معايير تقييم العدسات الفوتوغرافية والسينمائية

Standards for Evaluating Photographic and Cinematic Lenses

أ. م. د/ هشام أحمد أحمد مرعي

أستاذ مساعد بقسم الفوتوغرافيا والسينما والتليفزيون - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان

Assist. Prof. Dr. Hesham Ahmed Ahmed Marei

Associate Professor at Department of Photography, Cinema and Television, Faculty of Applied Arts, Helwan University, Egypt

HISHAM_MAREY@a-arts.helwan.edu.eg

الملخص:

تعتبر العدسة بمثابة العين بالنسبة للكاميرا؛ فهي تعمل على تجميع الأشعة الضوئية المنعكسة إليها من المشهد الذي يتم تصويره، لتقوم بتكوين صورة لهذا المشهد على سطح الفيلم أو مستشعر الكاميرا. وبالتالي فلا سبيل للحصول على صورة جيدة، سواء أكانت ثابتة أو متحركة، دون استخدام عدسة ذات كفاءة عالية. فلو عبرت الأشعة الضوئية المنعكسة من المشهد المصور، من خلال عدسة ذات أداء بصري سيء، فلن تستطيع الكاميرا مهما بلغت كفاءتها هي ومستشعرها، أن تنتج صورة جيدة. والحقيقة أن جميع العدسات ليست مثالية بصرياً، بمعنى أن الضوء النافذ من خلالها يحدث له نسبة من الفقد لا مفر منها، بسبب الانعكاسات على الأسطح الزجاجية المتعددة، التي تتكون منها العدسة. الأمر الذي يضاعف من أهمية تقييم واختبار كفاءة العدسة وقدرتها على نقل تفاصيل المشاهد المصورة بأساليب موضوعية. وتكمن مشكلة البحث في أن عدم تقييم العدسة قد يتسبب في العديد من المشكلات التي تؤثر بالسلب إما على استخدام العدسة أثناء التصوير، أو على جودة الصور التي نحصل عليها بواسطة هذه العدسة، مثل: مشكلة صعوبة استخدام العدسة بسبب التصميم السيء، إما لقصر مسار حلقة ضبط الوضوح، أو عدم نعومة وسلاسة وتجانس حركة حلقات التحكم في فتحة العدسة وضبط الوضوح والبعد البؤري. ومشكلة نقص قدرة العدسة على ترجمة تباين contrast المشاهد المصورة، وضعف قوة تحديدها resolution. وكذلك عدم تجانس الأداء البصري للعدسة من مركزها لأطرافها. ولذلك يهدف البحث إلى الوقوف على معايير تقييم العدسات المستخدمة في التصوير الفوتوغرافي والسينمائي، سواء تلك التي تتعلق بجودة بناء العدسة، وكفاءة تصميم وحركة آلياتها المختلفة، أو تلك التي تتعلق بكفاءة الأداء البصري للعدسة مثل: سرعة العدسة، وقوة تحديدها، وتباينها، وحدتها، وأقصى عمق ميداني لها، وكذلك خلوها من عيوب العدسات التي تؤثر بالسلب على الصور المتكونة بواسطتها.

الكلمات المفتاحية:

العدسات الفوتوغرافية – العدسات السينمائية – تقييم جودة العدسة - سرعة العدسة – تباين العدسة – قوة تحديد العدسة - مخطط MTF – عيوب العدسات.

Abstract:

For a camera, the lens is the eye. It collects the light rays reflected to it from the scene being photographed, to create an image of this scene on the film or camera sensor. Thus, there is no way to obtain a good image, whether still or motion, without using a highly efficient lens. If the light rays reflected from the photographed scene pass through a lens with poor optical performance, the camera, whatever its efficiency and its sensor, will not be able to produce a good image. Which increases the importance of assessing and testing the lens's efficiency and its ability to convey the details of the captured scenes in objective ways. The research problem lies in the fact that failure to evaluate the lens, may cause many problems that negatively affect

either the use of the lens during shooting, or the quality of the images that we get with this lens, such as: The problem of the difficulty of using the lens due to poor design, And the problem of the lens's lack of ability to translate the contrast of the photographed scenes, and its poor resolution. As well as the heterogeneity of the optical performance of the lens from its center to its edges. Therefore, the research aims to examine the criteria for evaluating the lenses used in photography and cinematography, whether those related to the efficiency of the design and movement of its various mechanisms, or those that relate to the efficiency of the optical performance of the lens such as: lens speed, resolution, contrast, sharpness, and maximum depth of field, as well as the absence of lens defects that negatively affect the images formed by it.

Keywords:
Photographic Lenses, Cinematic Lenses, Evaluating Lenses, Lens Speed, Lens Contrast, Lens Resolution, MTF Charts, Circle of Confusion.

مقدمة:

تعتبر العدسة بمثابة العين بالنسبة للكاميرا؛ فهي تعمل على تجميع الأشعة الضوئية المنعكسة إليها من المشهد الذي يتم تصويره، لتقوم بتكوين صورة لهذا المشهد على سطح الفيلم أو مستشعر الكاميرا. وبالتالي فلا سبيل للحصول على صورة جيدة، سواء أكانت ثابتة أو متحركة، دون استخدام عدسة ذات كفاءة عالية. فلو عبرت الأشعة الضوئية المنعكسة من المشهد المصور، من خلال عدسة ذات أداء بصري سيء، فلن تستطيع الكاميرا مهما بلغت كفاءتها هي ومستشعرها، أن تنتج صورة جيدة.

والحقيقة أن جميع العدسات ليست مثالية بصرياً، بمعنى أن الضوء النافذ من خلالها يحدث له نسبة من الفقد لا مفر منها، بسبب الانعكاسات على الأسطح الزجاجية المتعددة التي تتكون منها العدسة، وكذلك على الأسطح الميكانيكية الداخلية للعدسة. فكل سطح من الأسطح الزجاجية المكونة للعدسة، يعكس قدراً من الضوء الساقط عليه ولا ينفذه، ويزيد هذا الفقد في الضوء في حالة العدسات متغيرة البعد البؤري zoom، نظراً لاحتوائها على عدد كبير من الأسطح الزجاجية المكونة لها.

وجودة أداء العدسة لا تأتي بالمصادفة، وإنما تكون نتاج للتصميم الجيد، ومراعاة أدق التفاصيل في صناعة الأسطح الزجاجية التي تتكون منها، وتطوير المواد المستخدمة في الطلاء، والعمل على تصحيح عيوبها بأفضل صورة، حتى نحصل منها على أفضل نتائج ممكنة. الأمر الذي يستلزم ضرورة الفهم الكامل لطبيعة العدسات المستخدمة في التصوير، والمشكلات المختلفة التي تعترض الحصول على صورة ذات جودة عالية. ويضاعف أيضاً من أهمية تقييم واختبار كفاءة العدسة وقدرتها على نقل تفاصيل المشاهد المصورة بأساليب موضوعية.

وهناك العديد من العناصر التي يتم تقييم العدسة بناء عليها، منها ما يتعلق بالخصائص الميكانيكية للعدسة، مثل: متانة الخامات المستخدمة في صنعها، ومدى نعومة وسلاسة وتجانس حركة آليات التحكم في فتحة العدسة وضبط الوضوح والبعد البؤري ومنع الاهتزاز. ومنها ما يتعلق بكفاءة الأداء البصري لها، مثل: سرعة العدسة وقوة تحديدها وتباينها وحدتها وأقصى عمق ميداني لها، ومدى خلوها من عيوب العدسات التي تؤثر بالسلب على الصور المتكونة بواسطتها، مثل الانحراف اللوني، وانبعاج الأطراف، وإظلام الحواف، والتوهج.

ولذلك سنقوم في هذا البحث بدراسة جميع العوامل المؤثرة على جودة العدسة وكفاءة أدائها ميكانيكياً وبصرياً، وذلك للوقوف على معايير تقييم العدسات المستخدمة في التصوير الفوتوغرافي أو السينمائي، للحصول على أقصى جودة ممكنة للصورة.

مشكلة البحث:

إن عدم تقييم العدسة قبل استخدامها في التصوير قد يتسبب في العديد من المشكلات التي تؤثر بالسلب إما على استخدام العدسة أثناء التصوير، أو على جودة الصور التي نحصل عليها بواسطة هذه العدسة، كما يلي:

- مشكلة صعوبة استخدام العدسة بسبب التصميم السيء، إما لقصر مسار حلقة ضبط الوضوح، أو لعدم نعومة حلقات التحكم وسلاستها وتجانسها في فتحة العدسة وضبط الوضوح والبعد البؤري.
- مشكلة الفقد في الضوء النافذ من العدسة بسبب الانعكاسات الضوئية على الأسطح الزجاجية المكونة لها.
- مشكلة نقص قدرة العدسة على ترجمة تباين contrast المشاهد المصورة، وضعف قوة تحديدها resolution.
- مشكلة عدم تجانس الأداء البصري للعدسة من مركزها لأطرافها.
- مشكلة التأثير السلبي لعيوب العدسات على الصور التي تنتجها.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى الوقوف على معايير تقييم العدسات المستخدمة في التصوير الفوتوغرافي والسينمائي، سواء تلك التي تتعلق بجودة بناء العدسة، وكفاءة تصميم وحركة آلياتها المختلفة، أو تلك التي تتعلق بكفاءة الأداء البصري للعدسة مثل: سرعة العدسة، وقوة تحديدها، وتباينها، وحدتها، وأقصى عمق ميداني لها، وكذلك خلوها من عيوب العدسات التي تؤثر بالسلب على الصور المتكونة بواسطتها، وذلك للحصول على أقصى جودة ممكنة للصورة الفوتوغرافية أو السينمائية.

تساؤلات البحث:

- ما هي مواصفات التصميم الجيد للعدسة؟ وما هي أهمية طلاء الأسطح الزجاجية المكونة لها؟
- ما هو الفرق بين قيمتي التعبير عن فتحة العدسة T-Number، F-Number؟
- هل زيادة سرعة العدسة Lens speed تعني بالضرورة أن كفاءة أدائها البصري أعلى؟
- ما هي العلاقة بين تباين العدسة وقوة تحديدها؟ وكيف يمكن تقييم كل منهما؟
- ما هي اعتبارات تقييم العدسة من خلال قراءة مخطط MTF؟
- ما المقصود بدائرة التشوش للعدسة circle of confusion، وما هو تأثيرها على عمق الميدان؟
- ما هي العيوب المختلفة للعدسات، وما مدى تأثيرها السلبي على الصور التي تنتجها العدسة؟

منهج البحث:

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي بدراسة جميع العوامل المؤثرة على جودة العدسة وكفاءة أدائها ميكانيكياً وبصرياً، وذلك للوقوف على معايير تقييم العدسات المستخدمة في التصوير الفوتوغرافي والسينمائي.

١. جودة بناء العدسة: Lens Construction Quality

يجب أن تكون العدسة قوية وجيدة البناء حتى لو كانت خفيفة في الوزن، والعدسات المصنوعة من البلاستيك تكون أرخص وأقل جودة من العدسات المصنوعة من الألومنيوم أو أي معدن آخر،[5-p.118] نظراً لقابلية الأولى للتلف بشكل أسرع.[3-p.126] وفي جميع الحالات يجب أن يكون موضع تثبيت العدسة في الحامل مصنوع من المعدن. ويجب أن تتحرك جميع آليات العدسة الخاصة بالتحكم في البعد البؤري، وضبط الوضوح، وفتحة العدسة، بنعومة وسلاسة وتجانس، دون أي تقطيع أو خشونة أثناء الحركة،[5-p.118] ودون أن يصدر عنها أي صوت غريب.[3-p.126]

٢. طلاء العدسة: Lens Coatings

يتم طلاء الأسطح الزجاجية المكونة للعدسة بمواد تعمل على تقليل الفقد للضوء المار من العدسة، عن طريق تقليل الانعكاسات التي تحدث على الأسطح العديدة المكونة للعدسة، فيزيد مقدار الضوء النافذ، وبالتالي تزيد سرعة العدسة.[8-pp.13-14] وكذلك تعمل هذه الطلاءات على تقليل التوهج flare، فيزيد تباين الصورة. وبدون هذه الطلاءات لن يكون للعدسة أي قيمة من الناحية العملية.[6-p.69] ويستخدم صانعي العدسات طلاءات رقيقة من مواد مختلفة مثل أول أكسيد السليكون أو فلوريد المغنسيوم. وكلما زاد عدد طبقات الطلاء على الأسطح الزجاجية للعدسة، كلما زادت النفاذية وقل الانعكاس، وبالتالي يقل التوهج.[5-pp.109-112]

٣. ضبط الوضوح: Focusing

يتم تصميم العدسات الفوتوغرافية بحيث تكون مدمجة، وتسمح بضبط الوضوح بسرعة وبشكل فوري، من خلال النظر في محدد المرئيات. ومعظم العدسات الحديثة المصممة للعمل مع كاميرات DSLR تكون مزودة بإمكانية ضبط الوضوح بشكل آلي auto-focus،[5-p.121] ويجب أن يكون ميكانزم الضبط الآلي للوضوح سريعاً، وهادئاً، ودقيقاً وبخاصة عند التصوير في ظروف إضاءة منخفضة. وفي بعض العدسات الفوتوغرافية يكون مسار دوران حلقة ضبط الوضوح قصير جداً، فلا يكون مريحاً على الإطلاق عند الرغبة في ضبط الوضوح بشكل يدوي.[14-p.13, 16]

أما العدسات السينمائية فتكون أكبر حجماً، ويكون مسار دوران حلقة ضبط الوضوح فيها أوسع كثيراً، أي المدى بين المسافات على العدسة أكبر، بحيث تسمح بتعديل وضوح الموضوع المتحرك بشكل ناعم أثناء تصوير اللقطة المتحركة. وهي مصممة بحيث يقوم مساعد المصور بضبط الوضوح بالنظر إلى أرقام المسافات المنقوشة على العدسة بشكل مستقل عن المصور.[5-p.121] ويجب أن تكون الأرقام المعبرة عن المسافات مكتوبة بحجم كبير، وبلون ساطع، حتى يسهل على مساعد المصور رؤيتها في ظروف الإضاءة المنخفضة.[10-p.144]

