أثر مساحة مستشعر الكاميرا الرقمية على خصائص الصورة

The Influence of Camera Sensor Size on Image Characteristics

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

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

HISHAM_MAREY@a-arts.helwan.edu.eg

الملخص:

إن لمساحة مستشعر الكاميرا، تأثيراً بالغ الأهمية على جودة وكمية التفاصيل التي يمكن الحصول عليها في الصورة الفوتوغرافية أو السينمائية أو التليفزيونية، فكما هو الحال في الأفلام التقليدية، كلما كانت مساحة الصورة التي تكونت على مستشعر الكاميرا أكبر، كلما قلت نسبة التكبير اللازمة لها للحصول على أبعاد الصورة النهائية، وبالتالي ستكون التفاصيل والدرجات اللونية أفضل في الصورة النهائية، مما لو كانت الصورة الأصلية قد تكونت على مستشعر أصغر، مما يتطلب نسبة تكبير أعلى للحصول على الصورة النهائية. وتؤثر مساحة مستشعر الكاميرا كذلك على العديد من خصائص الصورة الرقمية، منها ما يتعلق بمظهر الصورة مثل: زاوية مجال الرؤية، وعمق الميدان. ومنها ما يتعلق بجودة الصورة مثل: مدى التباين الذي تستطيع الكاميرا تسجيله، ونسبة التشويش في الصورة. ولذلك تعتبر مساحة مستشعر الكاميرا من أهم العوامل التي تساعد على تقييم جودة أداء الكاميرات الرقمية، بل إنها قد تأتي في الأهمية قبل قوة تحديد الكاميرا resolution، حيث أن زيادة عدد بكسلات مستشعر الكاميرا، لا يعني بالضرورة زيادة جودة الصور التي تنتجها، بل قد يكون له تأثير عكسي في بعض الأحيان، إذا كانت مساحة المستشعر صغيرة. وتكمن مشكلة البحث في كيفية الموازنة بين مساحة المستشعر وبين قوة التحديد بما لا يتعارض مع جودة الصورة، وكذلك حساب زاوية مجال الرؤية للعدسة مع المستشعرات ذات المساحات المختلفة. ولذلك يهدف البحث إلى دراسة تأثير مساحة مستشعر الكاميرا الرقمية على خصائص الصورة المتعددة من حيث: زاوية مجال الرؤية، وعمق الميدان، وقوة التحديد، ومدى التباين، والاستجابة الضوئية، ونسبة التشويش في الصورة. وذلك حتى يمكن التحكم بشكل كامل في خصائص الصورة، وكذلك تحقيق أقصى استفادة ممكنة من الكاميرا المستخدمة في التصوير.

الكلمات المفتاحية:

الصورة الرقمية - مساحة مستشعر الكاميرا – مدى التباين – زاوية مجال الرؤية – عمق الميدان.

Abstract:

The size of the camera sensor has a very important impact on the quality and quantity of details that can be obtained in the image, as is the case in films, the greater the area of the image that is formed on the camera sensor, the less one will have to enlarge it to obtain the dimensions of the Final image, hence the details and tones will be better in the final image, than if the original image had formed on a smaller sensor. The size of the camera sensor also affects many characteristics of the image, including those related to the appearance of the image such as: angle of field of view, and Including what relates to image quality, such as: the dynamic range. Therefore, the sensor size is considered one of the most important factors that help evaluate the quality of the performance of digital cameras. The research problem lies in how to balance the sensor size with the resolution in a way that does not conflict with the image quality, as well as

calculating the angle of the field of view of the lens with the sensors of different sizes. Therefore, the research aims to study the effect of the sensor size on the image properties in terms of field of view angle, depth of field, resolution, dynamic range, sensitivity, and noise. This is in order to fully control the characteristics of the image, as well as to achieve the maximum possible use of the camera.

Keywords:
Digital Image, Sensor Size, Dynamic Range, Field of View, Crop Factor, Depth of Field.

مقدمة:

في حالة التصوير بالأفلام التقليدية يتم التحكم في خصائص الصورة النهائية من حيث التباين والملمس والألوان، من خلال اختيار نوع الفيلم وورق الطباعة والمحاليل الكيميائية المستخدمة في عمليات المعالجة، مما يستوجب أن يكون المصور ملماً بالخصائص الكيميائية لكافة الخامات والمحاليل المستخدمة في التصوير والطباعة؛ حتى يحصل على النتائج التي يرغبها في صورته النهائية. ونفس الأمر أصبح ينطبق على إنتاج الصورة الرقمية بعد ذلك؛ حيث يجب على المصور أن يفهم بشكل أساسي كيفية عمل مستشعر الكاميرا، وكيفية إنتاجه للألوان ودرجات النصوع، وتأثيره على خصائص الصورة المختلفة، حتى يستطيع أن يحقق أقصى فاعلية ممكنة للكاميرا الرقمية التي يستخدمها.[13-p.99]

وفي الحقيقة فإن لمساحة مستشعر الكاميرا، تأثيراً بالغ الأهمية على جودة وكمية التفاصيل التي يمكن الحصول عليها في الصورة الفوتوغرافية أو السينمائية أو التليفزيونية، فكما هو الحال في الأفلام التقليدية، كلما كانت مساحة الصورة التي تكونت على مستشعر الكاميرا أكبر، كلما قلت نسبة التكبير اللازمة لها للحصول على أبعاد الصورة النهائية، وبالتالي ستكون التفاصيل والدرجات اللونية أفضل في الصورة النهائية، مما لو كانت الصورة الأصلية قد تكونت على مستشعر أصغر، مما يتطلب نسبة تكبير أعلى للحصول على الصورة النهائية.[7-p.8] وتؤثر مساحة مستشعر الكاميرا كذلك على العديد من خصائص الصورة الرقمية، منها ما يتعلق بمظهر الصورة ومحتويات التكوين مثل: زاوية مجال الرؤية، وعمق الميدان. ومنها ما يتعلق بجودة الصورة مثل: مدى التباين الذي تستطيع الكاميرا تسجيله، ونسبة التشويش في الصورة.

ولذلك تعتبر مساحة مستشعر الكاميرا من أهم العوامل التي تساعد على تقييم جودة أداء الكاميرات الرقمية، بل إنها قد تأتي في الأهمية قبل قوة تحديد الكاميرا resolution، حيث أن زيادة عدد بكسلات مستشعر الكاميرا، لا يعني بالضرورة زيادة جودة الصور التي تنتجها، بل قد يكون له تأثير عكسي في بعض الأحيان، إذا كانت مساحة المستشعر صغيرة، حيث ستؤدي زيادة عدد البكسلات على سطح المستشعر الصغير، إلى أن تكون مواقع الضوء داخل البكسلات قريبة جداً من بعضها، وبالتالي سوف تزيد احتمالية حدوث تداخلات في الإشارات بين البكسلات المتجاورة، مما يؤدي إلى زيادة التشويش noise في الصورة.

ولذلك سنقوم في هذا البحث بدراسة تأثير مساحة مستشعر الكاميرا الرقمية على خصائص الصورة المتعددة من حيث: زاوية مجال الرؤية، وعمق الميدان، وقوة التحديد، ومدى التباين، والاستجابة الضوئية، ونسبة التشويش في الصورة. وذلك حتى يمكن التحكم بشكل كامل في خصائص الصورة، وكذلك تحقيق أقصى استفادة ممكنة من الكاميرا المستخدمة في التصوير.

مشكلة البحث:

يمكن حصر مشكلات البحث في النقاط التالية:

- مشكلة الموازنة بين مساحة المستشعر وبين قوة التحديد بما لا يتعارض مع جودة الصورة.
- مشكلة حساب زاوية مجال الرؤية للعدسة، وكذلك التحكم في عمق الميدان مع مساحات المستشعرات المختلفة.

- مشكلة نقص مدى التباين الذي تستطيع الكاميرا تسجيله مع بعض المستشعرات.
- مشكلة اختيار الاستجابة الضوئية المناسبة للتصوير دون التأثير على جودة الصورة.
- مشكلة زيادة نسبة التشويش في الصورة مع بعض المستشعرات.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير مساحة مستشعر الكاميرا الرقمية على خصائص الصورة المتعددة من حيث: زاوية مجال الرؤية، وعمق الميدان، وقوة التحديد، ومدى التباين، والاستجابة الضوئية، ونسبة التشويش في الصورة. وذلك حتى يمكن التحكم بشكل كامل في خصائص الصورة، وكذلك تحقيق أقصى استفادة ممكنة من الكاميرا المستخدمة في التصوير.

