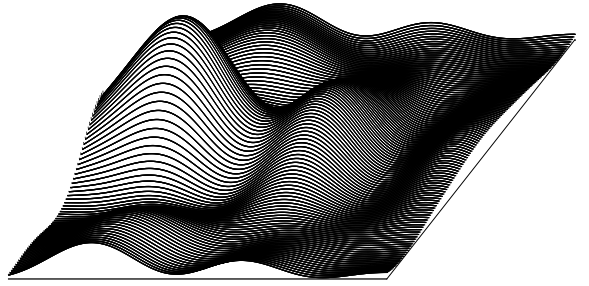
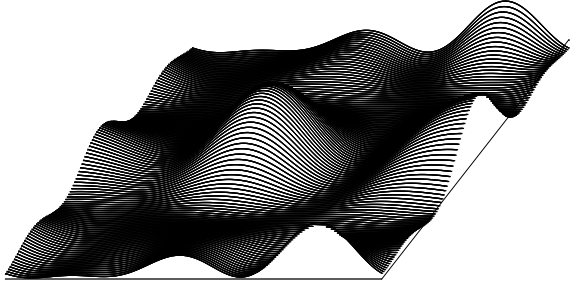
شكل (4.14) دالة الانتقال البصري لزوايا سقوط مختلفة.

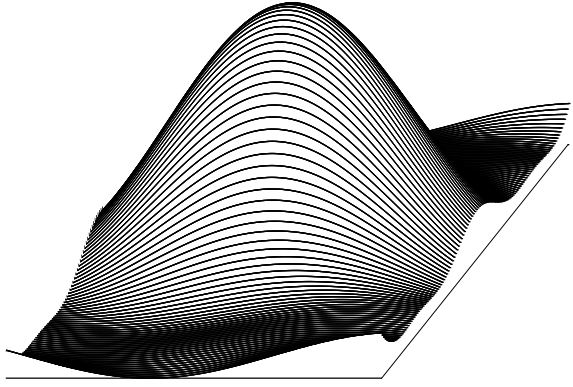
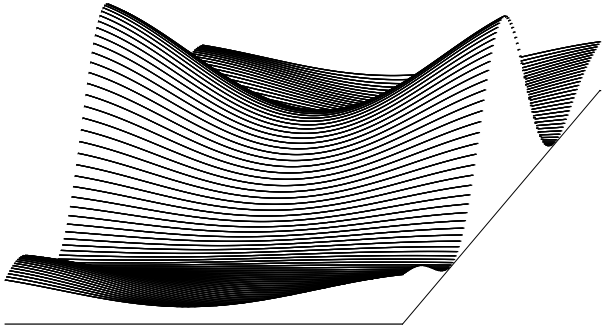
اما بالنسبة لدالة الانتشار النقطية حيث يزداد ظهور القمم الجانبية الصغيرة ويقل بروز القمة المركزية كلما زادت قيمة زاوية سقوط الأشعة وكما مبين بالشكل (4.15) حيث يبين كيفية التوزيع الطوبوغرافي في مستوى الصورة لكل زاوية سقوط بالمقارنة بين النظام البصري المكيف والنظام التقليدي .

الشكل (4.15) يبين دالة الانتشار النقطية لزوايا سقوط مختلفة لنظام بصري مكيف وآخر تقليدي . فالنظام البصري المكيف عند الزاوية (0°) يكون توزيع الشدة فيه منحصراً في مركز الصورة على شكل قمة بارزة ، والذي يدل على جودة الصورة المتكونة حسب معيار دالة الانتشار النقطية المثالي الذي يتمثل بنمط الحيود . اما في النظام التقليدي فتنخفض الشدة في الهدب المركزي وتظهر قمم ثانوية صغيرة . دلالة على تغير توزيع انتشار الأشعة في مستوى الصورة مما يقلل من جودة الصورة .