٤. خاصية منع الاهتزاز: Image Stabilization

معظم العدسات متغيرة البعد البؤري zoom، والعدسات طويلة البعد البؤري telephoto، تشتمل على خاصية منع الاهتزاز، والتي تسمح بالتصوير بسرعات غالق أبطأ أثناء حمل الكاميرا باليد، مع الحفاظ على حدة الصورة، دون أي اهتزاز.[14-p.18] فهذه الخاصية تستخدم للتقليل من التمويه blur الحادث بفعل اهتزاز الكاميرا عند استخدامها بسرعات غالق بطيئة، مما يسمح بالتصوير في ظروف إضاءة منخفضة، حيث تسمح بالتصوير بسرعة غالق أبطأ بما يعادل أحياناً أربع فتحات عدسة، من تلك التي تسمح بها العدسة التي لا تحتوي على هذه الخاصية. وفي بعض الأحيان تكون خاصية منع الاهتزاز موجودة في جسم الكاميرا نفسه، وليس في العدسة، إلاَّ أن وجودها في العدسة يتميز بأن حسابات منع الاهتزاز يتم تصميمها لكل عدسة بشكل منفرد. وتعتمد أنظمة منع الاهتزاز، كما هو الحال في عدسات شركة Nikon، على مستشعرين للرصد السريع للحركة، أحدهما يعمل على رصد الحركة الرأسية، والآخر لرصد الحركة الأفقية، ويقوم المستشعر بإرسال بيانات هذه الحركة إلى كمبيوتر مصغر داخل العدسة، ليحدد المقدار المطلوب لتعويض حركة اهتزاز الكاميرا، والذي يقوم بدوره بإرسال هذه المعلومة إلى موتور يقوم بتحريك قطع معينة داخل العدسة، مصممة لتصنع حركة مضادة لحركة الاهتزاز فتلاشيها.[13]

ويجب إيقاف خاصية منع الاهتزاز عند تثبيت الكاميرا على حامل ثلاثي الأرجل، حتى لا تأتي بنتيجة عكسية، حيث ستعتبر العدسة أن الموضوعات المتحركة بشكل طبيعي في الصورة هي اهتزاز للكاميرا، فتقوم بإنشاء حركة عكسية تؤدي إلى

اهتزاز الصورة.[14-p.18] ولكن هناك بعض أنظمة منع الاهتزاز التي تستشعر تثبيت الكاميرا على حامل، أو القيام بحركة أفقية panning، أو أي ظرف من الظروف التي لا تتطلب أن تقوم العدسة بتعويض حركة الموضوعات المصورة.[13]

٥. فتحة العدسة: Lens Aperture

يتم التحكم في كمية الضوء النافذ من العدسة، ليصل إلى سطح الفيلم أو المستشعر الرقمي، من خلال ثقب متغير الاتساع حول المحور البصري لها، يطلق عليه اسم فتحة العدسة lens aperture.[2-p.287] ويتم التحكم في اتساع هذه الفتحة، من خلال أداة ميكانيكية diaphragm، تحتوي على مجموعة من الشفرات المتداخلة، والتي يمكن التحكم في حركتها بحيث تتسع أو تضيق فتحة العدسة بينها.[1-p.152]

ويتم التعبير عن كمية الضوء التي تسمح العدسة بإنفاذها، باستخدام أرقام محددة يطلق عليها f–stops، كل منها يعبر عن فتحة عدسة نسبية تؤدي إلى مرور كمية معينة من الضوء. وتتحدد قيمة f–stop بحساب النسبة بين البعد البؤري للعدسة، وقطر فتحة العدسة، من خلال المعادلة التالية: **f – number = focal length / lens diameter**، وبالتالي فكلما زاد قطر فتحة العدسة، كلما زادت كمية الضوء التي تمر من خلالها، وقلت قيمة f–stop المعبرة عنها. بينما كلما زاد البعد البؤري للعدسة، كلما نقصت كمية الضوء التي تصل إلى مستشعر الكاميرا، عند ثبات قطر فتحة العدسة، وزادت قيمة f-stop المعبرة عنها. والأرقام القياسية لقيم f–stops هي: 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32،[1-p.152] وقد تم تصميم العدسات بحيث تسمح كل قيمة f–stop بمرور كمية ضوء تعادل نصف كمية الضوء التي تسمح بمرورها القيمة الأقل منها مباشرة، وضعف كمية الضوء التي تسمح بمرورها القيمة الأكبر منها مباشرة. ولذلك نجد أن كمية الضوء التي تسمح بمرورها العدسة عند f/4 تعادل ثمانية أضعاف كمية الضوء التي تسمح العدسة بمرورها عند f/11، وذلك لأن كمية الضوء النافذ من العدسة قد تضاعفت مرة عند f/8، ومرة أخرى عند f/5.6، ومرة ثالثة عند f/4، فتكون محصلة تضاعف الضوء النافذ = ٢x٢x٢ = ٨ أضعاف.[8-p.13]

ونظراً لأن قيمة f–stop هي علاقة هندسية بين طول البعد البؤري وطول قطر فتحة العدسة، وبالتالي فهي لا تعبر بشكل دقيق عن كمية الضوء الفعلية، التي تمر عبر العدسة وتصل إلى الفيلم أو مستشعر الكاميرا؛ وذلك لأنها لا تأخذ في الاعتبار مقدار الضوء المفقود داخل العدسة،[1-pp.152-153] حيث إنه من المستحيل عملياً أن تبلغ نفاذية العدسة ١٠٠% من الضوء الساقط عليها،[6-p.69] فجميع العدسات ليست مثالية بصرياً، بمعنى أن الضوء النافذ منها يحدث له نسبة من الفقد لا مفر منها، بسبب الانعكاسات على الأسطح الزجاجية المتعددة، التي تتكون منها العدسة، وكذلك على الأسطح الميكانيكية الداخلية للعدسة.[10-p.113] فكل سطح من الأسطح الزجاجية المكونة للعدسة، يعكس قدراً من الضوء الساقط عليه ولا ينفذه، ويزيد هذا الفقد في الضوء في حالة العدسات متغيرة البعد البؤري zoom، نظراً لاحتوائها على عدد كبير من الأسطح الزجاجية المكونة لها.[1-pp.152-153] ويظهر في شكل (١) مقطع في إحدى العدسات يوضح احتوائها على عدد كبير من القطع الزجاجية.[10-p.113]

شكل (١) مقطع داخلي في عدسة نموذجية، يظهر تعدد الأسطح الزجاجية داخل العدسة

ولذلك فقد تختلف قيمة التعريض التي نحصل عليها عند استخدام نفس قيمة f–stop لتصوير نفس الموضوع بعدسات مختلفة.[8-p.13] ويرجع ذلك لاختلاف كل منهم في التصميم، وفي عدد القطع الزجاجية، وكذلك في نوع الطلاء المستخدم مع كل منهم. ولذلك تم ابتكار قيمة أخرى تعتمد على قياس النفاذية transmittance الفعلية لكل عدسة على حدة وهي قيمة T–number، ويتم حساب هذه القيم لكل عدسة من خلال المعادلة التالية:

$$T\text{-number} = \frac{N}{\sqrt{T}} = NT^{-1/2}$$

حيث (N) هي قيمة f-stop، و(T) هي قيمة نفاذية العدسة transmittance التي تم قياسها بشكل حقيقي.[6-p.69] ولذلك فإن قيمة T–stop أكثر دقة للتعبير عن الضوء النافذ من العدسة، لأنه يتم حسابها لكل عدسة بشكل منفرد، اعتماداً على كمية الضوء النافذ فعلياً من العدسة.[8-p.13] ولذلك تستخدم قيمة f–stop في حسابات عمق الميدان، بينما تستخدم T–stop عند حساب التعريض.[2-p.287]

وتتطابق قيمة T–stop مع قيمة f–stop في حالة العدسة المثالية، وهي العدسة التي تنفذ كل الضوء الساقط عليها دون أي فقد. أما فعلياً فيكون هناك فرق بين القيمتين بسبب فقد بعض الضوء داخل العدسة وعدم وصوله إلى الفيلم أو المستشعر، [1-pp.152-153] وعادة تقل قيمة T–stop عن قيمة f–stop المحددة على العدسة بما يعادل ٢/١ أو ٣/١ فتحة عدسة،[2-p.287] وهذا الفرق يزيد في العدسات متغيرة البعد البؤري zoom ليصل أحياناً إلى فتحة عدسة كاملة، بحيث أن ضبط العدسة على قيمة f/8 سيؤدي إلى أن يكون التعريض الناتج مساوياً لما نحصل عليه عند استخدام قيمة T/11. ودائماً ما يكون رقم T–stop أعلى من رقم f–stop الذي يعادله.[1-pp.152-153]

والعدسات السينمائية يتم تمييزها بأرقام T–stop، أما العدسات الفوتوغرافية ومعظم عدسات الفيديو فيتم تمييزها فقط بأرقام f–stop.[9-p.70] وبعض العدسات السينمائية تتم معايرتها بكلتا القيمتين، بحيث تكون قيم f–stop باللون الأبيض على أحد جانبي حلقة ضبط فتحة العدسة، وتكون قيم T–stop باللون الأحمر على الجانب الآخر.[1-pp.152-153]

وتجدر الإشارة إلى أنه عند ضبط فتحة العدسة عند قيمة معينة، يجب البدء من أوسع فتحة عدسة، ثم تضييقها حتى نصل إلى القيمة المرغوبة للتصوير، ويجب ألاَّ يتم الرجوع في الاتجاه العكسي على الإطلاق؛ حيث تحتوي معظم الفتحات على قدر معين من رد الفعل العكسي الذي يجب تعويضه. ولذلك فإذا دعت الضرورة إلى الانتقال من فتحة عدسة إلى فتحة عدسة أوسع منها، فيجب أن يتم فتح العدسة على أقصى اتساع لها، ثم تضييقها حتى نصل إلى القيمة المطلوبة.[2-p.287]

وفي بعض الكاميرات الرقمية، يتم التحكم في فتحة العدسة الكترونياً من الكاميرا ذاتها، وليس ميكانيكياً من جسم العدسة. وفي بعض الأنواع تتم حركة تغيير فتحة العدسة في خطوات متقطعة steps، وليس بشكل ناعم مستمر، مما يعتبر عيباً حقيقياً عند تغيير فتحة العدسة أثناء تصوير اللقطة.[1-pp.152-153]

٥. ١. أفضل فتحة عدسة للتصوير: "Optimal Range of "f – stops

كل عدسة يكون لها نطاق أمثل لقيم f–stop التي تعطي أقصى حدة في الصورة sharpest image، وهذا النطاق يبدأ عادة من فتحتي عدسة أضيق من أوسع فتحة، ويصل عادة إلى f/11. وبعبارة أخرى، فإن أفضل قيم f–stop يمكن استخدامها للحصول على أقصى حدة ممكنة في الصورة، هي القيم التي تتوسط نطاق الفتحات التي تسمح بها العدسة. وأي قيمة أعلى أو أسفل هذا النطاق، ستؤدي إلى إنتاج صور ذات حدة منخفضة نسبياً. فعلى الرغم من أن تضييق فتحة العدسة يؤدي إلى زيادة عمق الميدان في الصورة، وبالتالي زيادة حدة تفاصيلها، إلاَّ أنه إذا ضاقت فتحة العدسة عن f/11 أو f/16 على الأكثر، فستقل حدة الصورة بسبب حيود الضوء diffraction حول فتحة العدسة الضيقة.[8-p.14] أما في حالة الفتحات الواسعة جداً، فيقل حيود الضوء، ولكن تؤدي الانحرافات غير المصححة aberration إلى التأثير بشكل سلبي على أداء العدسة.[6-p.80]

٦. سرعة العدسة: Lens Speed

يطلق على أقصى كمية ضوء منعكسة من الموضوع المصور تستطيع العدسة إنفاذها وإسقاطها على الفيلم أو المستشعر الرقمي اسم سرعة العدسة lens speed.[1-p.151] وتتحدد سرعة العدسة بأوسع فتحة يمكنها التصوير بها، وهي التي يتم التعبير عنها بأقل قيمة f–stop مكتوبة على العدسة، وبالتالي فكلما كان أقل رقم f–stop تسمح به العدسة أصغر، كلما تم وصف هذه العدسة بأنها أسرع fast lens، فعلى سبيل المثال: فإن العدسة f/1.9 أسرع من العدسة f/3.5.[8-p.13] أي أنه كلما زادت سرعة العدسة، كلما زادت كمية الضوء التي تمر من خلالها، وبالتالي أمكن استخدامها للتصوير في ظروف إضاءة منخفضة. وعادة تعتبر العدسة f/2، والتي يكون فيها قطر فتحة العدسة، يساوي نصف البعد البؤري لها، من العدسات السريعة.[1-p.152, 165] ونظرياً فإن أوسع فتحة عدسة يمكن توافرها هي f/1، إلاَّ أنه في بعض الحالات توجد عدسات ذات سرعات أعلى، مثل العدسة Zeiss f/0.7.[5-p.119]٢

والعدسات ذات البعد البؤري الثابت prime lenses غالباً ما تكون أسرع من العدسات متغيرة البعد البؤري zoom lenses وذلك بسبب احتواء الأخيرة على عدد أكبر من القطع البصرية.[5-p.119] وغالباً ما تقوم الشركات المصنعة للعدسات بكتابة الرقم المعبر عن سرعة العدسة – الفتحة النسبية الأكبر – على مقدمة العدسة، إلى جانب البعد البؤري لها.[1-p.152] كما يظهر في شكل (٢).

https://www.zeiss.com/consumer-products/int/photography/batis/batis-2818.html

شكل (٢) الرقم المعبر عن سرعة العدسة مدون في مقدمتها

ونظراً لأن قيمة f–stop تعتمد على قسمة البعد البؤري للعدسة على قطر فتحة العدسة، فكلما كان البعد البؤري للعدسة أطول، كلما كانت قيمة f–stop لها أكبر، ولذلك تميل العدسات طويلة البعد البؤري telephoto إلى أن تكون أبطأ من العدسات قصيرة البعد البؤري wide-angle.[8-p.13]

ومن الجدير بالذكر، أن زيادة سرعة العدسة لا تعني بالضرورة أن كفاءة أدائها البصري أعلى من العدسات الأبطأ منها، وإنما هي تعني فقط أنها تتيح التصوير في ظروف إضاءة أقل. فعلى سبيل المثال: فإن شركة cooke تنتج عدسات من طراز mini S4/i تكون سرعتها أبطأ بمقدار فتحة عدسة واحدة عن عدسات نفس الشركة من طراز S4/i، حيث تكون أوسع فتحة عدسة في الأخيرة هي T/2، أما أوسع فتحة عدسة في الأولى هي T/2.8. إلاَّ أنه بالرغم من ذلك فإن كفاءة الأداء البصري وقوة التحديد لكلا الطرازين متطابقة، بل يتميز طراز mini أيضاً بأنه أصغر حجماً وأخف وزناً.[10-p.154] ولذلك فإذا كانت العدسة لن تستخدم في ظروف إضاءة منخفضة تستلزم فتحة عدسة واسعة جداً، فلا يجب أن نضع في الاعتبار معيار السرعة العالية عند اختيار العدسة المستخدمة في التصوير.[12-p.54]