تساؤلات البحث:

- ما هو أثر مساحة مستشعر الكاميرا على قوة التحديد resolution وعلى مساحة البكسل؟
- ما هو أثر مساحة مستشعر الكاميرا على زاوية مجال الرؤية، وعلى عمق الميدان؟
- ما هو أثر مساحة مستشعر الكاميرا على مدى التباين الذي يمكنه تسجيله dynamic range؟
- ما هو أثر مساحة مستشعر الكاميرا على الاستجابة الضوئية له، وعلى نسبة التشويش في الصورة؟

منهج البحث:

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي بدراسة مدى تأثر خصائص الصورة الرقمية بمساحة مستشعر الكاميرا، وذلك للوقوف على كيفية تحقيق الاستفادة المثلى من الكاميرا المستخدمة.

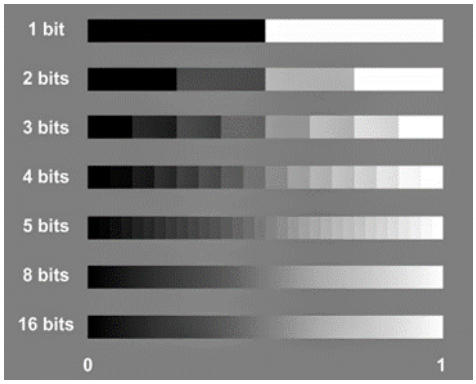
١. كيفية عمل مستشعر الكاميرا الرقمية:

يتكون مستشعر الكاميرا الرقمية من شريحة من السيليكون مغطاة بشبكة من العناصر الصغيرة جداً التي يطلق عليها اسم *pixels، وكل بكسل يحتوي على موقع ضوئي photosite، وهذا الموقع الضوئي يحتوي على صمام ثنائي ذو موصلية ضوئية photodiode، ومكثف capacitor، وبعض الدوائر الالكترونية الأخرى وفقاً لنوع المستشعر. وعند التصوير يفتح الغالق ويتعرض المستشعر للضوء القادم من عدسة الكاميرا،(13-p.99, 101) فتقوم المواقع الضوئية داخل بكسلات المستشعر، بتحويل فوتونات الضوء الساقطة عليها إلى شحنات كهربية تتناسب معها طردياً. أي أنها تقوم بترجمة المستويات الضوئية المختلفة في المشاهد المصورة إلى شحنات كهربية تعبر عنها.(2-p.136) ثم يتم بعد ذلك تحويل هذه الشحنات الكهربية التي تكونت في كل بكسل إلى قيمة رقمية بواسطة محول الإشارة analog-to-digital converter، ويطلق على هذه العملية الأخيرة اسم digitizing. وبعد ذلك يتم تخزين هذه القيم الرقمية المعبرة عن الصورة على شريحة الذاكرة الخاصة بالكاميرا.(13-p.99, 102)

وهذه القيم الرقمية التي تتم ترجمة الشحنات الكهربية إليها يتم التعبير عنها بوحدة تسمى bit، وهي تأخذ إحدى قيمتين: إما صفر، وإما واحد. ويتم التعبير عن عدد الوحدات bits التي تقوم الكاميرا بترجمة شحنة كل بكسل إليها بمصطلح bit depth، وكلما زاد هذا العدد، كلما زاد عدد درجات النصوع التي تستطيع الكاميرا إنتاجها للتعبير عن كل نقطة في المشهد الذي يتم تصويره. فإذا كانت الكاميرا تعمل بنظام 8 bits، فإن ذلك يعني أن الإشارة التي أنتجها كل بيكسل تتم ترجمتها إلى ٢٥٦=٨٢ درجة نصوع، تتدرج من الأسود إلى الأبيض. ومعظم الكاميرات الرقمية تعمل إما بنظام 12-bit وإما بنظام 14-bit، ففي الحالة الأولى تترجم الكاميرا إشارة كل بكسل إلى ١٢٢ أي ما يعادل ٤٠٩٦ درجة نصوع تتدرج من الأسود إلى الأبيض. وفي الحالة الثانية تترجم الكاميرا إشارة كل بكسل إلى ١٤٢ أي ما يعادل ١٦٣٨٤ درجة نصوع من الأسود

إلى الأبيض.[13-p.99, 102] ويوضح شكل (١) تأثير زيادة قيمة bit depth على عدد درجات النصوع التي يستطيع كل بكسل إنتاجها.

أي أنه في حالة الصورة الرقمية تتم إعادة إنتاج المشهد المصور على هيئة عدد هائل من البكسلات الصغيرة جداً، وكل بكسل يتم التعبير عنه رقمياً بقيمة bit depth تعبر عن درجة نصوعه.[2-p.136] وبذلك تكون الكاميرا قد أعادت إنتاج مستويات الإضاءة المختلفة المنعكسة من المشهد الذي يتم تصويره، إلى درجات رماديات يتناسب كل منها مع مستوى إضاءة الجزء المناظر له من المشهد، أي أن الصورة الناتجة حتى هذه المرحلة لا تحتوي على أية معلومات لونية، وتماثل الصور التي نحصل عليها عند التصوير باستخدام الأفلام التقليدية أبيض وأسود.[13-p.104]

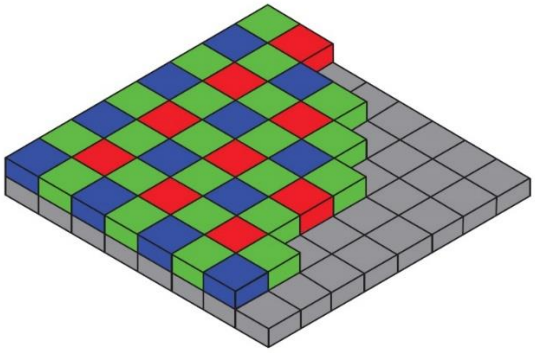


http://٢.bp.blogspot.com/-NQPXItfa_Og/VJ_٥VbeHv٣I/AAAAAAAAAgA/Ct٩Ae_UW٦E٠/s١٦٠٠/bitdepths_chart_med.jpg

شكل (١) تأثير زيادة قيمة bit depth للكاميرا على عدد درجات النصوع التي تستطيع إنتاجها

٢. إنتاج اللون في مستشعرات الكاميرات الرقمية:

لإنتاج المعلومات اللونية في كل نقطة من الصورة الرقمية، تتم تغطية سطح المستشعر بالكامل بشبكة من المرشحات الملونة color filter array، بحيث يتم تغطية كل بكسل بمرشح لأحد الألوان الأساسية الثلاثة الأحمر أو الأخضر أو الأزرق.[13-p.104] وتعتبر طريقة Bayer filter من أكثر الطرق شيوعاً في ترتيب المرشحات الملونة على سطح بكسلات مستشعرات الكاميرات الرقمية، بحيث تكون ٥٠% من البكسلات مغطاة بمرشحات خضراء، و٢٥% من البكسلات مغطاة بمرشحات زرقاء، و٢٥% من البكسلات مغطاة بمرشحات حمراء، كما يظهر في شكل (٢).[2-p.140]



شكل (٢) كيفية توزيع المرشحات الملونة على بكسلات المستشعر في طريقة Bayer

وبذلك فإن كل بكسل سيقوم بإعادة إنتاج لون واحد فقط من الألوان الأساسية الثلاثة، وهو لون المرشح المغطى به. فالبكسلات المغطاة باللون الأزرق ستنتج فقط معلومة اللون الأزرق للنقاط المناظرة لها في المشهد المصور، وبذلك ستفتقد هذه البكسلات