اما بقية زوايا السقوط (20° – 5°) فتتغير قيمة دالة الانتشار النقطية تبعاً حسب الزاوية ، ويتغير موقع القمة المركزية أي يزاح الى الجهة المعاكسة لاتجاه سقوط الأشعة على النظام البصري . الى ان نحصل على شكل يشبه السرج عند الزاوية (20°) للنظام التقليدي . بصورة عامة فان دالة الانتشار النقطية تعطي تصوراً عام لافضلية النظام البصري المكيف على النظام البصري التقليدي (غير المكيف) لكل زوايا السقوط لكونه يمتلك ديناميكية في تغير معالمه مما يجعله يتكيف لكل التغيرات التي تطرأ على موقع الجسم وزاوية سقوط الأشعة . مما يساهم في تصحيح اخطاء الصورة قدر الامكان .

	
<p>Huygens PSF</p> <p>5/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 0.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 1.000 Center coordinates : 0.00000000E+000, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>	<p>Huygens PSF</p> <p>6/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 0.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.278 Center coordinates : 0.00000000E+000, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>
<p>b. دالة الانتشار النقطية عند الزاوية 0 لنظام مكيف</p>	<p>a. دالة الانتشار النقطية عند الزاوية 0 لنظام تقليدي</p>
	
<p>Huygens PSF</p> <p>6/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 5.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.111 Center coordinates : 1.74722158E+002, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>	<p>Huygens PSF</p> <p>6/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 5.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.161 Center coordinates : 1.74766720E+002, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>
<p>d. دالة انتشار النقطية لنظام بصري مكيف 5°.</p>	<p>c. دالة الانتشار النقطية لنظام بصري تقليدي عند زاوية 5°.</p>

	
<p>Huygens PSF</p> <p>6/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 10.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.307 Center coordinates : 3.50576834E+002, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>	<p>Huygens PSF</p> <p>6/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 10.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.343 Center coordinates : 3.50664999E+002, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>
<p>f. دالة انتشار النقطية لنظام مكيف عند زاوية 10°.</p>	<p>e. دالة انتشار النقطية لنظام تقليدي عند زاوية 10°.</p>
	
<p>Huygens PSF</p> <p>6/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 15.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.350 Center coordinates : 5.28682588E+002, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>	<p>Huygens PSF</p> <p>6/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 15.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.199 Center coordinates : 5.28812467E+002, 0.00000000E+000 Millimeters</p> <p>LENS.ZMX Configuration 1 of 19</p>
<p>h. دالة الانتشار البصري لنظام مكيف عند زاوية 15°.</p>	<p>g. دالة انتشار البصري لنظام تقليدي عند زاوية 15°.</p>