٦. ١. سرعة العدسة متغيرة البعد البؤري: Zoom Lens Speed

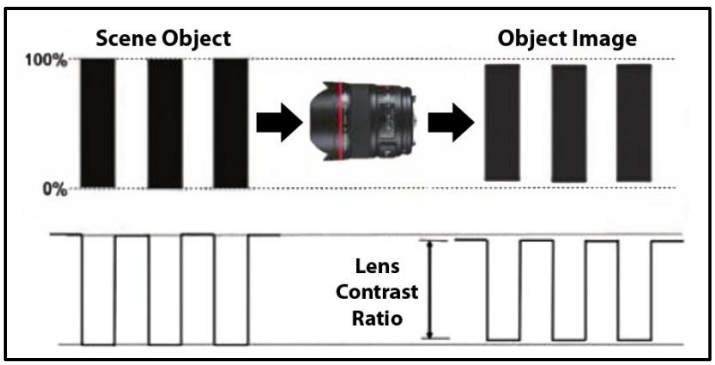
نظراً لأن قيمة f–stop تعتمد على قسمة البعد البؤري للعدسة على قطر فتحة العدسة، ففي حالة العدسات متغيرة البعد البؤري، سيكون لها رقمين f–stop يعبران عن سرعة العدسة، إحداهما ناتج عن قسمة أقصر بعد بؤري لها، على قطر أوسع فتحة، والآخر ناتج عن قسمة أطول بعد بؤري لها، على قطر أوسع فتحة، وذلك نظراً لأن قطر أوسع فتحة سيكون ثابتاً في الحالتين. فعلى سبيل المثال: فإن العدسة Fujinon 20x ذات مدى البعد البؤري ٦،٤-١٢٨مم، تكون سرعتها هي f/1.4 في المدى بين ٦،٤مم إلى ٩٠مم، أما بعد ذلك فتقل سرعتها إلى f/2. فإذا قمنا بالتصوير بهذه العدسة ببعد بؤري

٥٠مم مع f/1.4، ثم تم عمل zoom in أثناء التصوير لتصل إلى أطول بعد بؤري للعدسة ١٢٨مم، فسوف يقل التعريض في اللقطة بما يعادل فتحة عدسة كاملة أثناء عرض اللقطة على الشاشة. أما عند استخدام نفس العدسة عند قيمة f/2 أو أضيق، فلن تكون هناك أي مشكلة عند تغيير البعد البؤري في الاتجاه الأطول، لأن العدسة تقوم بتعويض زيادة البعد البؤري، بزيادة اتساع فتحة العدسة؛ حتى تحافظ على نفس قيمة f–stop، فلا يتغير التعريض أثناء التصوير. وبعض العدسات تشتمل على خاصية تمنع العدسة من إتمام حركة تغيير البعد البؤري zooming، إلى المدى الذي يؤدي إلى تغيير قيمة f–stop.[1-p.166] وبعض العدسات متغيرة البعد البؤري ذات الجودة العالية، لا تتغير فيها قيمة f–stop الخاصة بأوسع فتحة، عند تغيير البعد البؤري.[5-p.119]

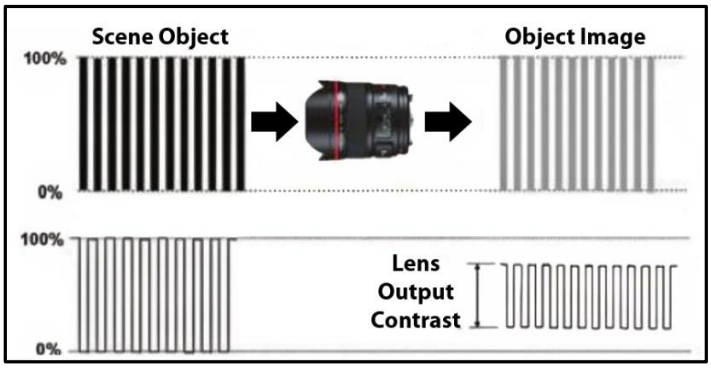
٧. تباين العدسة: Lens Contrast

إن وظيفة العدسة هي نقل transfer الأشعة الضوئية المنعكسة من أجزاء المشهد المصور ثلاثي الأبعاد، لتسقطها على مستشعر الكاميرا ثنائي الأبعاد، فتصنع تمثيلاً بصرياً للمشهد الذي يتم تصويره. إلاَّ أنه عندما يتم تصوير أي موضوع بواسطة عدسة ما، فإن التباين الذي سيظهر به هذا الموضوع في الصورة التي كونتها العدسة image contrast، يكون أقل من التباين الأصلي بين أجزاء هذا الموضوع في الحقيقة scene contrast، والسبب في ذلك هو أن نفاذية العدسة للضوء لا تكون مثالية تماماً، بمعنى أنها لا تسمح بمرور ١٠٠% من الضوء الساقط عليها، وبالتالي فإن الأجزاء شديدة السطوع في المشهد المصور، البيضاء على سبيل المثال، ستظهر في الصورة بدرجة أقل من السطوع. أما الأجزاء الداكنة جدا من المشهد المصور، السوداء على سبيل المثال، فإنها تتلوث بقدر من الضوء، بفعل التوهج flare، وكذلك بسبب الانعكاسات الداخلية على القطع الزجاجية التي تتكون منها العدسة. الأمر الذي يؤدي إلى أن تكون المحصلة النهائية هي نقص التباين في الصورة التي تكونت بهذه العدسة، عن التباين الأصلي للموضوع المصور.[10-p.112]

ويزيد هذا الفقد في التباين في الصورة التي تكونها العدسة، كلما احتوى المشهد الذي يتم تصويره على تفاصيل دقيقة، فعلى سبيل المثال: إذا كان الموضوع الذي يتم تصويره هو عبارة عن لوحة اختبار تحتوي على عدد من الخطوط البيضاء والسوداء، فكلما كانت الخطوط داخل اللوحة، عريضة السمك، وقليلة العدد، كما يظهر في شكل (٣)، كلما كان الفقد في التباين أقل، بمعنى أن العدسة تستطيع نقل transfer التباين الأصلي للموضوع، بدرجة كبيرة من الدقة إلى الصورة. أما إذا كانت الخطوط البيضاء والسوداء داخل لوحة الاختبار التي يتم تصويرها، أقل سمكاً، وأكثر عدداً، كما يظهر في شكل (٤)، فسيزيد الفقد في التباين في الصورة التي تنقلها العدسة، بمعنى أن التباين في الصورة التي كونتها العدسة، سيكون أقل كثيراً من التباين الأصلي بين خطوط اللوحة المصورة. وكلما زاد عدد الخطوط في اللوحة، وزادت دقتها، كلما قل التباين في الصورة الناتجة بدرجة أكبر.[10-pp.112-113]



شكل (٣) تزيد قدرة العدسة على نقل التباين عند زيادة سمك الخطوط وقلة عددها

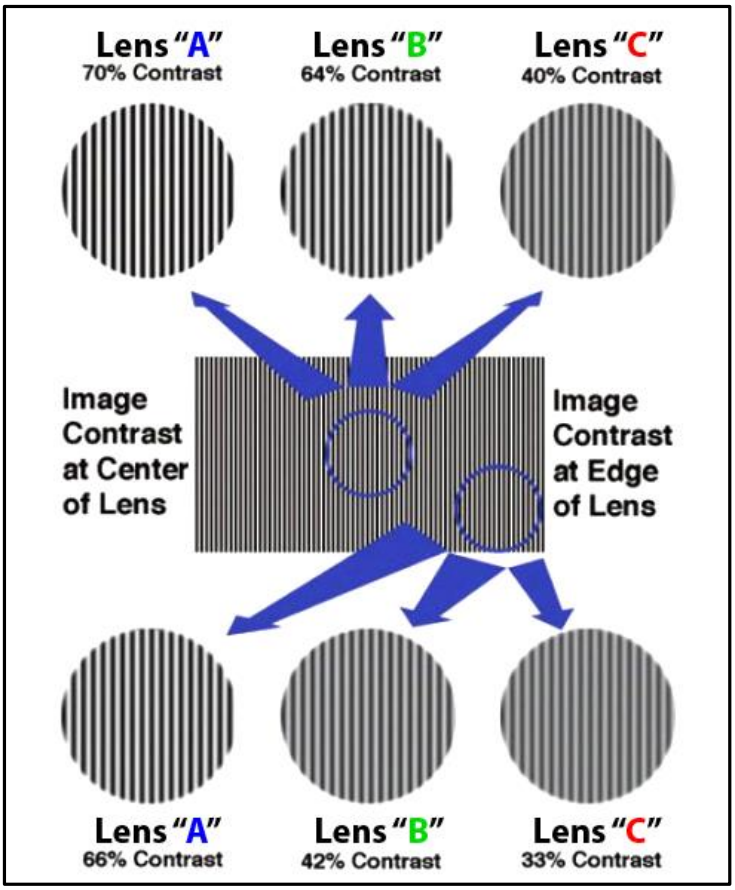


شكل (٤) تقل قدرة العدسة على نقل التباين عند دقة سمك الخطوط وزيادة عددها

وتظهر العلاقة السابقة بين زيادة عدد الخطوط ودقة سمكها، وبين نقص قدرة العدسة على نقل التباين، بوضوح في صورة السور الخشبي المعروضة في شكل (٥)، حيث نلاحظ أنه يسهل التمييز بين الألواح الخشبية الموجودة في الجزء الأيسر من الصورة، نظراً لوجود تباين contrast كبير بين درجات سطوع brightness الألواح، وبين الفراغات الداكنة بينها. بينما كلما اتجهنا ناحية اليمين، وحدث تضاغط في عرض الألواح الخشبية، وتقلصت الفراغات الفاصلة بينها بفعل المنظور perspective، كلما ازدادت صعوبة التمييز بين الألواح الخشبية وبعضها، بسبب نقص التباين بين درجات سطوع الألواح، وبين درجات سطوع الفراغات الفاصلة بينها. أي أنه كلما كانت الخطوط في الموضوع المصور أقل سمكاً، والمسافات بينها أكثر تقارباً، كلما قل التباين بينها في الصورة، وازدادت صعوبة تمييزها.[10-p.111]

شكل (٥) كلَّما قل سمك الألواح الخشبية وتقلصت المسافات بينها، كلَّما قل التباين في الصورة

وإلى جانب تأثير زيادة عدد الخطوط التي يتم تصويرها على قدرة العدسة على نقل التباين إلى الصورة، فإن أداء العدسة يختلف أيضاً بين أجزائها؛ حيث إن جميع العدسات تكون في أفضل أداء بصري لها عند مركزها، سواء من حيث قوة التحديد، أو الحدة، أو التباين، وكلما ابتعدنا عن مركز العدسة، كلما تراجع أداء العدسة، ليصل إلى أسوأ قدر ممكن عند أطرافها.[15] فكما يظهر في شكل (٦) نلاحظ مقارنة بين الأداء البصري لثلاث عدسات مختلفة، عند المركز وعند الأطراف.
(10-p.113)

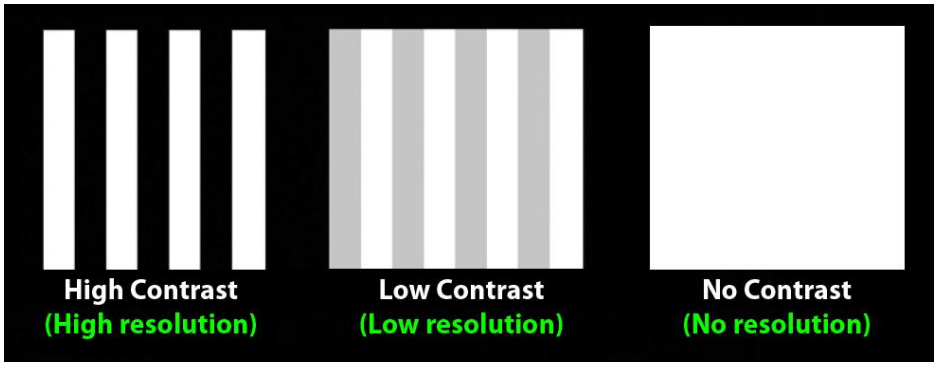


شكل (٦) يقل الأداء البصري للعدسة كلما ابتعدنا عن مركزها

٨. قوة تحديد العدسة: Lens Resolution

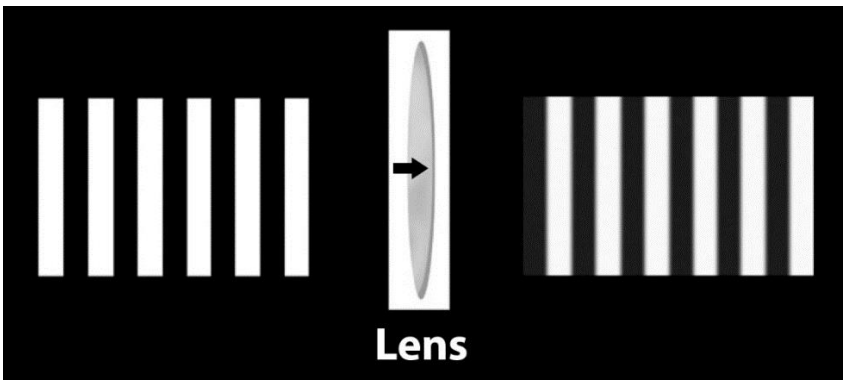
تعرف قوة تحديد العدسة resolution بأنها مقياس لقدرة العدسة على إعادة إنتاج التفاصيل الدقيقة جداً في الموضوع الذي يتم تصويره. والواقع أن قدرة العدسة على تمييز هذه التفاصيل الدقيقة، تكون مرهونة بمدى قدرتها على ترجمة التباين بين هذه التفاصيل، حتى يمكن تمييزها في الصورة. فالواقع أنه كلما قلت قدرة العدسة على نقل تباين الموضوع الأصلي إلى الصورة، كلما نقصت قدرتها على تمييز التفاصيل الدقيقة في هذا الموضوع، وبالتالي تقل قوة تحديدها.[15]