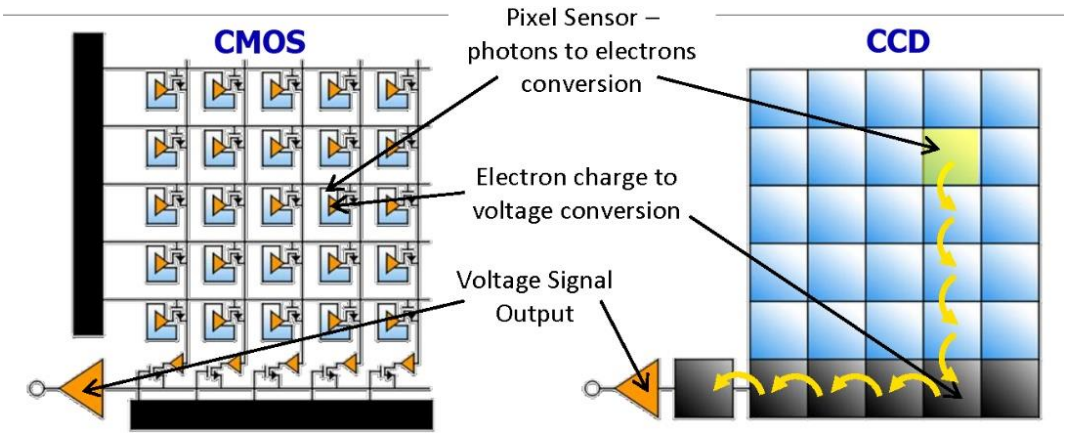
لمعلومة المكون اللوني الأخضر، والمكون اللوني الأحمر لهذه النقاط من المشهد. ونظراً لأن إعادة إنتاج ألوان الموضوعات المصورة يتطلب تحديد معلومات الألوان الأحمر والأخضر والأزرق المناظرة لكل نقطة في المشهد المصور، فتقوم الكاميرا بعد ذلك بتوليد معلومة اللونين الناقصين في كل بكسل*، حتى تكتمل معلومات الألوان الثلاثة في كل نقطة من الصورة. وتقوم الكاميرا بتوليد اللونين الناقصين في كل بكسل بدلالة ألوان البكسلات المحيطة به، ففي حالة البكسلات الزرقاء على سبيل المثال، تقوم الكاميرا بتوليد معلومة اللون الأخضر فيها بدلالة معلومات البكسلات الخضراء المجاورة، وكذلك تقوم بتوليد معلومة اللون الأحمر بدلالة معلومات البكسلات الحمراء المجاورة. وتتباين الشركات المصنعة للكاميرات في الطريقة التي تستنتج بها معلومات اللونين الناقصين في كل بكسل من البكسلات المجاورة له.[3-p.29]

وتقوم الكاميرا بالتعبير عن قيم الألوان الثلاثة في كل بكسل بقيم رقمية محددة، فإذا كانت الكاميرا تعمل بنظام 8-bit فإن ذلك يعني أن الكاميرا تستطيع إنتاج ٢٥٦=٢^٨ درجة نصوع لكل لون من الألوان الثلاثة، فيكون إجمالي الدرجات اللونية التي تستطيع الكاميرا إنتاجها في كل بكسل هي ٢٥٦x٢٥٦x٢٥٦=١٦،٧ مليون درجة لون. أما إذا كانت الكاميرا تعمل بنظام 16-bit فإن ذلك يعني أنها تستطيع إنتاج ٦٥٥٣٦=٢^١٦ درجة نصوع لكل من الألوان الثلاثة، وبالتالي يكون إجمالي الدرجات اللونية التي تستطيع الكاميرا إنتاجها في كل بكسل هي ٣٦٥٥٣٦ أي ما يعادل ٢٨١ تريليون درجة لون.[6-p.19]

والكاميرات الرقمية تستخدم عمق لوني إما 12-bit أو 14-bit أو *16-bit، ويسمح التصوير بصيغة raw باستخدام كامل المدى اللوني للكاميرا. أما في حالة التصوير بصيغة Jpg فلا يستخدم سوى 8-bit فقط لكل قناة لون.[3-p.27, 92]

٣. أنواع مستشعرات الكاميرات الرقمية:

يوجد نوعين رئيسيين من المستشعرات المستخدمة مع الكاميرات الرقمية: النوع الأول هو مستشعرات الشحن المتقارن CCD**، والنوع الثاني هو مستشعرات أشباه الموصلات المعدنية CMOS***. والفرق الوحيد بين كلا النوعين هو في كيفية خروج الشحنات المتكونة في بكسلات المستشعر؛ ففي حالة مستشعرات CCD فإن شحنات صف واحد فقط من البكسلات هي التي تخرج إلى مكبر الإشارة amplifier ومنه إلى محول الإشارات التناظرية إلى رقمية، ثم تتحرك شحنات باقي صفوف البكسلات بشكل متقارن، أي تحل شحنات بكسلات الصف الذي يلي الصف الذي خرجت شحناته محل الشحنات التي خرجت، وتحل في نفس الوقت شحنات بكسلات كل صف محل شحنات بكسلات الصف الذي يليه، حتى تخرج جميع شحنات البكسلات من جميع صفوف المستشعر. أما في حالة مستشعرات CMOS فإن كل بكسل يحتوي على مكبر إشارة، بحيث تخرج جميع شحنات البكسلات في وقت واحد.[3-p.21-22] ويوضح شكل (٣) كيفية خروج الإشارة في كل من نوعي المستشعرات.



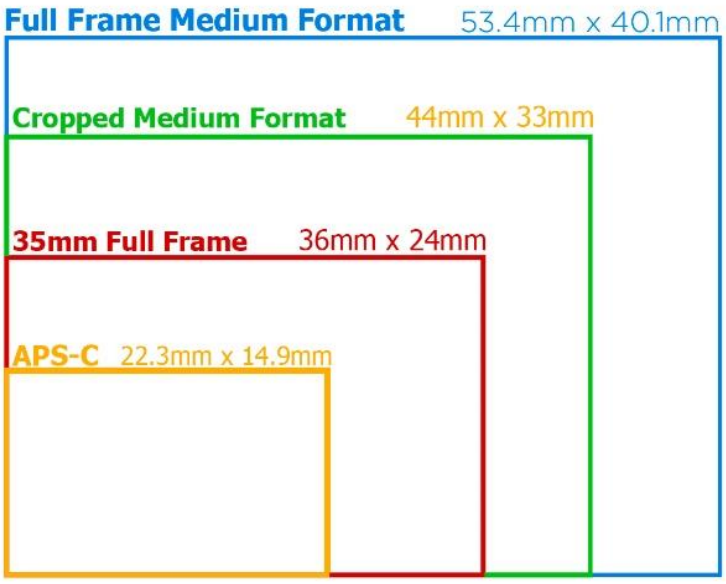
https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/4f753db8b184a2a822dca290ddbe0d36dc453b61/10-Figure6-1.png

شكل (٣) كيفية خروج الإشارة في كل من نوعي المستشعرات CCD, CMOS

٤. المقاسات المختلفة لمستشعرات الكاميرات الرقمية:

على مدار تاريخ الفوتوغرافيا تم إنتاج العديد من مقاسات الأسطح الحساسة لاستخدامها مع الكاميرات الفوتوغرافية، إلاَّ أنه على المستوى الاحترافي توجد ثلاث تصنيفات أساسية لمقاسات الأفلام المستخدمة مع الكاميرات الفوتوغرافية وهي:[12-p.16] **التصنيف الأول:** مقاس ٣٥مم، وأبعاد الصورة السلبية التي تنتجها الكاميرا هي ٢٤x٣٦مم، وتستخدم هذه الأفلام مع الكاميرات العاكسة ذات العدسة الواحدة 35mm SLR. و**التصنيف الثاني:** مقاس الأفلام المتوسطة roll film type 120، حيث عرض الفيلم ٦سم، ولكنه يعطى أبعاداً للصورة على الفيلم تتباين حسب نوع الكاميرا المستخدمة في التصوير فتكون ٦x٤،٥سم أو ٦x٦سم أو ٦x٧سم أو ٦x٩سم، وتستخدم هذه الأفلام مع الكاميرات العاكسة ذات العدستين *TLR مثل كاميرا Rolleiflex، أو مع الكاميرات المتوسطة العاكسة ذات العدسة الواحدة مثل كاميرا Mamiya RB67. و**التصنيف الثالث:** مقاس الأفلام الكبيرة، وهي بمقاسات ٤ x ٥ بوصة أو ٥x٧ بوصة أو ٨x١٠ بوصة، إلاَّ أن المقاس الأكثر شيوعاً هو ٤x٥ بوصة، وتستخدم هذه الأفلام مع الكاميرات الكبيرة الحجم large format cameras. وكلما زادت مساحة الصورة المتكونة على الفيلم داخل الكاميرا، تزيد أيضاً جودة الصورة؛ حيث يتم تسجيل المزيد من التفاصيل على سطح الفيلم بحدة أعلى وبدرجات لونية أغنى، وكذلك بحجم حبيبات أقل في الصورة النهائية grains، نظراً لأن درجة تكبير الصورة النهائية تكون أقل من نظيرتها التي نحصل عليها من فيلم ذو مقاس أصغر.[15-pp.22-39]