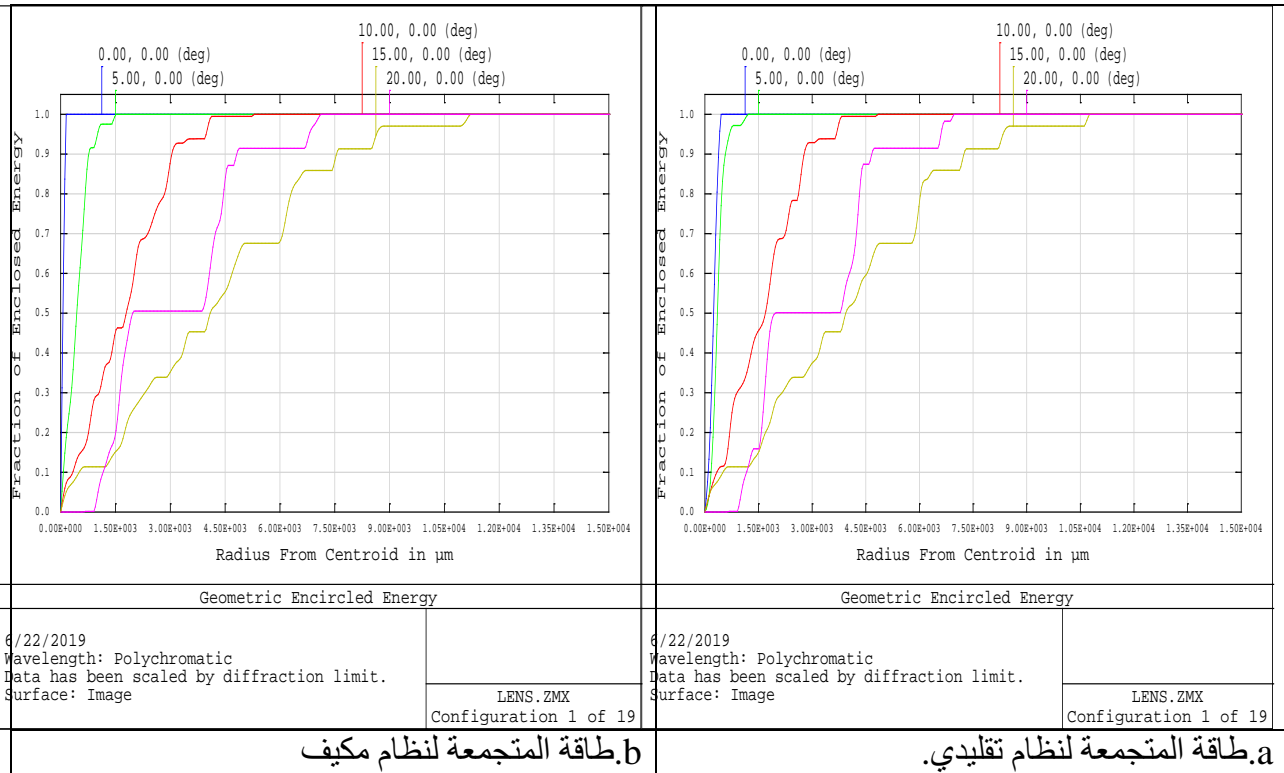
			
Huygens PSF		Huygens PSF	
5/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 20.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.653 Center coordinates : 7.10131992E+002, 0.00000000E+000 Millimeters	LENS.ZMX Configuration 1 of 19	5/21/2019 0.5500 to 0.5500 μm at 20.00, 0.00 (deg). Image size is 16.18 μm square. Strehl ratio: 0.510 Center coordinates : 7.10300838E+002, 0.00000000E+000 Millimeters	LENS.ZMX Configuration 1 of 19
جداله انتشار النقطية لنظام مكيف عند زاوية 20°.		i. دالة الانتشار النقطية تقليدي عند زاوية 20°.	

الشكل (4.15) دالة الانتشار النقطية لزوايا سقوط الأشعة (0°-20°)

اما بالنسبة للطاقة المتجمعة عند تغير زاوية سقوط الأشعة فتبدأ الطاقة المتجمعة بالانتشار في مساحة أكبر في مستوى الصورة عند زيادة زاوية السقوط . اي زيادة قطاعات المساحة الخاصة لمستوي الصورة ، فتكون اقل قيمة لنصف قطر دائرة قطاع المساحة الخاص بمستوى الصورة للحصول على اعلى قيمة للطاقة . اي اقل مساحة ممكنة لاحتواء جميع الطاقة الاشعاعية في مستوى الصورة كما موضحة في الجدول (4.2) والشكل (4.16).

جدول (4.2) يوضح قيم الطاقة المتجمعة لزوايا سقوط مختلفة.

النظام البصري غير المكيف	النظام البصري المكيف	زاوية سقوط
نصف قطر مساحة الطاقة المتجمعة بالميكرو متر	نصف قطر مساحة الطاقة المتجمعة بالميكرو متر	
$493 \cdot 10^4$	$513 \cdot 10^4$	0°
$1209 \cdot 10^4$	$2928 \cdot 10^4$	5°
$4841 \cdot 10^4$	$4571 \cdot 10^4$	10°
$1075 \cdot 10^4$	$10139 \cdot 10^4$	15°
$6966 \cdot 10^4$	$7392 \cdot 10^4$	20°



شكل (4.16) الطاقة المتجمعة عند زوايا سقوط مختلفة لنظامين تقليدي ومكيف.