ولذلك فنحن نقيس قوة تحديد العدسة resolution، من خلال قياس قدرتها على نقل التباين contrast، فمفهوم التباين وقوة التحديد بالنسبة للعدسات، مرتبطان ببعضهما ارتباطاً وثيقاً؛ فبدون تباين لن تكون هناك قوة تحديد. فعلى سبيل المثال: إذا كان لدينا خطاً أبيضاً على ورقة بيضاء، فلن نستطيع رؤية أو تحديد أي معالم لهذا الخط؛ نظراً لعدم وجود تباين بينه وبين الخلفية، كما يظهر في شكل (٧).[5-pp.125-130]



شكل (٧) العلاقة بين قوة تحديد العدسة resolution وقدرتها على نقل التباين contrast

وكلما زادت دقة الخطوط، أي زاد عددها في المليمتر الواحد، كلما كانت رؤيتها حتى بالعين المجردة أكثر صعوبة، فيمكننا تمييز الخطوط البيضاء عن تلك السوداء إذا نظرنا من مسافة قريبة إلى لوحة الاختبار، وكلما ابتعدنا عن اللوحة، كلما زادت صعوبة تمييز الخطوط عن بعضها، حيث تتحول الخطوط البيضاء والسوداء إلى مساحة رمادية مصمتة، لا يمكن تمييز أي تفاصيل داخلها، وفي هذه اللحظة التي نفقد فيها التباين بين الخطوط، نفقد أيضاً قوة التحديد. ونفس الأمر يحدث عندما نقوم بتصوير لوحة الاختبار ذات الخطوط الدقيقة باستخدام العدسة، فإن نقص التباين يؤدي إلى أن تكون الخطوط السوداء أقل إعتاماً، وتكون الخطوط البيضاء أقل سطوعاً، وقد يحدث أحياناً أن تفقد الخطوط حدتها sharpness، فتظهر في الصورة وكأنها غير مضبوطة الوضوح out of focus، كما يظهر في شكل (٨).[5-pp.125-130]

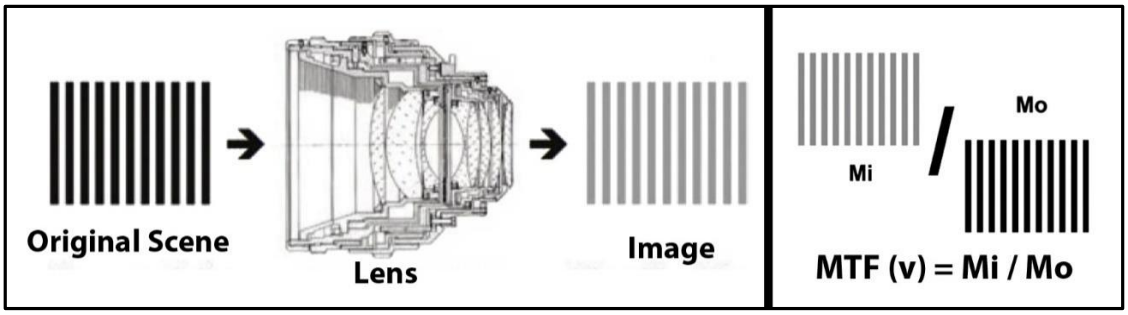


شكل (٨) يحدث فقد في التباين وفي الحدة عند مرور الضوء من العدسة

٩. كيفية تقييم تباين العدسة وقوة تحديدها:

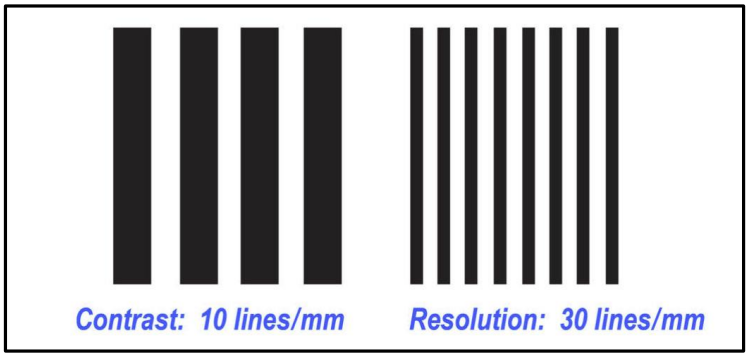
يتم قياس كلاً من قدرة العدسة على نقل التباين، وكذلك قوة تحديدها، من خلال تصوير لوحات اختبار تحتوي على مجموعة من الخطوط البيضاء والسوداء، بأعداد مختلفة في المليمتر الواحد، فكلما زادت قوة تحديد العدسة، كلما زادت قدرتها على تمييز الخطوط الدقيقة جداً، بحيث يكون التباين مرتفع بين الخطوط البيضاء والسوداء في الصورة التي كونتها العدسة.[5-pp.125-130] وعن طريق قياس النسبة بين أقصى كمية ضوء تنعكس من الموضوع المصور L_{max}؛ وهي تلك المنعكسة من الخطوط البيضاء في لوحة الاختبار التي يتم تصويرها، وبين أقل كمية ضوء تنعكس من الموضوع المصور L_{min}، وهي تلك المنعكسة من الخطوط السوداء في اللوحة، نستطيع تحديد التباين contrast في المشهد الأصلي الذي تم تصويره وهو لوحة الاختبار، باستخدام المعادلة التالية: $\mathbf{M_o = L_{max} - L_{min} / L_{max} + L_{min}}$، حيث يشير الرمز M_o في المعادلة إلى تباين لوحة الاختبار المصورة original scene modulation.[10-p.1112] وبنفس الكيفية السابقة نستطيع أن نحسب التباين بين أقصى كمية ضوء منعكس، وأقل كمية ضوء منعكس، من الخطوط البيضاء والسوداء، في صورة لوحة الاختبار التي كونتها العدسة، ونرمز للتباين في الصورة بالرمز M_i. ويتم بعد ذلك حساب النسبة بين التباين الأصلي والتباين في صورة العدسة باستخدام قيمة رياضية يطلق عليها اسم: modulation transfer function-MTF.[10-pp.112-113] وتأتي هذه التسمية للتعبير عن التغير modulation الذي يحدث للتباين في الصورة التي كونتها العدسة، عن التباين الأصلي للمشهد المصور، أثناء نقلها transfer لأشعة الضوء المنعكسة من أجزاء المشهد.[5-pp.125-130] وبعبارة أخرى هو النسبة بين التباين في الصورة وبين التباين في المشهد الأصلي.[10-p.114] ويتم قياس قيمة MTF للعدسة، عند تصوير لوحة اختبار تحتوي على عدد معين (v) من الخطوط في المليمتر الواحد، بحساب النسبة بين التباين الناتج في الصورة التي كونتها العدسة M_i، وبين التباين الأصلي للخطوط البيضاء والسوداء التي تحتوي عليها لوحة الاختبار التي تم تصويرها M_o، من خلال المعادلة التالية: $\mathbf{MTF(v) = M_i / M_o}$. كما يظهر في شكل (٩) وبذلك نكون قد حصلنا على نسبة مئوية

محددة تعبر عن قدرة العدسة على نقل التباين من المشاهد الأصلية إلى الصورة.[10-pp.112-114] وتستخدم قيمة MTF في تقييم الأداء البصري للعدسة، من حيث قوة التحديد، وقدرتها على نقل التباين.[15]



شكل (٩) كيفية تحديد قيمة MTF للعدسة

وفي حين أن هناك العديد يعتبرون أن زيادة قوة تحديد العدسة هو العامل الأهم في تقييم جودة العدسة، إلاَّ أن هناك عدد غير قليل من مهندسي البصريات يعتبرون أن التباين العالي للعدسة هو الذي يؤدي إلى زيادة حدة الصور التي تنتجها sharpness. ويتم قياس تباين العدسة باختبار أدائها في تصوير مجموعات من الخطوط الأكثر سمكاً وتباعداً (١٠ خطوط لكل ملليمتر)، كما يظهر في شكل (١٠)، وتتكرر هذه المجموعات من الخطوط على طول المسافة من مركز العدسة إلى أطرافها. وتختبر بذلك قدرة العدسة على تكوين فواصل ثابتة وواضحة ومتسقة بين كل خط والخط المجاور له. أما قوة تحديد العدسة فيتم قياسها باختبار أداء العدسة في تصوير مجموعات متكررة أيضاً من الخطوط، ولكن بسمك أقل وأكثر تقارباً (٣٠ خط لكل ملليمتر)، كما يظهر في شكل (١٠)، فتختبر بذلك قدرة العدسة على ترجمة التفاصيل الدقيقة جداً في المشاهد الحقيقية التي سيتم تصويرها بهذه العدسة. وعندما تصل العدسة إلى الحدود القصوى لقدرتها التحليلية، فلن يمكن تمييز الخطوط عن بعضها، وستبدو بشكل ضبابي غير حاد. ويتم تقييم كل من التباين وقوة التحديد للعدسة بشكل منفصل، ثم يتم دمجهم في مخطط واحد هو الذي يتم نشره من قبل الشركة المصنعة للعدسة.[15]

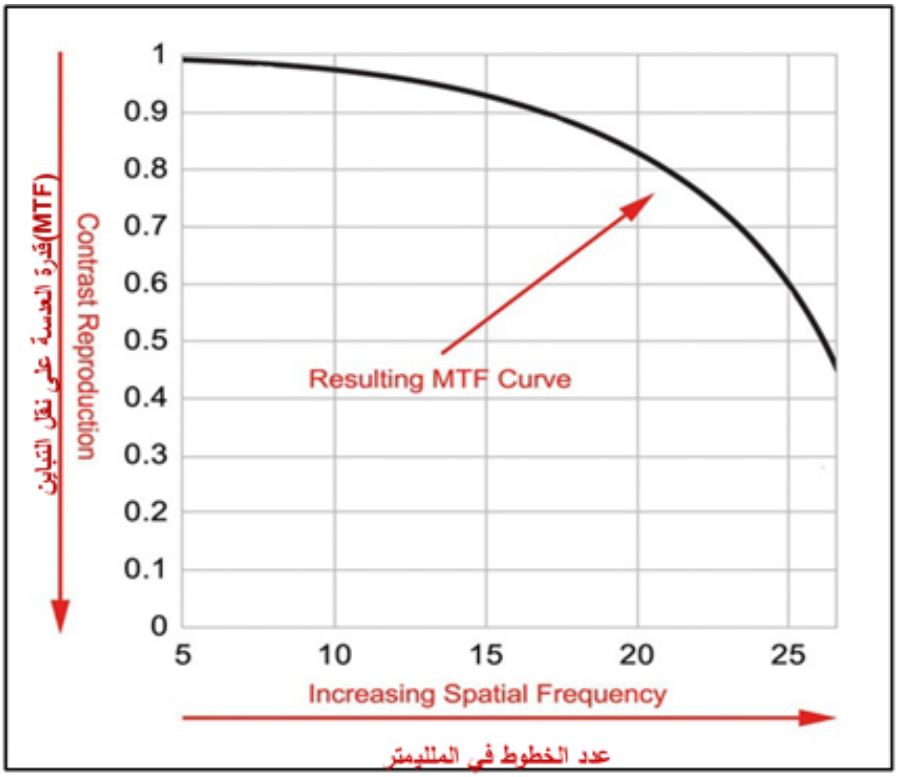


شكل (١٠) يستخدم عدد أكبر من الخطوط لتقييم قوة تحديد العدسة

١٠. مخطط MTF لتقييم تباين العدسة وقوة تحديدها:

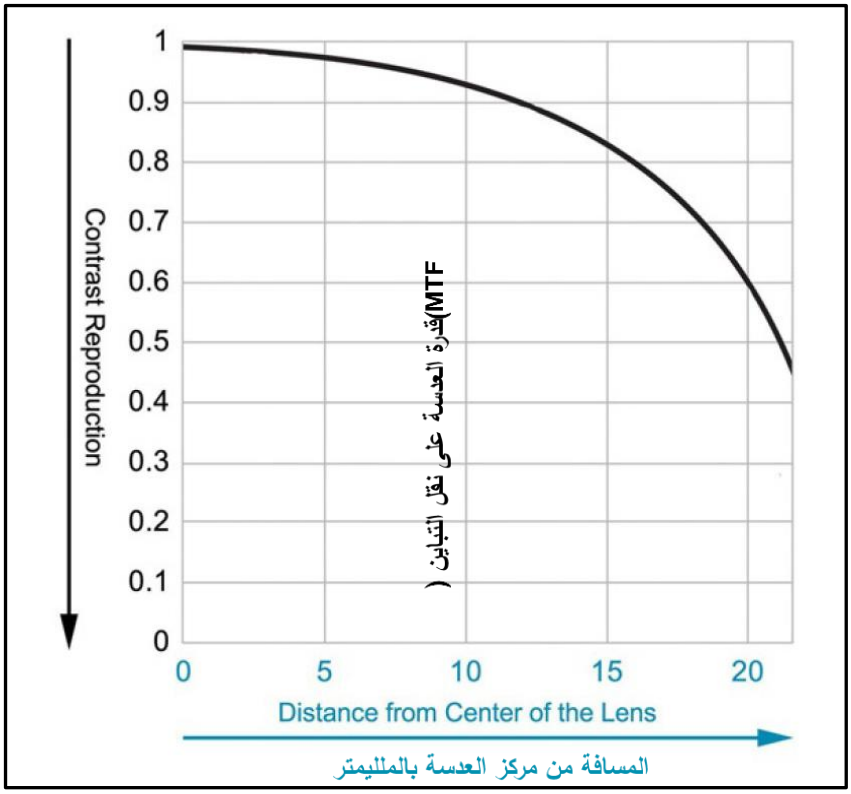
لرسم صورة متكاملة عن خصائص نقل التباين لأي عدسة، يتم رسم مخطط لتمثيل قيم MTF الخاصة بهذه العدسة.[10-p.114] ويوجد نوعين رئيسيين من المخططات المستخدمة لهذا الغرض، وكلاهما يمنحان معلومات مهمة جداً عن الأداء البصري للعدسة. النوع الأول: يتم فيه قياس قدرة العدسة على نقل التباين، كلَّما زاد عدد الخطوط المصورة في الملليمتر. فكما يظهر في شكل (١١)، يعبر المحور الأفقي للمخطط عن عدد الخطوط المصورة في الملليمتر الواحد؛ ويسمى هذا المحور باسم spatial frequency، تعبيراً عن تردد أو تكرار عدد الخطوط في كل ملليمتر. فكلما اتجهنا ناحية اليمين، يزيد هذا التردد، ويكون عدد الخطوط أكبر في كل ملليمتر. أما المحور الرأسي، فيعبر عن النسبة المئوية لقدرة العدسة على