أما في حالة الكاميرات الرقمية فيوجد تصنيفين للمستشعرات الرقمية المستخدمة مع الكاميرات الفوتوغرافية الاحترافية وفقاً لمساحتها، كما يظهر في شكل (٤): **التصنيف الأول** يضم المستشعرات المستخدمة مع الكاميرات الرقمية ٣٥مم، ويشمل مقاسين: المقاس الأول هو الأكبر وتكون أبعاد المستشعر الرقمي له هي ٢٤x٣٦مم، ويطلق على الكاميرات التي لها هذا المقاس للمستشعر اسم full frame، نظراً لأن المستشعر له نفس أبعاد الكادر السلبي الذي يتم إنتاجه باستخدام الأفلام مقاس ٣٥مم. والمقاس الثاني هو الأصغر cropped، حيث تكون أبعاد المستشعر تقريباً هي ١٥x٢٣مم، ويطلق على هذا المقاس اسم APS-C.[4-p.19] **والتصنيف الثاني** يضم المستشعرات المستخدمة مع الكاميرات المتوسطة Medium Format، وفي الأظهر الرقمية Digital backs، ويشمل مقاسين: المقاس الأول كبير full frame medium format وأبعاده هي ٤٠ممx٥٣مم، وبذلك تزيد مساحته بمقدار ٢،٥ ضعف مساحة المستشعر الكبير المستخدم مع الكاميرات الرقمية ٣٥مم ذو أبعاد ٢٤x٣٦مم. والمقاس الثاني أصغر cropped medium format وأبعاده هي ٣٣ممx٤٤مم.[23]

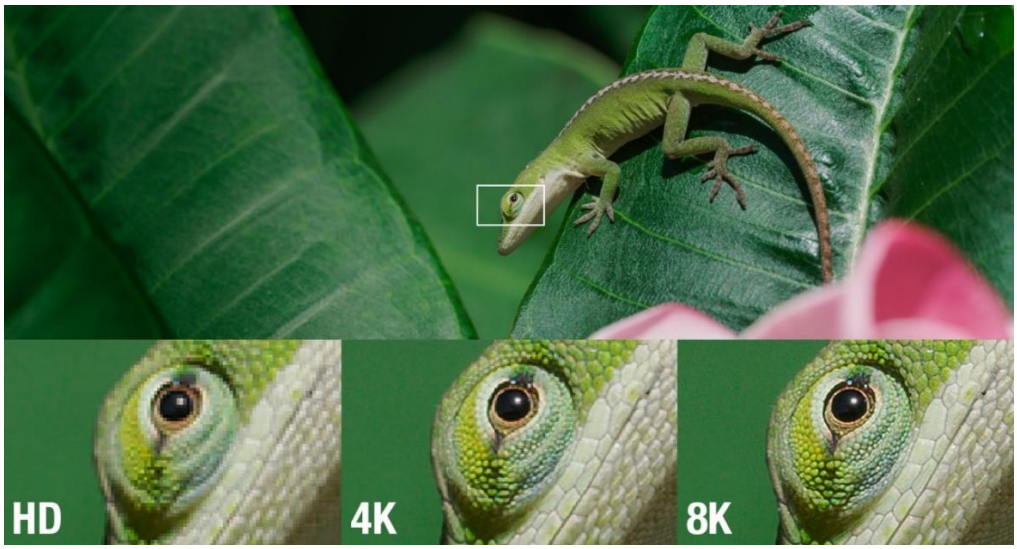


شكل (٤) المقاسات المختلفة لمستشعرات الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية

والكاميرات السينمائية الرقمية أيضاً تستخدم مقاسات متعددة للمستشعرات، تتباين أبعادها من شركة لأخرى. فعلى سبيل المثال فإن أكبر مقاس لمستشعر رقمي تستخدمه شركة Red في كاميراتها هو ٤٠،٩٦x٢١،٦مم وهو المستخدم مع كاميرتها MONSTRO.[28] وأكبر مقاس لمستشعر تستخدمه شركة Arri في كاميراتها هو ٣٦،٧٠x٢٥،٥٤مم وهو المستخدم مع كاميرتها ALEXA LF.[27] وأكبر مقاس لمستشعر تستخدمه شركة Canon في كاميراتها السينمائية هو ٣٨،١x٢٠،١مم وهو المستخدم مع كاميرتها EOS C700 FF PL.[26] وأكبر مقاس تستخدمه شركة Sony في كاميراتها السينمائية هو ٣٦،٢x٢٤،١مم وهو المستخدم مع كاميرتها Venice.[25]

٥. أثر مساحة المستشعر الرقمي على قوة التحديد: Resolution

تعرف قوة التحديد للكاميرا الرقمية بأنها عدد البكسلات التي يحتوي عليها سطح المستشعر. وجميع الكاميرات الرقمية سواء تلك المصممة للتصوير الثابت أو المتحرك، تستخدم مستشعرات تحتوي على الملايين من المواقع الضوئية على شكل صفوف تغطي سطح المستشعر. وفي الكاميرات الفوتوغرافية يتم التعبير عن هذا العدد بقيمة megapixels وهي تعادل مليون بكسل.[2-p.136] أما في الكاميرات السينمائية فيتم التعبير عن قوة تحديد الكاميرا بعدد بكسلات المحور الأفقي للمستشعر، حيث تكتب *1920, 2K, 4K, 5K، وهكذا.[2-p.142] وكلما زاد عدد البكسلات التي يحتوي عليها المستشعر higher resolution، كلما أمكن الحصول على صور نهائية ذات مساحات أكبر، فكما يظهر في شكل (٥) فإن الصورة التي تم تصويرها بمستشعر ذو قوة تحديد 8K (8192x4320) يمكن تكبيرها إلى مساحة تبلغ ١٧ ضعف المساحة التي يمكن الحصول عليها عند التصوير بمستشعر HD (1920x1080)، وأربعة أضعاف المساحة التي يمكن الحصول عليها عند التصوير بمستشعر 4K (4096x2160).[28] وأقصى قوة تحديد متاحة الآن في الكاميرات الفوتوغرافية هي ١٥١ ميجا بكسل، وهي متوفرة في الظهر الرقمي Phase One - XF IQ4،[29] وأقصى قوة تحديد متاحة في الكاميرات السينمائية هي 8K، وهى متوفرة مع كاميرات Sony-F65 [24], Red-Monstro, Red-Helium.[28]



شكل (٥) كلما زادت قوة تحديد المستشعر الرقمي كلما أمكن تكبير الصورة لمساحات أكبر

ومن الجدير بالذكر أنه لا تستخدم جميع البكسلات الموجودة على سطح المستشعر في تسجيل الصورة**، وإنما تكون هناك بعض البكسلات التي تستخدم لتحديد مستوى الأسود في الصورة black levels،[13-p.106] حيث تكون هذه البكسلات على الحدود الخارجية للمستشعر وتتم تغطيتها بحاجب معدني يمنع وصول الضوء إلى المواقع الضوئية داخلها.[12-p.111]

وفي الحقيقة فإن لمساحة مستشعر الكاميرا، وكذلك عدد البكسلات الموجودة على سطحه، تأثيراً بالغ الأهمية على جودة وكمية التفاصيل التي يمكن الحصول عليها في الصورة،[16-p.11] فهناك علاقة تربط بين كل من مساحة المستشعر، وقوة التحديد، ومساحة البكسل الواحد؛ فكلما زادت مساحة البكسل، كلما قل عدد البكسلات الإجمالية التي يمكن أن يحتوي عليها سطح المستشعر، وبالتالي تقل قوة التحديد، والعكس صحيح.[20-p.52] ويجب أن نشير إلى أن زيادة عدد بكسلات مستشعر الكاميرا، لا يعني بالضرورة زيادة جودة الصور التي تنتجها، وإنما هناك العديد من العوامل الأخرى التي تؤثر في جودة الصورة،[12-p.117] وعلى رأسها مساحة المستشعر، فكلما زاد عدد البكسلات على سطح مستشعر الكاميرا، مع ثبات مساحته، كلما صغر حجم موقع الضوء photosite داخل البكسل، وتكون مواقع الضوء داخل البكسلات متقاربة جداً من بعضها، فعند سقوط عدد كبير من الفوتونات الضوئية على سطح أحد البكسلات، ستتولد فيه شحنة كهربية زائدة عن الحد، فتتسرب هذه الشحنة إلى البكسلات المجاورة، مما قد يتسبب في حدوث هالات ضوئية في مناطق الإضاءة العالية من المشاهد المصورة، وكذلك ظهور بقع لونية في بعض أجزاء من الصورة smearing colors، ويطلق على هذا العيب في المستشعرات اسم blooming.[13-pp.105-106] ويحدث عادة حول المصادر الضوئية الظاهرة في الصورة مثل الشمس، أو حول الانعكاس المرآوي للمصادر الضوئية من على الأسطح المعدنية اللامعة.[12-p.121]