الفصل الخامس

الاستنتاجات

والمشاريع المستقبلية

5.1. الاستنتاجات Conclusion

- ❖ للحصول على نظام بصري مكيف (تلسكوب عاكس) لإزالة الزيغ الحاصل من تشوه جبهة الموجة نتيجة التأثيرات الجوية . اذ يصمم المقراب بتركيب مجموعة مرايا صغيرة سداسية الشكل (19 قطعة) متراصة مع بعضها حرة الحركة بشكل محوري ومركزي لتكوين تلسكوب عاكس سداسي الشكل .
- ❖ يمكن التخلص من الزيغ الكروي عن طريق استخدام نظام بصري يتكون من مرآة عاكسة بشكل قطع مكافئ وبذلك يكون منحنى زيغ الأشعة للنظام المكيف خالياً من الزيغ الكروي الذي يسبب تشوه جبهة الموجة الداخلة للنظام .
- ❖ يكون تكور جبهة الموجة منتظم وفرق المسار البصري بين الأشعة على كل المحل الهندسي للسطح العاكس من الأشعة شبة المحورية والهامشية منعدم اي لا يوجد في المسار البصري بين الموجة الداخلة للنظام المكيف فيكون نظاماً مثالياً .
- ❖ تكون الصورة ذات جودة عالية عند ($MTF=0.8$) لقيمة التردد المكاني (100 cycle /mm) للنظام المكيف .
- ❖ يعطي النظام البصري المكيف صورة عالية الجودة من خلال منحنى دالة الانتشار النقطية للنظام المكيف .
- ❖ الطاقة المتجمعة للنظام البصري المكيف تتجمع بمساحة صغيرة جدا من سطح الصورة بالمقارنة مع النظام التقليدي .
- ❖ من خلال تغيير عدة قيم لزاويا سقوط الأشعة ($0^{\circ}-20^{\circ}$) . فان الزاوية التي تحقق للنظام البصري افضل صورة (دقة عالية وتباين عالي) وبمساحة طاقة اقل عند الزاوية (0°) حيث ينعدم الزيغ غير المتناظر وتقل الأشعة المحورية والهامشية ويعطي صورة ثلاثية الابعاد واضحة المعالم .
- ❖ كلما زادت قيمة زاوية السقوط قلت جودة الصورة بسبب ظهور الزيغ غير المتناظر وابتعاد الجسم عن المحور البصري .
- ❖ بصورة عامة .ان النظام البصري المكيف له الافضلية على النظام البصري التقليدي من حيث تكوين صورة جيدة ، بسبب تغيير معلماته البصرية بما يتلائم مع تغير جبهة الموجة نتيجة التأثيرات الجوية .

5.2. المشاريع المستقبلية Future works

- ❖ تصميم نظام بصري مكيف يتضمن تلسكوب عاكساً ذا شكل قطع مكافئ يتألف من (37) مرآة سداسية حرة الحركة بشكل محوري ومركزي .
- ❖ تصميم نظام بصري مكيف لإزالة الزيغ غير المتناظر (مثل الزيغ المذنب والزيغ لا البؤري) .
- ❖ تصميم نظام بصري مكيف يتضمن تلسكوبا عاكساً يتألف من مرآيا عاكسة ذات شكل مثلث .

المصادر

REFERENCES المصادر

1. T. F. Hoad .*The Concise Oxford Dictionary of Eng.* ISBN 0-19-283098-8 (1996).
2. P. Collins , "The Beautiful Possibility ".Cabinet Magazine , Issue 6, Horticulture (Spring 2002).
3. House of Lords , London ,"The Economics of Renewable Energy ",select Committee on Economic Affairs ,4th Report of session 2007 -08 ,Volume I :paper 1-195 (2008).
4. M .Mediavilla ,L.S Miguel , De Castro ,"From Fossil Fuels to Renewable Energies ".department de Ingenieria de sistemas Y Automatica paseo del Cauce s/n 47011, University of Valladolid , Spain- 26th International systems ,2008.
5. World Energy Council ,"World Energy Resources :Solar". CONCEIL MONDIAL LEERGIE for Sustainable energy registered in England and Wales,(2013).
6. J. Dunlop Solar ,"Photovoltaic Systems Study Guide –chapter 2: Solar Radiation", Terminology & Definition .Geometric & Atmospheric Effects .Solar Power & Energy .(2012)
7. I. L. AL boteanu , C. A .Bulucea and S. Degeratu ,"Estimating Solar Irradiation absorbed by Photovoltaic panels with low Concentration located in Craiova , Romania" , ,Journal Sustainability 2015,vol.7(2644 -2661) ;.(2015)
8. P .K .Nayak ,G .G .Belmonte , A .Kahn ,J .Bisquert , D .Cahen , "Photovoltaic Efficiency Limits and Material Disorder " , Journalism of Energy & Environmental Science , Issue 3 ,(2012) .
9. V. Quaschnig ,"Solar thermal power plants " ,Technology Fundamentals , Published in Renewable Energy world ,pp.109-113 ,(June 2003)
10. Y. Shang ,S. Hao ,C. Yang and G. Chen , "Enhancing Solar Cell Efficiency using Photon upconversion material , (2015).