نقل التباين، بحيث تبدأ من الصفر في أسفل المحور، وتتدرج في الزيادة كلما اتجهنا لأعلى، لتصل إلى ١٠٠% عند قمة المحور. ونظراً لأن قدرة العدسة على نقل التباين، تقل كلما زاد عدد الخطوط في المليمتر الواحد، فمن البديهي أن يبدأ المنحنى المعبر عن قيم MTF لهذه العدسة، في أقصى ارتفاع له عند اليسار، ثم يأخذ ارتفاعه في الانخفاض تدريجياً، كلما اتجهنا ناحية اليمين، أي كلما زاد عدد الخطوط المصورة. وبذلك فإن هذا المخطط يعطينا صورة كاملة عن أداء العدسة في نقل التباين، عند كل قيمة من أعداد الخطوط في المليمتر الواحد.(5-pp.125-130)



شكل (١١) مخطط MTF لقياس قدرة العدسة على نقل التباين، كلما زاد عدد الخطوط في المليمتر الواحد

أما النوع الثاني من مخططات MTF للعدسة فيتم فيه قياس قدرة العدسة على نقل التباين لعدد ثابت من الخطوط في المليمتر، ولكن على مدى قطر العدسة من المركز إلى الأطراف. فكما يظهر في شكل (١٢)، يعبر المحور الرأسي، كما هو الحال في النوع الأول من مخططات MTF، عن النسبة المئوية لقدرة العدسة على نقل التباين، بحيث تبدأ من الصفر في أسفل المحور، وتتدرج في الزيادة كلما اتجهنا لأعلى، لتصل إلى ١٠٠% عند قمة المحور. أما المحور الأفقي فيعبر عن المسافة بالمليمتر من مركز العدسة، بحيث يعبر الرقم صفر في أقصى اليسار عن مركز العدسة، وكلما اتجهنا ناحية اليمين، تزيد المسافة بالمليمتر بعداً عن المركز في اتجاه حافة العدسة. ونظراً لأن أداء العدسة في نقل التباين، يقل كلما ابتعدنا عن مركزها، فإن هذا المنحنى أيضاً يبدأ في أقصى ارتفاع له ناحية اليسار، عند مركز العدسة، وكلما اتجهنا ناحية اليمين في اتجاه أطراف العدسة، يأخذ ارتفاعه في الانخفاض.(5-pp.125-130)



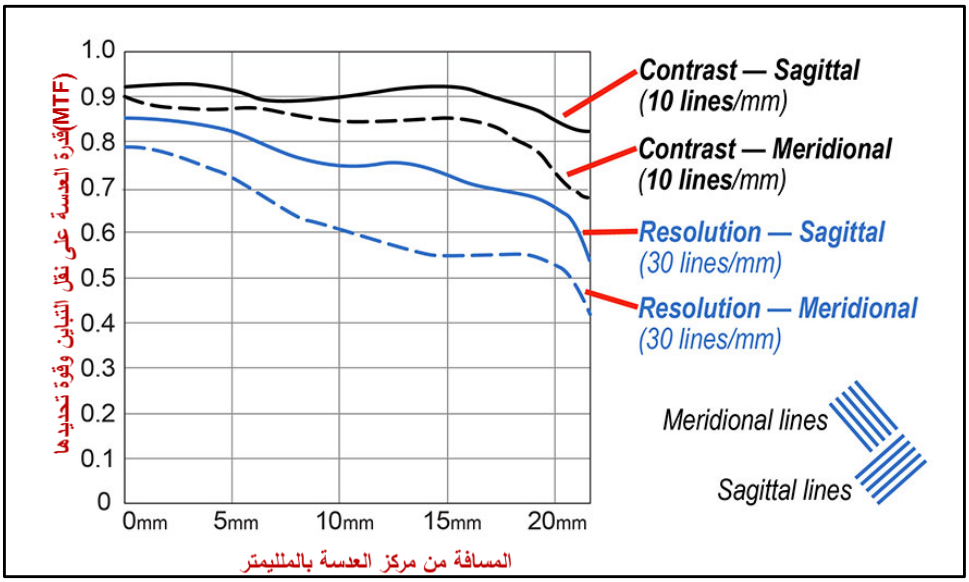
شكل (١٢) مخطط MTF لقياس قدرة العدسة على نقل التباين، كلما اتجهنا ناحية أطرافها

ونظراً لأن كلاً من نوعي مخططات MTF السابقين، يقدم معلومات مهمة جداً عن أداء العدسة في نقل التباين، ولكن من جانب واحد فقط؛ إما مع زيادة عدد الخطوط، أو كلما اتجهنا ناحية أطراف العدسة مبتعدين عن مركزها، فتحاول الشركات المصنعة للعدسات أن تجمع كلا نوعي المعلومات السابقة في مخطط واحد فقط، بحيث يعطي صورة متكاملة عن أداء العدسة، إلاَّ أنه يكون أكثر ازدحاماً بالمنحنيات.(5-pp.125-130)

فكما يظهر في شكل (١٣)، نلاحظ مخطط MTF لإحدى عدسات شركة كانون، حيث يعبر المحور الأفقي عن المسافة بالملليمتر من مركز العدسة، أما المحور الرأسي فيعبر عن قدرة العدسة على نقل التباين، وقوة تحديدها. ويعبر المحنى الأسود المتصل عن أداء العدسة من مركزها إلى أطرافها، عند تصوير ١٠ خطوط متوازية في الملليمتر الواحد، بحيث تميل هذه الخطوط بزاوية معينة sagittal lines، أما المنحنى الأسود المتقطع، فيعبر عن أداء العدسة من مركزها إلى أطرافها، عند تصوير ١٠ خطوط متوازية في الملليمتر الواحد أيضاً، ولكن تميل هذه الخطوط بزاوية متعامدة على الخطوط السابقة meridional lines. ويعبر المحنى الأزرق المتصل، عن أداء العدسة من المركز إلى الأطراف، عند تصوير ٣٠ خطاً متوازياً في الملليمتر الواحد، بحيث تميل هذه الخطوط بزاوية معينة sagittal، بينما يعبر المنحنى الأزرق المتقطع عن أداء العدسة عند تصوير ٣٠ خطاً متوازياً في الملليمتر الواحد، ولكن مع زاوية ميل متعامدة على الخطوط السابقة meridional.

وجميع المنحنيات السابقة تم حسابها عند التصوير بأوسع فتحة تسمح بها هذه العدسة؛ ونلاحظ من المخطط أن أداء العدسة يقل كلما زاد عدد الخطوط المصورة في الملليمتر الواحد، حيث نجد أن المنحنيات الزرقاء (٣٠ خط في الملليمتر)، أقل ارتفاعاً من المنحنيات السوداء (١٠ خطوط في الملليمتر). وكذلك نجد أن أداء العدسة يصبح أقل كفاءة، كلما ابتعدنا عن مركزها، حيث نلاحظ أن جميع المنحنيات تأخذ في الانخفاض كلما اتجهنا ناحية اليمين. ونلاحظ أيضاً أن أداء العدسة يتباين

في الكفاءة عند اختلاف زاوية ميل الخطوط، بالرغم من تساوي عددها في الملليمتر الواحد، فنجد أن أداء العدسة عند تصوير الخطوط المائلة بزاوية meridional، أقل في الكفاءة من أدائها عند تصوير الخطوط المائلة بالزاوية العكسية sagittal، حيث نجد أن المنحنى المتقطع، سواء الأزرق أو الأسود، أقل ارتفاعاً من المحنى المتصل.



شكل (١٣) مخطط MTF يقدم معلومات كاملة عن أداء العدسة من حيث التباين وقوة التحديد

١٠. ١. اعتبارات مهمة عند تقييم العدسة من خلال قراءة مخطط MTF:

- نظرياً فإن العدسة المثالية، هي تلك التي تكون فيها جميع المنحنيات الأربعة، الزرقاء والسوداء، والمتصلة والمتقطعة، منطبقة على بعضها تماماً، بحيث تكون عبارة عن خط أفقي مستقيم، يبدأ من أعلى نقطة في المحور الرأسي للمخطط، وهي النسبة ١٠٠%، أو القيمة ١، ويمتد يميناً في خط مستقيم موازي للمحور الأفقي للمخطط. إلاَّ أن ذلك مستحيل عملياً، وغير متحقق على الإطلاق في أي عدسة من العدسات التي تم صنعها، حتى الآن على الأقل.
- كلما كان ارتفاع المنحنيات داخل المخطط أعلى، كلما كان الأداء البصري للعدسة أفضل، سواء في نقلها للتباين، أو في قوة تحديدها.
- من الطبيعي جداً أن تنحدر جميع المنحنيات داخل المخطط، كلما اتجهنا ناحية اليمين، بسبب ضعف الأداء البصري للعدسة كلما اتجهنا ناحية أطرافها، وبخاصة في العدسات واسعة الزاوية wide-angle، ولذلك فكلما كانت درجة انحدار المنحنى أقل سرعة، أثناء اتجاهه ناحية اليمين، فإن ذلك يشير إلى أن أداء هذه العدسة أفضل في نقلها للتباين، وفي قوة تحديدها عند الأطراف.[15]
- كلما اقترب المنحنى المتصل من المحنى المتقطع، فإن ذلك يعني أن أداء العدسة متقارب لكلا نوعي الخطوط المائلة بزوايا مختلفة، فإن ذلك يجعل تأثير bokeh في صور هذه العدسة أفضل.[5-pp.125-130] وأيضاً يكون المظهر الضبابي blur للخلفية أفضل عندما تكون خارج الوضوح out of focus.[15]
- مخطط MTF الذي تقدمه الشركة للعدسة، يتم قياسه عند قيمة فتحة عدسة محددة (أوسع فتحة في حالة عدسات شركة كانون)، وبالتالي فإنه قد لا يعطي صورة كاملة عن أداء العدسة عند استخدام فتحات عدسة أخرى ضيقة، مثل f/22 على سبيل المثال، والتي قد يتأثر فيها أداء العدسة بدرجة كبيرة بسبب حيود الضوء diffraction.[15]

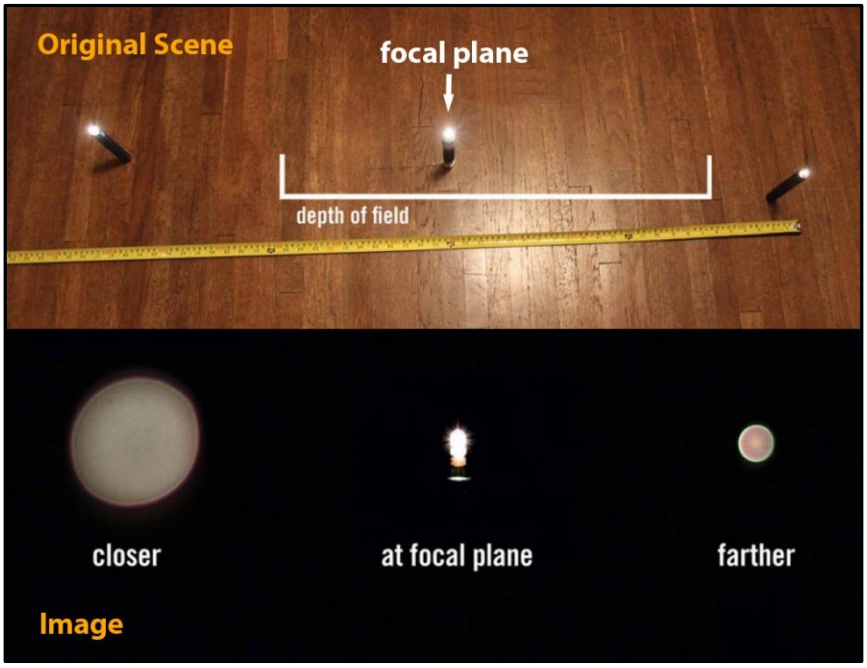
- مخطط MTF يقدم معلومات قيمة حول قوة تحديد العدسة، ومدى كفاءتها في نقل التباين، ولكنه بالرغم من ذلك لا يعطينا معلومات كافية عن خصائص العدسة الأخرى، والتي تؤثر في جودة صورها، مثل الانحرافات البصرية optical aberration، سواء الخطية أو اللونية، وكذلك التوهج flare.[15]
- يتم قياس مخطط MTF للعدسة عند ضبط وضوحها على مسافة واحدة فقط one focus distance، الأمر الذي قد يؤدي إلى انخفاض كفاءة أدائها عند التصوير من مسافات أقرب من تلك التي تم تصميم المخطط بناء عليها.[15]
- يتم قياس مخطط MTF للعدسات متغيرة البعد البؤري، فقط عند أقصر وأطول بعد بؤري لها، ولا يتم اختبار أدائها عند باقي الأبعاد البؤرية التي تتيحها العدسة.[15]
- مخطط MTF الذي تقدمه الشركة، يتم قياسه على عدسه نموذجية شبه مثالية، ولذلك قد تكون هناك اختلافات في أداء باقي العدسات التي يتم إنتاجها من نفس هذه العدسة، وذلك للعديد من الاعتبارات، بعضها بسبب تفاوتات في ظروف التصنيع، وبعضها الآخر بسبب الاهتزازات أو الصدمات التي قد تتعرض لها عدسة بعينها دون أخرى.[15]
- لا يصح إجراء مقارنات بين مخططات MTF لعدسات مختلفة في بعدها البؤري، وذلك لأن المنحنيات المعبرة عن العدسات واسعة البعد البؤري ستكون أكثر انحداراً كلما اتجهنا ناحية اليمين، على العكس من العدسات طويلة البعد البؤري telephoto، والتي تكون درجة انحدار منحنياتها أقل. ولذلك يجب عقد المقارنات فقط بين مخططات لعدسات متماثلة في بعدها البؤري.[15]
- لا يجب مقارنة مخططات MTF لعدسات من إنتاج شركات مختلفة، إلاَّ بعد معرفة المعايير التي تتبعها كل شركة في قياس واختبار عدساتها، لأنه قد تكون هناك اختلافات مهمة بين شركة وأخرى في أنواع لوحات الاختبار التي يتم تصويرها، وسمك الخطوط بها، وغيرها من العوامل التي قد تجعل مقارنة مخططات الشركات المختلفة غير مجدية إلى حد كبير.[15]