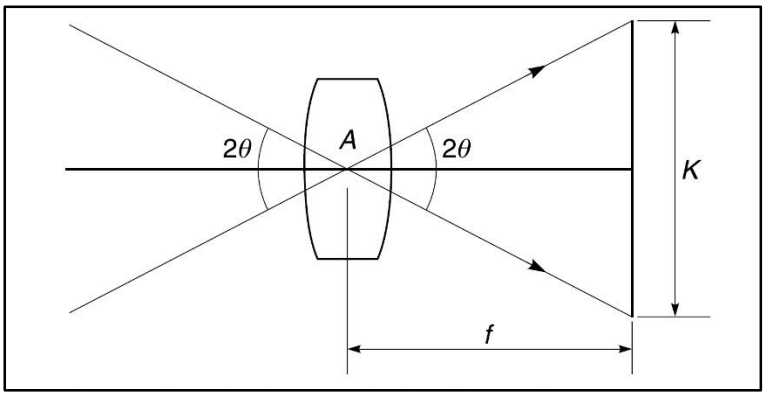
أي أنه كلما زاد عدد البكسلات في المستشعرات صغيرة المساحة، كلما قلت جودة الصورة، وزادت احتمالية ظهور عيوب فيها،[13-p.106] بينما كلما زادت مساحة المستشعر، مع ثبات قوة التحديد، كلما كانت الصور التي ينتجها أكثر نقاءً. فعلى سبيل المثال: فإن الكاميرا ذات المستشعر الكبير الذي يحتوي على ١٠ ميجا من البكسلات، ستنتج صوراً أعلى في الجودة من تلك التي تنتجها كاميرا ذات مستشعر أصغر، ويحتوي على ١٠ ميجا بكسل أيضاً.[16-p.11]

إلاَّ أن الميزة الوحيدة المؤكدة لزيادة قوة تحديد المستشعر، هي أنها تمنحنا القدرة على الحصول على صور نهائية ذات مساحات أكبر، سواء كانت مطبوعة، أو معروضه على أي نوع من أنواع الشاشات،[8-p.90] حيث تختلف مساحة البكسل في الصورة النهائية وفقاً للأبعاد المعروضة بها الصورة، فعند عرض صورة ما على شاشة جهاز الكمبيوتر، فإن مساحة كل بكسل من بكسلات هذه الصورة ستكون أصغر من مساحتها عند عرض نفس هذه الصورة على شاشة عرض كبيرة، إلاَّ أننا لا نلاحظ هذا الحجم الكبير للبكسلات في هذه الحالة بسبب بعد المسافة بيننا وبين الشاشة الكبيرة عند مشاهدة الصورة بهذه المساحة الكبيرة.[2-p.135]

٦. أثر مساحة المستشعر على زاوية مجال الرؤية: Field Angle of View

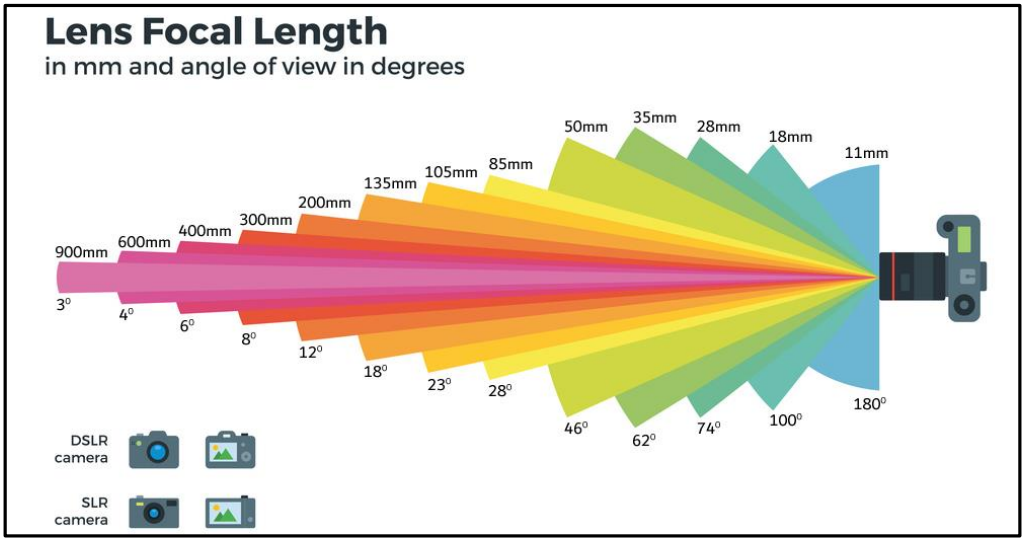
إن زاوية مجال رؤية الكاميرا هي التي تحدد المساحة التي ستظهر في الصورة من المشهد الذي يتم تصويره، ويمكن قياسها بالدرجات أفقياً ورأسياً وقطرياً. ويتأثر مجال رؤية الكاميرا بكل من: مساحة المستشعر المستخدم معها، والبعد البؤري للعدسة المستخدمة في التصوير.[18-p.125] فبالنظر إلى شكل (٦) إذا كانت زاوية مجال الرؤية للكاميرا مع العدسة A هي 2θ، وإذا كان قطر مستشعر الكاميرا هو K، والبعد البؤري للعدسة هو f، فيمكن حساب زاوية مجال الرؤية من خلال المعادلة التالية:[9-p.48]

$$A = 2\theta = 2\tan^{-1}\left(\frac{K}{2f}\right)$$



شكل (٦) حساب زاوية مجال الرؤية بدلالة البعد البؤري للعدسة وقطر المستشعر

ويعرف البعد البؤري للعدسة بأنه المسافة بين المركز البصري للعدسة وبين بؤرة العدسة، وذلك عندما يكون وضوح العدسة مضبوطاً على المالانهاية infinity. ويتم التعبير عنه بوحدة الملليمتر.[18-p.124] وتتناسب زاوية مجال الرؤية في الصورة تناسباً عكسياً مع البعد البؤري للعدسة، فكلما زاد طول البعد البؤري للعدسة، كلما ضاقت زاوية مجال الرؤية، والعكس صحيح.[2-p.286] كما يظهر في شكل (٧).



https://www.digital-photo-secrets.com/images/different-focal-distances-vector-table-lens-picture.jpg

شكل (٧) تأثير البعد البؤري على زاوية مجال الرؤية للكاميرات الفوتوغرافية ٣٥مم (٣٦x٢٤مم)

والعدسات التي تعطي صوراً تشبه الكيفية التي ترى بها العين البشرية الموضوعات في الواقع يطلق علها اسم العدسات القياسية normal lenses،[14-pp.18-20] وهي تعطي زاوية مجال رؤية تتراوح بين ٤٥ درجة إلى ٥٧ درجة، وتكون الأحجام النسبية للموضوعات المصورة بها أقرب ما تكون إلى الأحجام النسبية التي تراها العين البشرية في الواقع.[12-p.16] ويكون طول البعد البؤري للعدسة القياسية مساوياً لطول قطر المستشعر المستخدم مع الكاميرا. وبذلك فإذا قمنا بتصوير أي موضوع باستخدام أكثر من كاميرا، كل منهم لها مقاس مستشعر مختلف، باستخدام العدسة القياسية normal الخاصة بكل كاميرا، فإن المساحة التي سيظهر بها الموضوع في جميع الصور ستكون متساوية.[14-pp.18-20] أما العدسات التي يكون طول بعدها البؤري أقصر من البعد البؤري للعدسة القياسية، فتكون زاوية رؤيتها واسعة wide angle lenses، والعدسات التي يكون طول بعدها البؤري أطول من البعد البؤري للعدسة القياسية، فتكون زاوية رؤيتها أضيق telephoto lenses.[12-p.17] وفي حالة الكاميرات مقاس ٣٥مم ذات أبعاد المستشعر ٣٦x٢٤مم، يكون طول قطر المستشعر يساوي

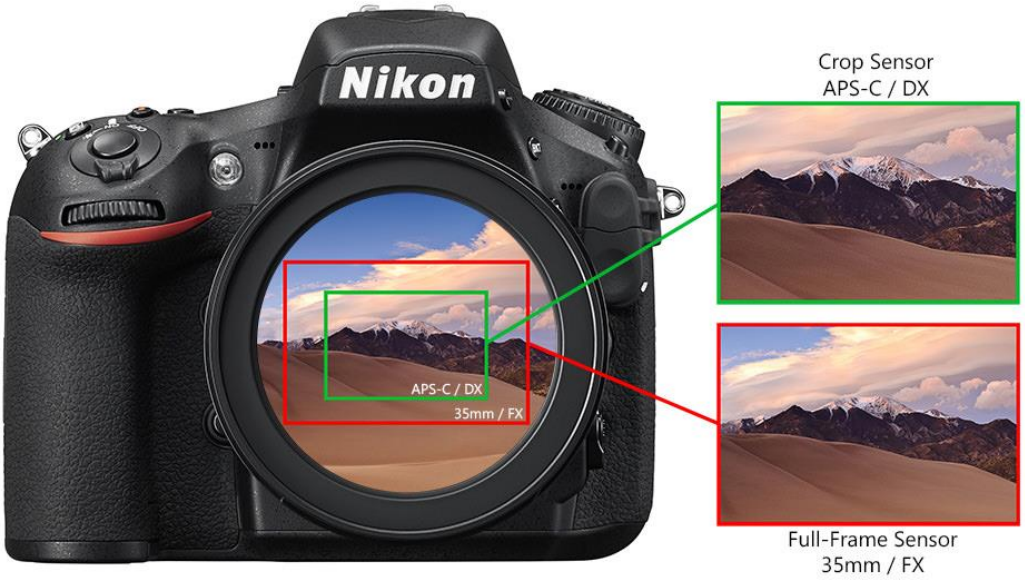
٤٣مم تقريباً، ويتم تقريبه عادة إلى ٥٠مم، ولذلك تعتبر العدسات ذات البعد البؤري ٥٠مم هي العدسات القياسية normal مع هذا النوع من الكاميرات.[1-p.203]