REFERENCES المراجع

11. C. Jordan , "What is the Significance of the Tropic of Cancer ,Tropic of Capricorn ,Arctic Circle and Antarctic Circle ?(Beginner) " (2015).
12. B. Marion , J. Adelstein , , and K .Boyle ,H .Hayden , B .Hamanond , T .Fletcher , B .Canda , D .Narang ,D .Shugar , H. Wenger , A. Kimber , L .Mitchell , G. Rich , and T .Townsend , "Performance Parameters for Grid – Connected PV systems " ,National Renewable Energy Laboratory , (2005) .
13. E. Gordo , N. Khalaf ,T. Strange owl , "Factors Affecting Solar Power Production Efficiency " (2015) .
14. D. L .Hartmann , "Global Physical Climatology " ,Second Edition ,International Geophysics bookbinder :103 (2015) .
15. National Aeronautics and Space Administration (NASA) , "The 8-Minutes travel time to Earth by Sunlight hides a thousand – Year Journey that actually began in the core " , Living in the Atmosphere of the Sun , Issue 50 .(2007).
16. S. Kumar , "Organic Chemistry – Spectroscopy of organic compounds " , (2006) .
17. M. Gunther , " Advanced CSP Teaching material , chapter 2:Solar Radiation " ,enerMENA ,Deutsches Zentrum ,– Gemeinschaft Energy Science organization (2009) .
18. C .J .Riordan , R .L .Hulstrom , D .R .Myers , "Influences of Atmospheric conditions and Air mass on the ratio of Ultraviolet to total Solar Radiation " SERi/TP -215 -3895 , UC Categories :233 ,234 DE 90000368 , (August 1990).
19. Q. Fu , "Radiation (Solar)" university of Washington ,Seattle , Wa ,USA , Curry .eas .gatech .edu Elsevier Science Ltd (2003).
20. P. Ineichen , O. Guisan , R. Perez , "Ground –reflected radiation and Albedo" ,Solar energy ,volume 44 ,Issue 4 , pages 207-214 ,(1990).
21. B. Houtz , "What is Solar Tracking " ,Lauritzen INC .Blog Bring new ideas to renewable energy, (2014)

REFERENCES المصادر

22. فيزياء الجو و الفضاء-الجزء الاول (الانواء الجوية):حميد مجول النعيمي وفياض النجم التعليم العالي والبحث العلمي العراقية-1981
23. V. Quaschnig , "Solar thermal power plants " ,Technology Fundamentals , Published in Renewable Energy world ,pp.109-113 ,(June 2003)
24. .M . Khamooshi ,H . Salati ,F . Egelioglu ,A . H. Faghiri ,J . Tarabishi ,and S. Babadi "A Review of Solar Photovoltaic Concentrators" , International Journal of Photoenergy ,vol.2014,17 pages ,(2014).
25. N. L. A. Chan, "Solar Electricity from concentrator photovoltaic systems" ,Imperial college London , department of Grantham , Institute of climate change , submitted in part of the requirements for the degree of doctor of philosophy (April 2013).
26. The National Renewable Energy laboratory ,"Get your power from the Sun ", Energy Efficiency and Renewable Energy , Washington , (December 2003).
27. Wade, Nicholas J. & Stanley Finger (2001), "The eye as an optical instrument: from camera obscura to Helmholtz's perspective", *Perception* 30 (10): 1157-1177.
28. Human HET: CHALLENGE 1 SEGMENTED MIRROR By Brad Armosky and Mary Kay Hemenway © 2000 The University of Texas at Austin McDonald Observatory
29. Radius of curvature metrology for segmented mirrors Dave Baiocchi and J. H. Burge Optical Sciences Ctr./Univ. of Arizona, Thcson AZ2002
30. Active optics challenges of a thirty meter segmented mirror telescope George Z. Angeli¹ , Robert Upton¹ , Anna Segurson¹ , Brent Ellerbroek¹ ¹ New Initiatives Office, AURA Inc