ومن الجدير بالذكر، أن قيمة MTF لا تستخدم فقط في تقييم كفاءة الأداء البصري في نقل التباين وقوة التحديد الخاصة بالعدسة فقط، وإنما تستخدم أيضاً في تقييم كل مكون من مكونات نظام إنتاج الصورة الرقمية، مثل: الكاميرا، وشاشة العرض، وجهاز الطباعة وغيرها. كما أنها تستخدم أيضاً لتقييم كفاءة التباين وقوة التحديد الإجمالية لنظام إنتاج الصورة؛ عن طريق حساب متوسط النسب المئوية لقيم MTF الخاصة بكل جهاز أو مكون من مكونات النظام، وذلك بضرب هذه النسب المئوية ببعضها لنحصل على النسبة الإجمالية لقيمة MTF المعبرة عن النظام بأكمله. فكما يظهر في شكل (١٤) نجد أن كفاءة العدسة في نقل تباين المشهد الأصلي كانت ٦٠% عند مركز العدسة، وكانت كفاءة الكاميرا في ترجمة التباين هي ٧٥% من الصورة القادمة من العدسة، وكفاءة جهاز التسجيل هي ٩٩% من صورة الكاميرا، وأخيراً كفاءة جهاز العرض عالي الحدة هي ٦٠% من الصورة التي يعرضها، وبالتالي كانت قيمة MTF الإجمالية للنظام تعادل ٢٧%.[10-p.112, 118)

شكل (١٤) قيمة MTF الإجمالية لنظام إنتاج الصورة هي متوسط قيم MTF لكل مكونات النظام

١١. دائرة التشوش للعدسة: Circle of Confusion - CoC

تعرف دائرة التشوش CoC بأنها أكبر دائرة تظهر بها صورة مصدر ضوئي على هيئة نقطة، يقع خارج المسافة المضبوط عليها وضوح العدسة، بحيث تظهر صورته للعين على هيئة نقطة، وليس دائرة. أي أنها مقياس لأقصى تكبير يمكن أن نحصل عليه لصورة هذه النقطة الضوئية، قبل أن تستطيع العين تمييز أنها دائرة وليست نقطة، وتصبح خارج الوضوح out of focus. فنظرياً من المفترض أن تقوم العدسة بتكوين صورة نقطة الضوء الموجودة في المشهد الأصلي، على هيئة نقطة بنفس الحجم على سطح الفيلم أو المستشعر الرقمي، ولكن نظراً للخصائص البصرية للعدسات، والتي يستحيل أن تكون مثالية،[2-p.290] فإذا كانت هذه النقطة تقع خارج المستوى المضبوط عليه وضوح العدسة، فإن صورتها ستظهر على هيئة دائرة أكبر من حجمها الأصلي. فكما يظهر في شكل (١٥) تم تصوير ثلاث مصادر ضوئية صغيرة، بحيث تكون المسافة بين كل مصدر والذي يجاوره هي ٢ قدم، وتقع الكاميرا في أقصى اليسار خارج الشكل، وتم ضبط وضوح عدستها على المصدر الضوئي الذي يقع في المنتصف، نلاحظ أن صورة المصدر الذي يقع في المنتصف، والمضبوط عليه وضوح العدسة، قد ظهرت بشكل حاد واضح المعالم، يشبه هيئته الحقيقية. أما المصدران اللذان يقعان أمام وخلف مستوى الوضوح، فقد ظهرا في الصورة على هيئة دوائر، وليس على هيئة نقاط.[5-pp.67-70]



شكل (١٥) النقاط الضوئية التي تقع خارج الوضوح تظهر في الصورة على هيئة دوائر وليس نقاط

فقيمة دائرة التشوش للعدسة هي التي تحدد أكبر دائرة يمكن أن تصل إليها صورة النقطة الموجودة في المشهد الأصلي، بحيث تظل العين تميزها على أنها نقطة وليست دائرة، وإذا زادت مساحة هذه الدائرة عن قيمة دائرة التشوش، فسوف تميزها العين على أنها دائرة، وتفقد حدتها وتضيع تفاصيلها.[5-pp.67-70]

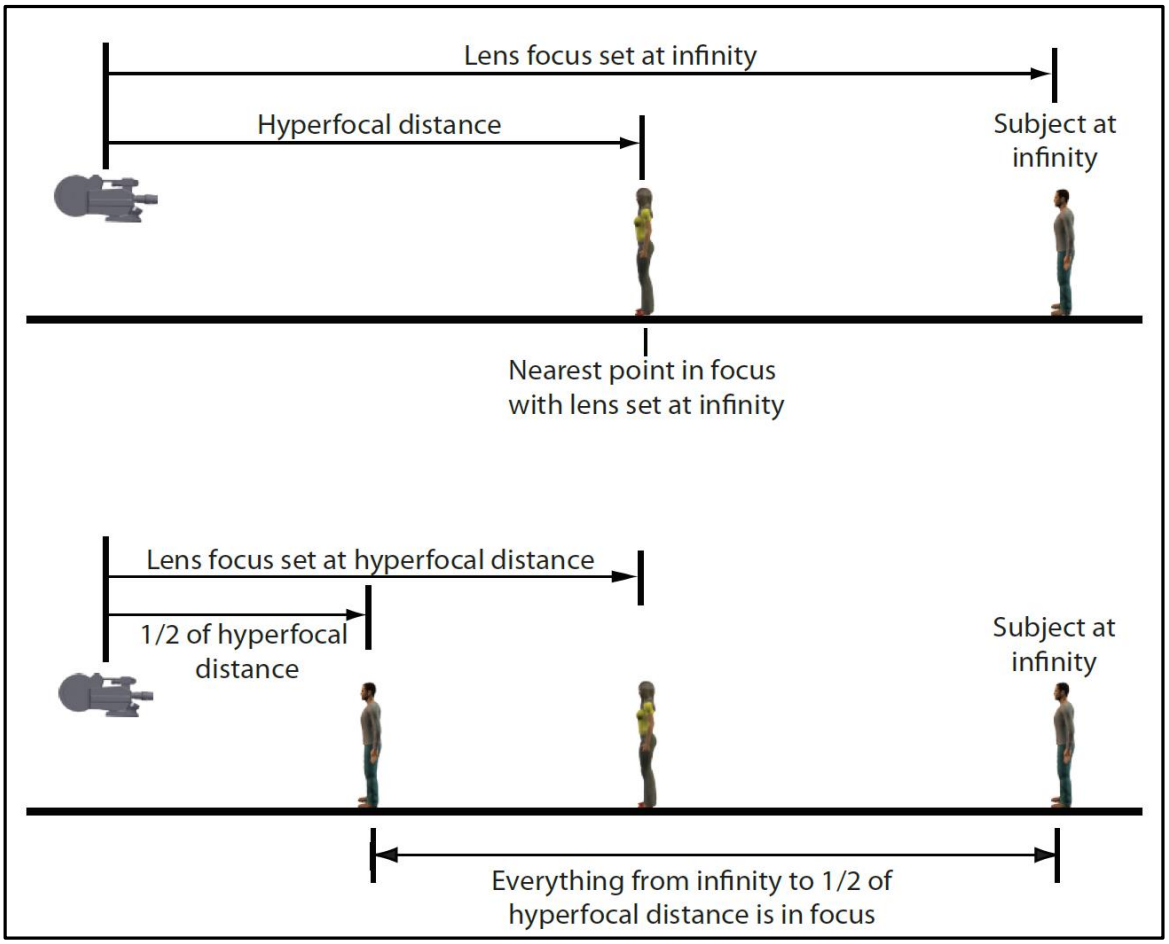
ويتباين حجم دائرة التشوش وفقاً لأبعاد الفيلم أو المستشعر المستخدم، فكلما كان مقاس الفيلم أصغر، كلما كانت دائرة التشوش أصغر، نظراً لأن الصورة المتكونة على المستشعر الأصغر، تتطلب تكبيرها بنسبة أكبر لكي نحصل على أبعاد معينة على شاشة العرض، على العكس من الصورة المتكونة على مستشعر أكبر، حيث تتطلب نسبة تكبير أقل للحصول على نفس

الأبعاد النهائية. ولذلك نجد أن قيمة دائرة قطر التشوش في حالة الأفلام السينمائية مقاس ١٦مم، تتراوح بين ١/٢٠٠٠ من البوصة (0.0005") إلى ١/١٠٠٠ من البوصة (0.0001")، أما في حالة الأفلام السينمائية مقاس ٣٥مم، فإنها تتراوح بين ١/٧٠٠ من البوصة (0.00014") إلى ١/٥٠٠ من البوصة (0.002").[2-p.290]

أي أن قيمة دائرة التشوش للعدسة هي التي تحدد مقدار عمق الميدان الذي تسمح به العدسة depth of field، عند قيمة f/stop محددة، وبالتالي فكلما زادت قيمة دائرة التشوش لعدسة ما، فإن ذلك يعني أننا سنحصل على مستويات أكثر للوضوح والحدة، داخل الصور التي نحصل عليها بواسطة هذه العدسة.[5-pp.67-70] ولذلك فإن جميع مخططات حساب عمق الميدان، تتضمن قيمة قطر دائرة التشوش المستخدمة في الحسابات المدرجة.[2-p.290]

١٢. أقصى عمق ميدان للعدسة: Hyperfocal Distance

يمكن الحصول على أقصى عمق ميداني عند التصوير باستخدام أي عدسة، بضبط الوضوح على مسافة محددة، يطلق عليها اسم hyperfocal distance، وهي أقرب مسافة تظهر فيها الأجسام مضبوطة الوضوح، عند ضبط وضوح العدسة على المالانهاية infinity. وعند ضبط وضوح العدسة على هذه المسافة المحددة، نحصل على أقصى عمق ميداني يمكن الحصول عليه، حيث يبدأ الوضوح من منتصف هذه المسافة، ويمتد إلى المالانهاية.[12-pp.141-142] كما يظهر في شكل (١٦).[2-p.294]



شكل (١٦) نحصل على أقصى عمق ميداني ممكن عند ضبط الوضوح على مسافة hyperfocal distance

ويتم حساب قيمة hyperfocal distance لأي عدسة عند بعد بؤري معين، وقيمة f/stop محددة، بدلالة دائرة التشوش CoC لهذه العدسة، من خلال المعادلة التالية:

$$\text{Hyperfocal distance} = \frac{(\text{Focal length of the lens})^2}{\text{f-number} \times \text{Circle of confusion}}$$

وبمجرد تحديد قيمة hyperfocal distance للعدسة، نستطيع حساب عمق الميدان الذي نحصل عليه من هذه العدسة، من خلال المعادلتين التاليتين:

$$\text{Camera to nearest limit} = \frac{H \times S}{H + (S - F)}$$ **(أقرب مستوى يظهر واضح التفاصيل)**

$$\text{Camera to farthest limit} = \frac{H \times S}{H - (S - F)}$$ **(أبعد مستوى يظهر واضح التفاصيل)**

حيث (H) تعبر عن مسافة hyperfocal distance للعدسة، و(S) تعبر عن المسافة المضبوط عليها وضوح العدسة، و(F) تعبر عن البعد البؤري للعدسة.[12-p.142]

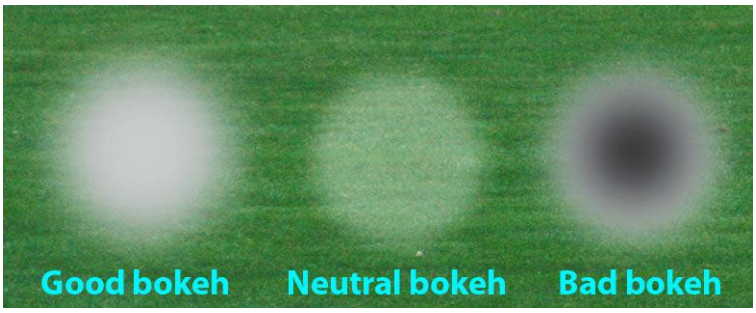
١٣. مظهر الأجزاء المموهة خارج الوضوح: Bokeh Effect

يستخدم مصطلح bokeh للتعبير عن الخصائص الجمالية في مظهر الأجزاء المموهة التي تقع خارج الوضوح من الصورة out-of-focus. فكما ذكرنا سابقاً فإن نقاط الضوء التي تقع خارج نطاق عمق الميدان في الصورة، يتجاوز قطرها قطر دائرة التشوش CoC الخاصة بالعدسة، فتظهر على هيئة دوائر، وليس نقاط. ويظهر تأثير bokeh بوضوح في الصور التي يكون فيها عمق الميدان ضحل جداً، مثل حالات التصوير المقرب macro، والتصوير بالعدسات طويلة البعد البؤري، والتصوير بفتحات عدسة متسعة جداً، وبخاصة إذا كانت الأجزاء الخلفية من التكوين عالية السطوع، كما يظهر في شكل (١٧).[3-pp.120-121]

شكل (١٧) يظهر تأثير التمويه bokeh effect بوضوح في الصور ذات عمق الميدان الضحل جداً

وهذه الدوائر المموهة لا تكون بحجم ثابت، ولا يشترط أيضاً أن تكون على شكل دائرة مثالية منتظمة، فتصميم الشرائح الداخلية diaphragm التي تتحكم في فتحة العدسة، يؤثر بدرجة كبيرة على مظهر هذه الدوائر المموهة.[3-pp.120-121] وإجمالاً يفضل أن تكون الأجزاء المموهة سلسة وناعمة، وليست متعرجة ومتقاطعة.[4-p.61]

وعادة يتم استخدام تأثير bokeh في الأجزاء التي تقع في خلفية الصورة background، وفي بعض الأحوال النادرة يكون له تأثير جذاب في مقدمة الصورة foreground. وتعتمد جودة مظهر الأجزاء المموهة في المناطق التي تقع خارج الوضوح من التكوين على بناء العدسة lens construction، ويعتبر من العناصر المهمة في تقييم جودة العدسة.(4-p.61) حيث تعتبر العدسة بأنها ذات تأثير تمويه جيد good bokeh، إذا كانت الدوائر المموهة التي تنتجها، ذات سطوع عالي في مركزها، وتتدرج في الإظلام كلما اتجهنا إلى حوافها، فتكون الدوائر منسجمة بشكل ناعم وسلس مع البيئة المحيطة بها. أما إذا كانت الدوائر المموهة التي تنتجها العدسة متجانسة الإضاءة، أو الأسوأ من ذلك إذا كانت حوافها عالية السطوع، ومركزها داكن، فيتم وصف تأثير التمويه للعدسة بأنه سيء bad bokeh. ويظهر في شكل (١٨) نماذج لمظهر التمويه الجيد والسيء.(3-pp.120-121)