معامل القطع: Crop Factor

جميع العدسات المستخدمة في التصوير تكون صورها على هيئة دائرة يقع داخلها مستشعر الكاميرا المستطيل الأبعاد، ومعامل القطع يصف النسبة بين أبعاد مستشعر معين داخل هذه الدائرة، وبين أبعاد مستشعر آخر مرجعي.[21] أي أنه قيمة تستخدم لحساب الفرق في زاوية مجال الرؤية التي نحصل عليها من عدسة ما عند استخدامها مع كاميرات ذات مساحات مختلفة للمستشعرات المستخدمة معها.[18-p.350] وفي الكاميرات الرقمية الفوتوغرافية ٣٥مم تكون أبعاد المستشعر المرجعي الذي يتم حساب معامل القطع اعتماداً عليه، هي ٢٤x٣٦مم.[12-p.64] فنستخدم المعادلة التالية لتحديد معامل القطع الخاص بأي مستشعر:

Sensor crop factor = 43.25 / Diagonal size of sensor

حيث القيمة 43.25 هي طول قطر المستشعر ذو الأبعاد ٢٤x٣٦مم.[19-p.121] وبذلك نجد أنه كلما كانت مساحة المستشعر أصغر، كلما زادت قيمة معامل القطع الخاص به.[12-p.64] وبالتالي سيقوم بتسجيل مساحة أقل من الصورة الموجودة داخل دائرة العدسة.[21] كما يظهر في شكل (٨)



https://cdn.photographylife.com/wp-content/uploads/2015/01/Nikon-FX-and-DX-Sensor.jpg

شكل (٨) المستشعر الأصغر يقوم بتسجيل مساحة أقل من الصورة الموجودة داخل دائرة العدسة

وعندما نقوم بضرب قيمة معامل القطع للمستشعر الأصغر في البعد البؤري للعدسة المستخدمة معه، نحصل على قيمة البعد البؤري الذي يعطي نفس زاوية مجال الرؤية مع المستشعر ذو الأبعاد ٢٤x٣٦مم. وهذه القيمة الأخيرة يطلق عليها اسم البعد البؤري المعادل equivalent focal length.[12-p.64] فعلى سبيل المثال: فإن زاوية مجال الرؤية التي سنحصل عليها باستخدام عدسة بعدها البؤري ١٠٠مم مع كاميرا بمقاس مستشعر APS-C، ستعادل نفس زاوية مجال الرؤية التي نحصل عليها باستخدام مستشعر full frame، ولكن مع عدسة ذات بعد بؤري يساوي ١٠٠x١،٦=١٦٠مم.[4-p.19]

ويجب الإشارة إلى أن البعد البؤري للعدسة يظل ثابتاً لا يتغير في جميع الحالات، أياً كان نوع الكاميرا وأياً كان مقاس المستشعر المستخدم معها، ولكن ما يتغير هو مجال رؤية الصورة التي يكونها المستشعر للموضوع.[14-p.21] فكل عدسة

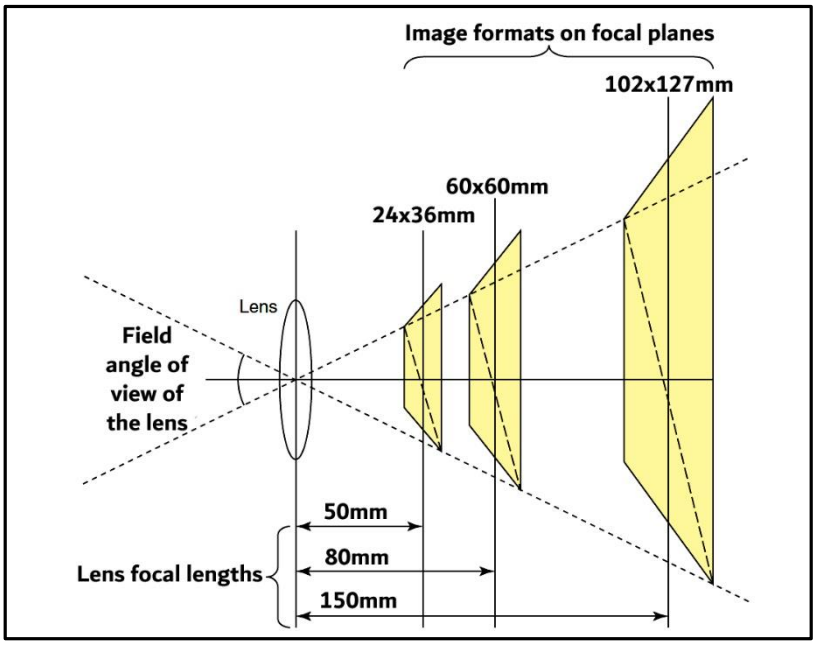
تكون الصورة داخل دائرة image circle، وقطر هذه الدائرة يكون ثابت لا يتغير بالنسبة لنفس العدسة، ولكن مساحة مستشعر الكاميرا هي التي تحدد ما الذي سوف يظهر في الصورة من محتويات هذه الدائرة.[19-p.121] كما يظهر في شكل (٨).

٧. أثر مساحة المستشعر على عمق الميدان في الصورة: Depth of Field

يعتبر عمق الميدان من أهم الوسائل الإبداعية للتعبير داخل الصورة، حيث يمكن استخدامه لتوجيه عين المشاهد داخل إطار التكوين، من خلال التأكيد على العناصر الهامة في التكوين، وعزل العناصر الأقل أهمية والتي قد تحدث تشتيت لذهن المشاهد. كما أن استخدام عمق الميدان الضحل shallow depth of field يمكن أن يؤدي إلى تحويل الخلفية المزدحمة بالتفاصيل إلى مساحات لونية مبهمة، مما يضع الموضوع الرئيس في صدارة الاهتمام. وكذلك استخدام عمق الميدان الكبير deep depth of field قد يساعد على التأكيد على التناغم بين العناصر المتكررة pattern فتنتقل العين بشكل سلس بين تلك العناصر حادة التفاصيل، التي تمتد من مقدمة الصورة إلى خلفيتها.[18-pp.106-107]

ويعرف عمق الميدان بأنه المسافة بين أقرب مستوى وأبعد مستوى تظهر العناصر الموجودة بينهما حادة التفاصيل in focus داخل إطار الصورة.[1-p.18] ويعتمد عمق هذه المسافة حادة التفاصيل على ثلاثة عوامل هي: فتحة العدسة، والمسافة بين الكاميرا والنقطة المضبوط عليها الوضوح، والبعد البؤري للعدسة. فكلما اتسعت فتحة العدسة، كلما نقص عمق الميدان في الصورة، والعكس صحيح. وكلما اقتربت الكاميرا من الموضوع الذي يتم تصويره، كلما نقص عمق الميدان، والعكس صحيح. وكلما زاد طول البعد البؤري للعدسة، كلما نقص عمق الميدان، والعكس صحيح.[18-pp.108-109]