المصادر REFERENCES

31. Mirrors with regular hexagonal segments © 2003 Optical Society of America OCIS codes: 350.1260, 220.4880, 110.6770.
32. (Adaptive Optical System Atmospheric Turbulence Generator)Testbed Article · January 200
33. Telescopes and Instrumentation The First Active Segmented Mirror at ESO Frédéric Gonté, Christophe Dupuy, Christoph Frank(all ESO) 2005.
34. Design and development of a 331-segment tip-tilt-piston mirror array for space-based adaptive optics Article in Sensors and Actuators A Physical 138(1):230-238 · July 2007
35. Large aperture telescope technology: a design for an active lightweight multi-segmented fold-out space mirror S. J. Thompson¹ , A. P. Doell (2008).
36. Adaptive Optics for Astronomy Richard Davies Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Postfach 1312, Giessenbachstr., 85741 Garching, Germany Markus Kasper European Southern Observatory, Karl-Schwarzschild-Str. 2, 85748 Garching, Germany(2007)
37. Alaa Badar Hassan Design and Evaluation of Micro-lenses Array Solar Concentrator(2013).
38. حسين طالب هاشم العبيدي تصميم وتقييم مجزء بصري باستخدام برنامج زيماكس 2015
39. مريم ازهر غالب تقييم خلية شمسية من مادة السليكون ذات اخايد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيماكس 2016
40. رسل صادق جعفر دراسة الخصائص البصرية لعدسة اسطوانية مطلية بمواد مضادة للانعكاس باستخدام برنامج زيماكس 2017
41. صباح علي حسين احتجاز الضوء بواسطة صفوف عدسات دقيقة في خلية كهرو ضوئية (2017)
42. TOPSIL , "High Transmission Silicon for IR applications" ,product note , HiTran , October 2013.
43. G. Mark, "Optical software" *Inst. of Phys. and IOP Pub.* 3, 15-19 (2006).

REFERENCES المراجع

44. T. John, "[Latest Zemax creates and evaluates designs](#)", *Laser Focus World*, 33(23), 2-13 (1997).
- 45.D. Grey, "The Inclusion of Tolerance Sensitivities in the Merit Function for Lens Optimization", SPIE. 147, 63–65 (1978)
46. B. Unger, "Dimpled Planar Lightguide Solar Concentrators", *PhD. Thesis. University of Rochester, New York* (2010).
- 47.D. Feder, "Automatic Optical Design", *Appl. Opt.* 2, 1209–1226 (1963).
48. C. Wynne and P. Wormell, "Lens Design by Computer", *Appl. Opt.* 2, 1223–1238 (1963)
49. G. Mark, "Optical software" *Inst. of Phys. and IOP Pub.* 3, 15-19 (2006).
50. N.H.Kim, "Introduction to Non –Sequential Ray tracing ", ,Article Attachment 1&2 ,(2015).

51. J. H. Karp, E. J. Tremblay and J. E. Ford, "Radial Coupling Method for Orthogonal Concentration within Planar Micro-Optic Solar Collectors", *UCSD*, 44(23), 344-351 (2010).
52. A . B . Hassan. " Design and Evaluation of Micro-lenses Array Solar Concentrator", Iraq, (2013).
53. H .A .Atwater , "Plasmonic light Trapping in thin film Si Solar cells" published LTD ,journal of optics ,volume:14,number :2, (2014)
54. S. Lindner " New Generation Silicon Solar Cells"(2015)
55. Ronald G .Driggers , "Encyclopedia of Optical Engineering Las-Pho " ,Dekker Encyclopedias Series , Vol :2, ,Published by CRC press (2003).
56. B. H .Walker , "Optical design for visual systems " ,International society for Optics and Photonics, Volume TT45, Published (2000)
57. P. Smorscek ,M. J. Wandelt , "Infraro Wiley –Vch Verlag Gmbh &co. Kгаа, Weinheim "Optik & Photonik", (2009).