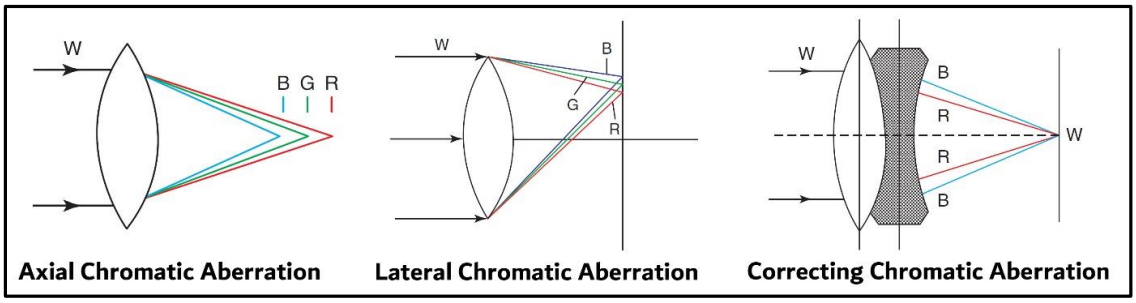


شكل (١٨) نماذج لمظهر تأثير التمويه الجيد والسيء للعدسة

١٤. الانحراف اللوني: Chromatic Aberration

ينشأ عيب الانحراف اللوني بسبب أن العدسة تقوم بتجميع صورة الأشعة الضوئية المارة خلالها في أكثر من نقطة، وليس في نقطة واحدة، بحيث يتم تكوين صورة كل طول موجي في نقطة مختلفة عن باقي الأطوال الموجية، فلا تنطبق صور الألوان الأحمر والأخضر والأزرق في نقطة واحدة. وكما يظهر في شكل (١٩)، يوجد نوعين من أنواع الانحراف اللوني: الأول هو الانحراف اللوني المحوري axial chromatic aberration، والنوع الثاني هو الانحراف اللوني الجانبي lateral chromatic aberration، ويزيد ظهوره عند أطراف مجال رؤية العدسة، ولا يظهر في مركز الصورة.(7-pp.44-46) ويزيد عيب الانحراف اللوني وضوحاً عند التصوير باستخدام فتحات عدسة واسعة، وعندما يكون هناك تباين عالي بين الأجسام داخل إطار الصورة.(5-p.118)

ويعمل مصممو العدسات على تصحيح عيب الانحراف اللوني، بالجمع بين نوعين من العدسات، إحداها عدسة مجمعة، وهي مصنوعة من زجاج ذو مؤشر انكسار عالي للضوء high RI، وذو تشتت متوسط. والأخرى عدسة مفرقة، وهي مصنوعة من زجاج ذو مؤشر انكسار منخفض للضوء، وقليل التشتت. بحيث أن نسب التشتت المختلفة بين نوعي الزجاج تلاشي بعضها البعض، مع الحفاظ على أن يكون أداء العدسة في المجمل مجمع للضوء. ويطلق على هذا النوع من العدسات اسم achromatic lens، وهي تستطيع تصحيح الانحراف اللوني بشكل تام عند طولين موجيين فقط، غالباً الأحمر والأزرق، حيث يتجمعان في نقطة واحدة، كما يظهر في شكل (١٩). أما باقي الأطوال الموجية فيكون هناك بعض الإزاحة في نقاط تجمعها. ولتصحيح عيب الانحراف اللوني بشكل تام، تستخدم عدسات apochromatic، وهي مصممة لتجميع الأطوال الموجية الثلاثة الأحمر والأخضر والأزرق في نقطة واحدة، ولذلك فهي أكثر دقة في تكوين صور الألوان الثلاثة من عدسات achromatic، ولكن يعيبها أنها تتطلب التصنيع من زجاج أغلى ثمناً، وبمراحل تصنيع أكثر تعقيداً.(7-pp.44-46)

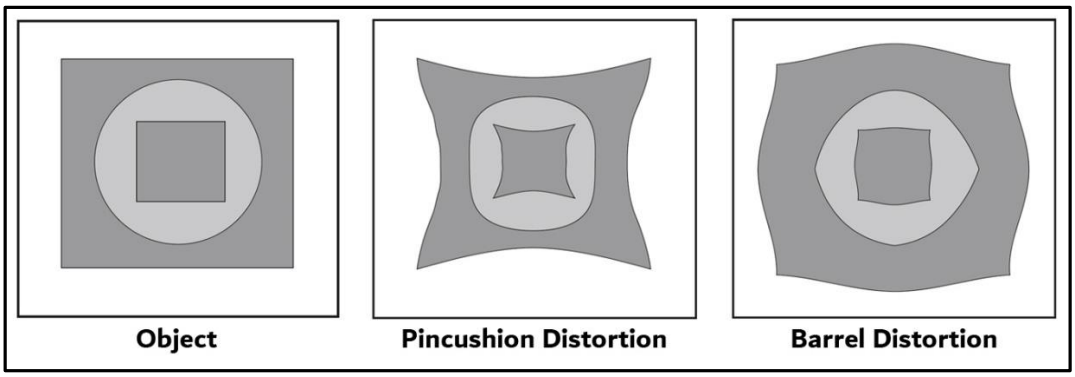


شكل (١٩) الانحراف اللوني chromatic aberration يؤدي إلى تجمع صور الألوان الثلاثة في ثلاث نقاط مختلفة

١٥. انبعاج أطراف الصورة: Distortion

يوجد نوعين من انبعاج الأطراف في الصور المتكونة بواسطة العدسات، كما يظهر في شكل (٢٠)، النوع الأول هو الانبعاج للداخل pincushion distortion، والذي يكون مظهره العام مثل الوسادة. والنوع الثاني هو الانبعاج للخارج barrel distortion، ويكون مظهره العام مثل البرميل. ونادراً ما يظهر عيب انبعاج الأطراف في العدسات ذات البعد البؤري الواحد prime، باستثناء العدسات واسعة الزاوية للغاية، حيث يظهر فيها أحياناً انبعاجاً خفيفاً للخارج. بينما يظهر هذا العيب بكثرة في العدسات متغيرة البعد البؤري zoom المخصصة لكاميرات الفيديو، حيث يكون للخارج عند أوسع زاوية لها، وللداخل عند أضيق زاوية لها.[12-pp.59-60] ويرجع ذلك إلى أن كاميرات الفيديو تتطلب عدسات ذات مدى واسع من الأبعاد البؤرية zoom range، بالإضافة إلى فتحات عدسة واسعة، ولا يستطيع مصنعو العدسات تحقيق المتطلبين السابقين، مع الحفاظ على أداء بصري خالي من العيوب، بأسعار يتحملها السوق.[6-p.79] [12-pp.59-60]

ويساعد استخدام أسطح غير كروية في العدسة aspherical في التخفيف من عيوب انبعاج الأطراف.[6-p.79]



شكل (٢٠) مشكلة انبعاج الأطراف في صور العدسات

١٦. إظلام حواف الصورة: Vignetting

إظلام الحواف هو ظاهرة بصرية تحدث بسبب أن الصورة التي تكونها العدسة تكون أقل في الإضاءة عند حوافها عن الإضاءة في مركزها. ويزيد هذه العيب وضوحاً عند استخدام أوسع فتحة عدسة، وعند ضبط وضوح العدسة على المالانهاية، وكذلك في حالة استخدام أقل بعد بؤري في العدسات متغيرة البعد البؤري.[1-pp.171-173]

ويحدث هذا العيب بسبب أن نسبة الفقد في الأشعة الضوئية القادمة بشكل مائل من أطراف مجال رؤية العدسة، تكون أكبر من تلك التي تحدث للأشعة الضوئية الساقطة بشكل عمودي على العدسة من منتصف مجال رؤيتها، حيث تزيد نسبة انعكاس الأشعة الساقطة بزاوية مائلة على سطح العدسة من أطراف مجال الرؤية، عن نسبة انعكاس الأشعة الساقطة عمودياً على سطح العدسة من مركز مجال رؤيتها، فينتج عن ذلك أن يكون تعريض الصورة في أطرافها، أقل من التعريض عند مركزها.

وتعمل الشركات المنتجة للعدسات على معالجة عدم التجانس الضوئي في الصورة التي تنتجها العدسة، إلاَّ أنه يظل موجوداً في كل العدسات ولكن بنسب مختلفة. وتزداد أهمية معالجة عيب إظلام الحواف في العدسات السينمائية، حيث تزيد ملاحظته عند تنفيذ حركات الكاميرا المختلفة أفقياً pan ورأسياً tilt.[10-pp.143-144]

١٧. تغير حجم الصورة أثناء ضبط الوضوح: Breathing

يحدث في بعض العدسات أن يتغير حجم الصورة عند إعادة ضبط الوضوح أثناء تصوير اللقطة المتحركة،[11-p.132] فيعطي تأثير يشبه تغير البعد البؤري للعدسة أثناء التصوير،[5-p.118] ويطلق على هذا العيب اسم breathing، وهو شائع جداً في العدسات التليفزيونية، ولكنه نادر الوجود في العدسات السينمائية،[11-p.132] وهو شائع بكثرة في العدسات المتغيرة البعد البؤري zoom، وبدرجة أقل في العدسات ثابتة البعد البؤري prime.[5-p.118] ويعتبر هذا العيب غير مقبول على الإطلاق، حتى لو بقدر ضئيل جداً عند تصوير الأفلام السينمائية، إلاَّ أنه قد يكون غير ملحوظ في بعض الحالات، مثل تصوير التقارير الإخبارية التليفزيونية، حيث تتحرك الصورة معظم الوقت.[11-p.132]

١٨. توهج العدسة: Lens Flare

كما ذكرنا سابقاً، فإن بعض الضوء الساقط على العدسة، يحدث له انعكاس من على الأسطح الزجاجية المكونة لها، مما يؤدي إلى حدوث بعض الفقد في مقدار الضوء النافذ ليصل إلى الفيلم أو مستشعر الكاميرا. ويحدث أحياناً أن تنعكس نسبة من هذه الأشعة المنعكسة مرات أخرى على الأسطح الزجاجية داخل العدسة لتصل إلى الفيلم أو المستشعر، وتنتشر على سطحه مسببة ما يعرف بتوهج العدسة lens flare، والذي يزيد تأثيره في مناطق الظلال من الصورة. ويقل التوهج الحادث في الصورة بفعل الطلاءات المانعة للانعكاس، وأيضاً باستخدام أداة للتظليل على سطح العدسة مثل: lens hood, matte box، لتمنع الأشعة المباشرة المسببة للتوهج من الاصطدام بسطح العدسة.[6-p.68]

أي أن توهج العدسة الذي يظهر في الصورة، لا يكون جزءاً من المشهد المصور، وإنما هو نتاج صناعي يحدث بسبب العدسة نفسها، ويتسبب في خفض أداء العدسة، حيث يعمل على تقليل التباين في الصورة، وبالتالي تقل كلاً من الحدة وقوة التحديد.[5-pp.109-112]

وهناك ثلاثة أنواع رئيسية لتوهج العدسة، النوع الأول: يحدث عندما يحتوي المشهد الذي يتم تصويره على مصدر ضوئي ساطع يظهر داخل مجال رؤية العدسة، فيحدث انعكاس مباشر لضوء هذا المصدر القوي على سطح أو أكثر من الأسطح الزجاجية داخل العدسة، فتتكون له صورة أخرى في موضع آخر خلاف موقعه الأصلي داخل إطار الصورة، ويطلق على هذا النوع من التوهج اسم ghost flare، ولا يمكن إزالته عن طريق التظليل على العدسة، بسبب وجود المصدر الضوئي بشكل مباشر داخل التكوين. أما النوع الثاني: فيظهر فيه التوهج على هيئة أشكال دائرية تتكرر في الصورة، ويكون لها نفس شكل فتحة العدسة iris diaphragm، وتكون ذات ألوان مختلفة وفقاً لنوع طلاء العدسة، ويطلق على هذا النوع من التوهج اسم spot flare، ويمكن التخلص منه عن طريق تظليل العدسة. أما النوع الثالث: فيحدث عندما يصطدم شعاع ضوئي بسطح العدسة من زاوية منفرجة، فلا يتسبب في تكوين صورة أخرى للأشعة الضوئية داخل الصورة، ولكنه يؤدي إلى تقليل تباين الصورة ووضوحها بشكل عام، ويؤدي إلى ضياع معالم الحدود الخارجية لبعض الأجزاء من محتويات التكوين، ويطلق على هذا النوع من التوهج اسم veiling flare، ويمكن التخلص منه أيضاً عن طريق تظليل العدسة.[5-pp.109-112] ويظهر في شكل (٢١) نماذج من الأنواع الثلاثة لتوهج العدسة.

Ghost Flare
https://i.pinimg.com/564x/f6/e9/74/f6e974e7c751760d72a9b4a25ac427d0.jpg

Spot Flare
https://i0.wp.com/thepioneerwoman.com/wp-content/uploads/2009/06/3554862204_106e4bb152.jpg?resize=357%2C500

Veiling Flare
https://cdn.photographylife.com/wp-content/uploads/2014/02/Nikon-Df-Image-Sample-

شكل (٢١) نماذج من الأنواع المختلفة لتوهج العدسة Lens Flare

النتائج:

1. جميع العدسات ليست مثالية بصرياً، فمن المستحيل عملياً أن تبلغ نفاذية العدسة ١٠٠% من الضوء الساقط عليها، بسبب الانعكاسات على الأسطح الزجاجية المتعددة، التي تتكون منها العدسة. ويزيد هذا الفقد في الضوء في حالة العدسات متغيرة البعد البؤري zoom، نظراً لاحتوائها على عدد كبير من الأسطح الزجاجية المكونة لها.

2. يتم طلاء الأسطح الزجاجية المكونة للعدسة بمواد تعمل على تقليل الفقد للضوء المار من العدسة، فيزيد مقدار الضوء النافذ، وبالتالي تزيد سرعة العدسة. وكذلك تعمل هذه الطلاءات على تقليل التوهج flare، فيزيد تباين الصورة. وبدون هذه الطلاءات لن يكون للعدسة أي قيمة من الناحية العملية.

3. معظم العدسات متغيرة البعد البؤري zoom، والعدسات طويلة البعد البؤري telephoto، تشتمل على خاصية منع الاهتزاز، والتي تسمح بالتصوير بسرعات غالق أبطأ أثناء حمل الكاميرا باليد، مع الحفاظ على حدة الصورة، دون أي اهتزاز.