ونظراً لأن زاوية مجال الرؤية في الصورة تعتمد على العلاقة بين البعد البؤري للعدسة وعلى مساحة مستشعر الكاميرا، فكلما زادت مساحة الفيلم أو المستشعر الرقمي للكاميرا، كلما تطلب الأمر استخدام عدسة ذات بعد بؤري أطول للحصول على مجال الرؤية المطلوب الحصول عليه في الصورة.[7-p.8] كما يظهر في شكل (٩)،[12-p.17] ولذلك ففي الكاميرات ذات أبعاد المستشعر الأصغر يكون عمق الميدان في الصور التي تنتجها أكبر من عمق الميدان الذي نحصل عليه عند تصوير نفس الموضوعات باستخدام كاميرات ذات مستشعر أكبر،[12-p.64] عند استخدام نفس فتحة العدسة ومسافة التصوير،[5-p.56] وذلك لأن زاوية مجال الرؤية التي نحصل عليها باستخدام العدسة ٥٠مم في الكاميرا ذات المستشعر الأصغر مقاس APS-C، ستعادل نفس زاوية مجال الرؤية التي نحصل عليها باستخدام عدسة ٧٥مم مع الكاميرا ذات المستشعر الأكبر مقاس full frame، وذلك لأن عمق الميدان في الصور يقل كلما زاد البعد البؤري للعدسة المستخدمة في التصوير.[12-p.64] ولذلك نجد أن هناك صعوبة في الحصول على عمق ميداني كبير عند التصوير باستخدام الكاميرات ذات المستشعرات كبيرة المساحة، نظراً لاستخدام عدسات ذات أبعاد بؤرية أطول نسبياً من تلك التي نحتاجها للتصوير بالكاميرات ذات المستشعرات الأصغر، وبصفة خاصة في حالات التصوير في مستويات إضاءة ضعيفة لا تتيح استخدام فتحة عدسة ضيقة. وبالعكس، يصعب الحصول على عمق ميداني قليل عند التصوير باستخدام الكاميرات ذات المستشعرات الصغيرة، وبصفة خاصة عند التصوير في مستويات إضاءة عالية لا تتيح استخدام فتحة عدسة متسعة.[7-p.8]



شكل (٩) استخدام بعد بؤري أطول للحصول على نفس زاوية الرؤية مع المستشعر الأكبر.

٨. أثر مساحة المستشعر على مدى التباين الذي يمكنه تسجيله: Dynamic Range

تستطيع العين البشرية أن تميز مدى هائل للتباين بين أجزاء المشاهد التي تراها، فهي قادرة على تمييز النطاق الكامل لدرجات النصوع بدءاً من الأجزاء الواقعة في الظلال، وحتى الأجزاء الواقعة في ضوء الشمس المباشر. أما في حالة مستشعرات الكاميرات الرقمية فيكون مدى التباين الذي يستطيع المستشعر تسجيله أقل كثيراً من ذلك المدى الذي تستطيع العين تمييزه؛ فيحدث أحياناً أن تظهر مناطق الظلال سوداء تماماً في الصورة دون أي تفاصيل، وأحياناً أخرى تظهر مناطق الإضاءة العالية من المشهد المصور مطموسة بالأبيض تماماً washed out، وتخلو أيضاً من أي تفاصيل.[11-p.70]

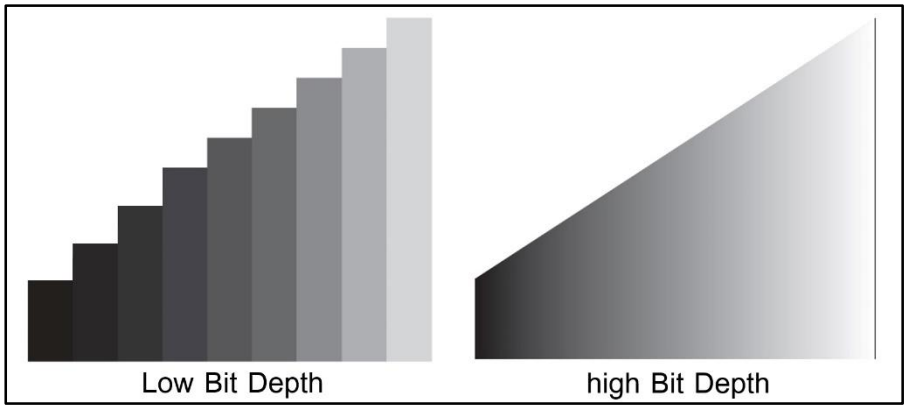
ويعرف مدى التباين الذي تستطيع الكاميرا تسجيله dynamic range بأنه المدى بين أقل درجة نصوع وأعلى درجة نصوع تستطيع الكاميرا إعادة إنتاجهم في نفس الوقت، ودون حدوث فقد في التفاصيل في أي منهم. فعندما يكون هذا المدى قليل، فإما أن يحدث فقد في التفاصيل في مناطق الإضاءة العالية من المشهد المصور؛ بسبب زيادة التعريض في تلك المناطق، أو يحدث فقد في التفاصيل في مناطق الإضاءة المنخفضة من المشهد المصور؛ بسبب نقص التعريض في تلك المناطق.[14-p.34]

ويتم التعبير عن مدى التباين الذي يستطيع المستشعر تسجيله بعدد وقفات العدسة f/stops التي يمكن زيادة التعريض فيها ويظل المستشعر ينتج معها درجة نصوع مختلفة كلما زاد التعريض بمقدار فتحة عدسة واحدة. ومن الجدير بالذكر أن هذا المدى يتراوح في الأفلام الفوتوغرافية negative بين ٨ إلى ١٠ فتحات عدسة.[10-p.151] ويقل كثيراً هذا المدى في الأفلام الفوتوغرافية العكسية reversal نظراً لأن مدى التعريض لها exposure latitude أقل كثيراً من الأفلام السلبية.[10-p.70] أما الكاميرات الرقمية فهي تختلف في مدى قدرتها على تسجيل التباين من كاميرا لأخرى، ففي الكاميرات الفوتوغرافية نجد أنها تصل إلى ١٥ فتحة عدسة كما هو الحال مع الظهر الرقمي Phase One - XF IQ4 150MP،[29] ويصل في حالة الكاميرات السينمائية إلى ١٧ فتحة عدسة كما هو الحال مع الكاميرا – Red MONSTRO.[28]

وتؤثر مساحة المستشعر على مدى التباين الذي يستطيع تسجيله، فكلما صغرت مساحته وزادت قوة تحديده، ستصغر مساحة البكسل، وكلما كانت مساحة البكسل أصغر، فإن أقصى شحنة كهربية يستطيع إنتاجها في مقابل الفوتونات الضوئية الساقطة

عليه تكون هي الأخرى قليلة*، وبالتالي فإن البكسل يتشبع بالشحنة الكهربية داخله أسرع من البكسل الأكبر في المساحة، مما يؤدي إلى أن البكسل الأصغر لا يستطيع ترجمة المستويات الضوئية الأعلى في المشهد المصور، لأنه كلما سقطت عليه فوتونات ضوئية أكثر، لن يستطيع ترجمتها إلى شحنة أكبر بسبب وصوله إلى أقصى شحنة بالفعل، وبالتالي سيحدث فقد في تفاصيل مناطق الإضاءة العالية من المشاهد المصورة clipping، أما البكسل الأكبر والذي لم يصل بعد لأقصى شحنة يستطيع تجميعها، فيستطيع ترجمة مستويات الإضاءة الأعلى بشحنات كهربية أكبر، دون حدوث فقد في التفاصيل في تلك المناطق من الصورة.(12-pp.124-125)