REFERENCES المراجع

58. T . Thoeniss , C . Gerhard ,G . Adam ,"Optical system design " , (2009).
59. W . Smith ,"Modern lens design –ASAP Simulation" , part 2 :an Optical system to Deliver the Approximately Gaussian spot ,page 273,(2015).
60. Breault Research Organization ,Inc "Next –Generation Optical design software ASAP" , Released by Optical Engineering firm Breault Research ASAP2006 New available,(2006).
61. J . D. Upton "Setting up the Dall Null test –use OSLO" , EDU to calculate your dall null test setup ,(2000).
62. B . Duffy ,"Load testing SSAS in OSLO" , ,Published,(2014) .
63. (9 .1 .1) Magazine Managing Emergency Communication " Kansas city (mo)pd selects HEXAGON Safety & Infrastructure software,(2016).
64. S .S .P Innovations ,"Management of Fiber Optics for Utilities " (2015).
65. L .E .D Professional ,"Simulation and Optimization of Optical systems- WinLens" Issue10,(2008).
66. Weebly ,Chenglong ,"Optical design software –WinLens" ,Nano –photonic & Nano –manipulation LAB ,(2014).
67. A . Bruckner ,J . Duparre ,A . Brauer and A . Tunnermann, "Analytic Modeling of the Angular Sensitivity Function and Modulation Transfer Function of Ultrathin Multichannel Imaging systems" , Vol . 32 ,Issue 12 ,pp.1758-1769, (2007).
68. SSUS Micro Optics SA ,NEUCHATEL ,"Microlens Arrays " ,(2007).

Abstract

In this work , adaptive optical system has been designed of reflective astronomical telescope by using Zemax program for optical design that including of hexagonal segmented mirrors to be a large parabolic concave mirror . The mirrors have free axial and radial movement for changing the optical system parameters , to adapt with all deformations in wave front of light coming from source caused by atmospheric effects such as clouds , dust , rain and changing of refractive index caused by variation in the temperature . The given image is almost aberration free despite of atmospheric effects .

19 hexagonal segmented mirrors have been designed to avoid gaps among segments and to achieve free radial movement in three axis . The radius of desiened telescope is (-4000 mm) and its focal length (2000 mm) and dimensions of (1500 mm x 1200 mm x 1350 mm) .

Zemax program for optical design has been used to design this system . by using appropriate parameters and fixing virtual surface deforms the wave that inter the system . the image has been evaluated and analyzed by analyzing tools that available in Zemax , by knowing the three dimension system layout , ray fan aberration , optical path difference , spot diagram , point spread function and encircled energy .

Acomparisian is done between adaptive and traditional optical system to evaluates image quality and to illustrates image difference in two systems in case of deformed wave front . The results show priority of adaptive optical system to form high quality image (aberration free) by using adaptation technique .

The incidence angle of the optical ray has been used in optical system from(0° – 20°) because this is important factors that affect of image quality of optical system . the results showed aclear effecton in image quality with increasing of incidence angle for both systems adaptive and traditiond , but less effecting in adaptive optical system .

**Republic of Iraq Ministry of Higher Education
And Scientific Research
University of Baghdad College of Education for
Pure Science / Ibn Al-Haitham
Department of Physics**



Design and Evaluation Mirror for Adaptive Reflective Telescope Using ZEMAX Program

A thesis

*Submitted to the Counsel of Education for Pure Science / Ibn
Al-Haitham – University of Baghdad in Partial Fulfillment of The
Requirements for the Degree of Master of Science in Physics*

By :

AREEG ABDULZAHRA OSMAN

BSc. in Physics / 2005

Supervised by :

Asst .Prof . Alaa Badr Hassan