4. قيمة f–stop هي علاقة هندسية بين طول البعد البؤري وطول قطر فتحة العدسة، وبالتالي فإنها لا تأخذ في الاعتبار مقدار الضوء المفقود داخل العدسة، أما قيمة T–stop فهي أكثر دقة للتعبير عن الضوء النافذ من العدسة، لأنه يتم حسابها لكل عدسة بشكل منفرد، اعتماداً على كمية الضوء النافذ فعلياً من العدسة. ولذلك تستخدم قيمة f–stop في حسابات عمق الميدان، بينما تستخدم T–stop عند حساب التعريض. وعادة تقل قيمة T–stop عن قيمة f–stop المحددة على العدسة بما يعادل ٢/١ أو ٣/١ فتحة عدسة، وهذا الفرق يزيد في العدسات متغيرة البعد البؤري zoom ليصل أحياناً إلى فتحة عدسة كاملة.

5. كل عدسة يكون لها نطاق أمثل لقيم f–stop التي تعطي أقصى حدة في الصورة sharpest image، وهذا النطاق يبدأ عادة من فتحتي عدسة أضيق من أوسع فتحة، ويصل عادة إلى f/11. وبعبارة أخرى، فإن أفضل قيم f–stop يمكن استخدامها للحصول على أقصى حدة ممكنة في الصورة، هي القيم التي تتوسط نطاق الفتحات التي تسمح بها العدسة. وأي قيمة أعلى أو أسفل هذا النطاق، ستؤدي إلى إنتاج صور ذات حدة منخفضة نسبياً.

6. تتحدد سرعة العدسة lens speed بأوسع فتحة يمكنها التصوير بها، وهي التي يتم التعبير عنها بأقل قيمة f–stop مكتوبة على العدسة، وكلما زادت سرعة العدسة، كلما أمكن استخدامها للتصوير في ظروف إضاءة منخفضة. وزيادة سرعة العدسة لا تعني بالضرورة أن كفاءة أدائها البصري أعلى من العدسات الأبطأ منها، وإنما هي تعني فقط أنها تتيح التصوير في ظروف إضاءة أقل. ولذلك فإذا كانت العدسة لن تستخدم في ظروف إضاءة منخفضة تستلزم فتحة عدسة واسعة جداً، فلا يجب أن نضع في الاعتبار معيار السرعة العالية عند اختيار العدسة المستخدمة في التصوير.

7. تكون العدسة في أفضل أداء بصري لها عند مركزها، سواء من حيث قوة التحديد، أو الحدة، أو التباين، وكلما ابتعدنا عن مركز العدسة، كلما تراجع أداءها، ليصل إلى أسوأ قدر ممكن عند أطرافها.

8. تعرف قوة تحديد العدسة resolution بأنها مقياس لقدرة العدسة على إعادة إنتاج التفاصيل الدقيقة جداً في الموضوع الذي يتم تصويره. وقدرة العدسة على تمييز هذه التفاصيل الدقيقة، تكون مرهونة بمدى قدرتها على ترجمة التباين بين هذه التفاصيل، حتى يمكن تمييزها في الصورة. فكلما قلت قدرة العدسة على نقل تباين الموضوع الأصلي إلى الصورة، كلما نقصت قدرتها على تمييز التفاصيل الدقيقة في هذا الموضوع، وبالتالي تقل قوة تحديدها.

9. يستخدم مخطط MTF لرسم صورة متكاملة عن كفاءة الأداء البصري للعدسة في نقل التباين وقوة التحديد، حيث يقيس قدرة العدسة على نقل التفاصيل، كلَّما زاد عدد الخطوط المصورة في الملليمتر. ويقيس كذلك كفاءة أداء العدسة على مدى قطرها من المركز إلى الأطراف.

10. قيمة دائرة التشوش للعدسة circle of confusion هي التي تحدد أكبر دائرة يمكن أن تصل إليها صورة النقطة الموجودة في المشهد الأصلي، بحيث تظل العين تميزها على أنها نقطة وليست دائرة، وإذا زادت مساحة هذه الدائرة عن قيمة دائرة التشوش، فسوف تميزها العين على أنها دائرة، وتفقد حدتها وتضيع تفاصيلها. وهي القيمة التي يتحدد بناء عليها أقصى عمق ميداني للعدسة.

11. يستخدم مصطلح bokeh للتعبير عن الخصائص الجمالية في مظهر الأجزاء المموهة التي تقع خارج الوضوح من الصورة out-of-focus. ويعتبر مظهر الأجزاء المموهة في المناطق التي تقع خارج الوضوح من العناصر المهمة في تقييم جودة العدسة. حيث تعتبر العدسة بأنها ذات تأثير تمويه جيد good bokeh، إذا كانت الدوائر المموهة التي تنتجها، ذات سطوع عالي في مركزها، وتتدرج في الإظلام كلما اتجهنا إلى حوافها، فتكون الدوائر منسجمة بشكل ناعم وسلس مع البيئة المحيطة بها. أما إذا كانت الدوائر المموهة التي تنتجها العدسة متجانسة الإضاءة، أو الأسوأ من ذلك إذا كانت حوافها عالية السطوع، ومركزها داكن، فيتم وصف تأثير التمويه للعدسة بأنه سيء bad bokeh.

التوصيات:

عند تقييم واختيار العدسات المستخدمة في التصوير الفوتوغرافي أو السينمائي يجب مراعاة ما يلي:

1. يجب أن تكون العدسة قوية وجيدة البناء حتى لو كانت خفيفة في الوزن، والعدسات المصنوعة من البلاستيك تكون أرخص وأقل جودة من العدسات المصنوعة من الألومنيوم أو أي معدن آخر، نظراً لقابلية الأولى للتلف بشكل أسرع. وفي جميع الحالات يجب أن يكون موضع تثبيت العدسة في الحامل مصنوع من المعدن. ويجب أن تتحرك جميع آليات العدسة الخاصة بالتحكم في البعد البؤري، وضبط الوضوح، وفتحة العدسة، بنعومة وسلاسة وتجانس، دون أي تقطيع أو خشونة أثناء الحركة، ودون أن يصدر عنها أي صوت غريب.

2. في حالة العدسات الفوتوغرافية يجب أن يكون ميكانزم الضبط الآلي للوضوح سريعاً، وهادئاً، ودقيقاً وبخاصة عند التصوير في ظروف إضاءة منخفضة. ولا يفضل أن يكون مسار دوران حلقة ضبط الوضوح قصير جداً، لأنه لا يكون

مريحاً على الإطلاق عند الرغبة في ضبط الوضوح بشكل يدوي. أما العدسات السينمائية فيجب أن يكون مسار دوران حلقة ضبط الوضوح فيها أوسع كثيراً، أي المدى بين المسافات على العدسة أكبر، بحيث تسمح بتعديل وضوح الموضوع المتحرك بشكل ناعم أثناء تصوير اللقطة المتحركة. ويجب أن تكون الأرقام المعبرة عن المسافات مكتوبة بحجم كبير، وبلون ساطع، حتى يسهل على مساعد المصور رؤيتها في ظروف الإضاءة المنخفضة.

3. يجب أن تكون العدسة خالية من عيوب العدسات المختلفة مثل: الانحراف اللوني وانبعاج الأطراف وإظلام الحواف وتوهج العدسة وتغيير حجم الصورة أثناء ضبط الوضوح، أو على الأقل في حدها الأدنى منهم.

4. عند تقييم العدسة من خلال قراءة مخطط MTF، تجب مراعاة ما يلي:

- كلما كان ارتفاع المنحنيات داخل المخطط أعلى، كلما كان الأداء البصري للعدسة أفضل، سواء في نقلها للتباين، أو في قوة تحديدها.
- كلما كانت درجة انحدار المنحنى أقل سرعة، أثناء اتجاهه ناحية اليمين، فإن ذلك يشير إلى أن أداء هذه العدسة أفضل في نقلها للتباين، وفي قوة تحديدها عند الأطراف.
- كلما اقترب المنحنى المتصل من المحنى المتقطع، فإن ذلك يعني أن أداء العدسة متقارب لكلا نوعي الخطوط المائلة بزوايا مختلفة، فإن ذلك يجعل تأثير bokeh في صور هذه العدسة أفضل. وأيضاً يكون المظهر الضبابي blur للخلفية أفضل عندما تكون خارج الوضوح out of focus.
- مخطط MTF يقدم معلومات قيمة حول قوة تحديد العدسة، ومدى كفاءتها في نقل التباين، ولكنه بالرغم من ذلك لا يعطينا معلومات كافية عن خصائص العدسة الأخرى، والتي تؤثر في جودة صورها، مثل الانحرافات البصرية optical aberration، سواء الخطية أو اللونية، وكذلك التوهج flare.
- لا يصح إجراء مقارنات بين مخططات MTF لعدسات مختلفة في بعدها البؤري، وذلك لأن المنحنيات المعبرة عن العدسات واسعة البعد البؤري ستكون أكثر انحداراً كلما اتجهنا ناحية اليمين، على العكس من العدسات طويلة البعد البؤري telephoto، والتي تكون درجة انحدار منحنياتها أقل. ولذلك يجب عقد المقارنات فقط بين مخططات لعدسات متماثلة في بعدها البؤري.
- لا يجب مقارنة مخططات MTF لعدسات من إنتاج شركات مختلفة، إلاَّ بعد معرفة المعايير التي تتبعها كل شركة في قياس واختبار عدساتها، لأنه قد تكون هناك اختلافات مهمة بين شركة وأخرى في أنواع لوحات الاختبار التي يتم تصويرها، وسمك الخطوط بها، وغيرها من العوامل التي قد تجعل مقارنة مخططات الشركات المختلفة غير مجدية إلى حد كبير.

المراجع:

Books:

1. Ascher , Steven, and Edward Pincus. 2012. The Filmmakers Handbook: A Comprehensive Guide for The Digital Age. Fourth Edition. A PLUME BOOK.

2. Brown, Blain. 2016. Cinematography: Theory and Practice: Image Making for Cinematographers and Directors. Third edition. Routledge.

3. Busch, David D. 2005. Mastering Digital SLR Photography. Thomson Course Technology PTR.

4. Davis, Harold. 2008. Practical Artistry: Light & Exposure for Digital Photographers. O'Reilly Media.

5. Holben, Jay. 2016. Behind the Lens: Dispatches from the Cinematographic Trenches. Taylor & Francis.
6. Jacobson, Ralph E., Sidney F. Ray, Geoffrey G. Attridge, and Norman R. Axford. 2000. The Manual of Photography. Ninth Edition. Focal Press.
7. Langford, Michael, and Efthimia Bilissi. 2008. Langford's Advanced Photography. Seventh edition. Focal Press.
8. Malkiewicz, Kris, and M. David Mullen. 2005. Cinematography: A Guide for Filmmakers and Film Teachers. Third Edition. Simon & Schuster, Inc.
9. Schenk, Sonja, and Ben Long. 2012. The Digital Filmmaking Handbook. Fourth Edition. Course Technology.
10. Stump, David. 2014. Digital Cinematography: Fundamentals, Tools, Techniques, and Workflows. Focal Press.
11. Wheeler, Paul. 2009. High Definition Cinematography. Third Edition. Elsevier Ltd.
12. Wheeler, Paul. 2005. Practical Cinematography. Second Edition. Elsevier.

Web Sites:

13. Vibration Reduction, Nikon Imaging USA, © Nikon Inc. Accessed June 14, 2020. https://www.nikonusa.com/en/learn-and-explore/a/products-and-innovation/vibration-reduction.html#.
14. DuFault, Kent. n.d. "UNDERSTANDING LENSES, PHOTZY.COM." Accessed June 19, 2020. https://s3.amazonaws.com/member.photzy.com/Free/UnderstandingLenses.pdf.
15. Winston, Rudy. n.d. "Reading and Understanding Lens MTF Charts, Canon U.S.A., Inc." Accessed June 4, 2020. https://www.usa.canon.com/internet/portal/us/home/learn/education/topics/article/2019/april/reading-and-understanding-lens-mtf-charts/reading-and-understanding-lens-mtf-charts.

١- تتباين الشركات المصنعة للعدسات في تسميتها لخاصية منع الاهتزاز، فشركة Canon تسميها Image Stabilization-IS، وشركة Nikon تسميها Vibration Reduction-VR، وشركة Sony تسميها Optical SteadyShot-OSS.

٢- استخدمت هذه العدسة في تصوير فيلم Barry Lyndon وهو فيلم بريطاني/ أمريكي، أنتج عام ١٩٧٥، كتبه وأخرجه Stanley Kubrick.

٣- في حالة الكاميرات لا يكون هناك أي ارتباط بين مفهوم قوة التحديد، وبين مفهوم التباين؛ وذلك لأن قوة تحديد الكاميرا تتوقف على عدد البكسلات التي يحتوي عليها مستشعر الكاميرا، ولذلك فقد يكون عدد بكسلات الصورة كبير جدا، وفي نفس الوقت تكون منخفضة التباين، والعكس صحيح.

٤- يرمز حرف (*L*) إلى كلمة Luminance. وأحياناً يستخدم الحرف (*I*) للتعبير عن نفس القيمة، وهو اختصار لكلمة Intensity.

٥- يتم التعبير عن عدد الخطوط في المليمتر الواحد بإحدى طريقتين، إما بعدد الخطوط المفردة، أو بعدد أزواج الخطوط، فعلى سبيل المثال: إذا كان لدينا ٢٠ خط في المليمتر الواحد، فإنها إما تكتب 20 lines per mm، أو تكتب 10 line pairs per mm.

٦- أحياناً يتم التعبير عن هذه النسبة في المدى من صفر إلى ١، بحيث تكون القيمة ١ تعادل ١٠٠%، والقيمة ٠،٥ تعبر عن ٥٠%، والقيمة ٠،١ تعبر عن ١٠%، وهكذا..

٧- كانت شركة كانون قبل ذلك تقوم بقياس ورسم مخطط MTF لعدساتها باستخدام فتحتي عدسة، إحداهما هي أوسع فتحة تسمح بها تلك العدسة، والأخرى هي f/8، فكان المخطط الخاص بكل عدسة، يحتوي على ثماني منحنيات، وليس أربعة فقط، أما الآن فأصبحت تستخدم أوسع فتحة عدسة فقط عند قياس ورسم مخططات MTF.

٨- توجد تطبيقات للهواتف المحمولة تقوم بحساب قيمة hyperfocal distance، بعد تغذيتها بنوع العدسة والبعد البؤري وقيمة f/stop.

٩- مصطلح bokeh مشتق من كلمة يابانية تعبر عن الشكل الضبابي الذي تظهر به بقع الحبر، وتُنطق "بوكا".