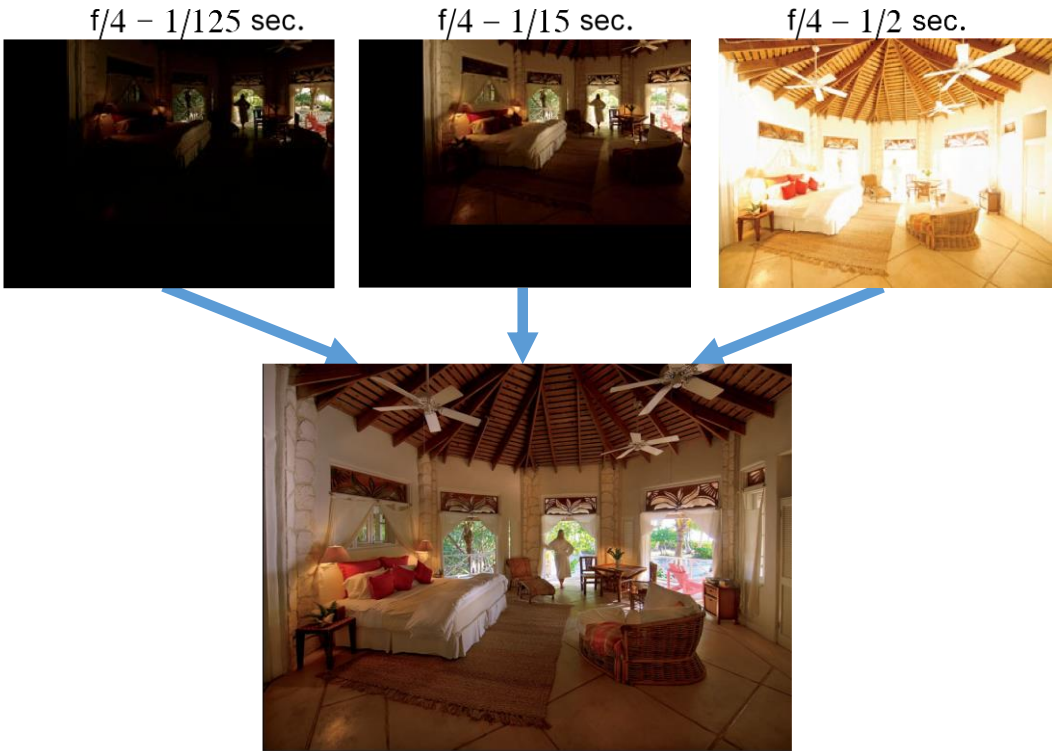
ومن الجدير بالذكر أن زيادة عدد درجات النصوع التي تستطيع الكاميرا إنتاجها في كل بكسل bit depth، لا يعني على الإطلاق زيادة مدى التباين الإجمالي الذي تستطيع الكاميرا تسجيله dynamic range، فعلى الرغم من أن هناك علاقة تربط بينهما، إلاَّ أن هذه العلاقة غير مباشرة، ولا تبيح لنا اعتبار المفهومين على أنهم نفس الشيء. فمدى التباين الذي يستطيع المستشعر تسجيله يرتبط بشكل أساسي بالمستشعر، وبأقصى درجة نصوع يستطيع أن ينتجها دون أن يحدث بعدها تسرب للشحنة إلى البكسلات المجاورة، فتحدث الهالة الضوئية المسماة blooming، وكذلك بأقل درجة نصوع يستطيع المستشعر إنتاجها دون حدوث تشويش في الإشارة noise. فالحقيقة أنه يمكن تشبيه العلاقة بين كلا المفهومين بالدرج staircase، فيكون مدى التباين للكاميرا dynamic range هو ارتفاع الدرج، أي المسافة بين أعلى نقطة وأسفل نقطة فيه. ويكون عدد درجات النصوع التي تنتجها الكاميرا bit depth، هو عدد الدرجات بين النقطتين. فإذا أردنا صعود الدرج بشكل ناعم وسلس من أسفل نقطة إلى أعلى نقطة فيه، فنحن نحتاج إلى عدد كبير من الدرجات، وخصوصاً إذا كان ارتفاع الدرج كبير. (6-p.18) فكما يظهر في شكل (١٠) نجد أنه كلما زاد عدد درجات النصوع التي تستطيع الكاميرا إنتاجها high bit depth، كلما كانت حركة الصعود انتقالاً بين الدرجات المختلفة ناعمة وغير ملحوظة. أما في حالة نقص عدد درجات النصوع التي تستطيع الكاميرا إنتاجها low bit depth، كلما كانت حركة الصعود انتقالاً بين الدرجات المختلفة صعبة وواضحة.(10-pp.119-121) إلاَّ أنه في جميع الحالات، فمهما زاد عدد الدرجات bits التي يشتمل عليها الدرج، فإن ذلك لن يزيد من ارتفاعه dynamic range.(6-p.18)



شكل (١٠) العلاقة بين عدد درجات النصوع الذي تستطيع الكاميرا إنتاجها ومدى التباين الذي تستطيع تسجيله

وللتحايل على نقص قدرة الكاميرات الرقمية على تسجيل مدى تباين عالي، يستخدم أسلوب يعرف بمدى التباين العالي HDR، وهو يعتمد على تصوير نفس المشهد بأكثر من تعريض، بحيث يكون التعريض الأول مخصص لإظهار تفاصيل المناطق الداكنة من المشهد، والتعريض الثاني تستخدم فيه فتحة أو فتحتين عدسة أضيق، وهكذا حتى نصل إلى التعريض الأخير والذي يكون مخصصاً لإظهار التفاصيل في مناطق الإضاءة العالية من المشهد، ثم يتم تصدير جميع اللقطات إلى

أحد تطبيقات الكمبيوتر المخصصة لإنتاج صور ذات مدى تباين عالي HDR، فيقوم بدمج جميع التعريضات للحصول على صورة بها تفاصيل صحيحة في جميع مستويات الإضاءة، كما يظهر في شكل (١١).[11-p.71]



شكل (١١) إنتاج صورة ذات مدى تباين عالي HDR بدمج تعريضات متعددة

٩. أثر مساحة المستشعر على الاستجابة الضوئية: Sensitivity

تعتمد الاستجابة الضوئية لمستشعر الكاميرا على مقدار قدرته على تحويل فوتونات الضوء الساقطة عليه إلى الكترونات. وتعرف هذه العملية باسم كفاءة الكم quantum efficiency، وكلما زادت كفاءة المستشعر في تحويل الفوتونات إلى الكترونات، فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الاستجابة الضوئية للمستشعر، وانخفاض نسبة التشويش في الصورة.[20-p.52] وتتيح الكاميرات الرقمية اختيار قيمة استجابة ضوئية محددة iso speed لاستخدامها في التصوير، وتقوم الكاميرا بتضخيم الشحنة الكهربية التي تم إنتاجها في كل بكسل بما يتناسب مع قيمة iso التي تم اختيارها، إلاَّ أن ذلك سيؤدي أيضاً إلى تضخيم الإشارات الضعيفة غير المرغوب فيها، فتزيد نسبة التشويش noise في الصورة.[4-p.130]

وعادة تكون حساسية المستشعر الفعلية* للضوء هي أقل قيمة للاستجابة الضوئية تسمح الكاميرا باختيارها** وكلما تم اختيار استجابة ضوئية أعلى، كلما أمكن الحصول على تعريض صحيح مع إضاءة أقل.[17-p.40] وتتباين الكاميرات الرقمية في مدى الاستجابات الضوئية الذي تسمح به في التصوير، فنجد أن هذا المدى يتراوح بين 100 iso إلى 102400 iso في الكاميرا الفوتوغرافية الرقمية Nikon-D6.[22]

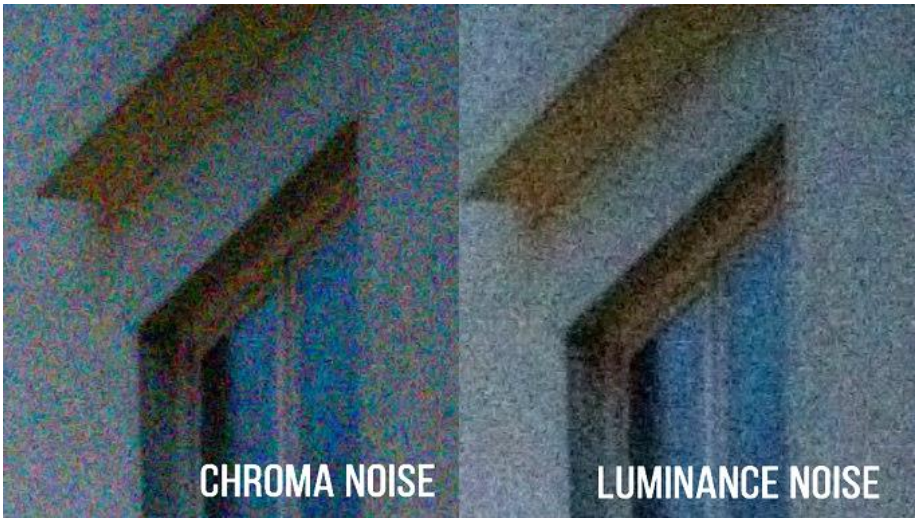
وعند استخدام الاستجابة الضوئية الفعلية للمستشعر، لن تقوم الكاميرا بأي تعديل على إشارة الصورة التي أنتجها كل بكسل في مقابل فوتونات الضوء التي تعرض لها أثناء التصوير، أما عند اختيار استجابات ضوئية أعلى فستقوم الكاميرا بعمل تضخيم gain للإشارة، ويقاس هذا التضخيم بوحدة الديسبل dB، فكلما حدث تضخيم للإشارة بما يعادل 6+ dB فإن ذلك يعني أنها تضاعفت بما يعادل فتحة عدسة واحدة أوسع. والتضخيم بمقدار 12+ dB يعني أن الإشارة تضاعفت بما يعادل فتحتي عدسة أوسع، وهكذا..[2-p.145]

وكما ذكرنا سابقاً، فإنه في حالة المستشعرات الرقمية فإن كل بكسل يحتوي في جزء منه على دوائر الكترونية تستخدم لإخراج الإشارة الكهربية الناتجة عن تعرضه لفوتونات الضوء الساقط، وهذا الجزء من البكسل يكون غير حساس للضوء، ولا يقوم بتحويل الفوتونات إلى الكترونات، وبالتالي فإنه ليست كل مساحة المستشعر تكون حساسة للضوء الساقط عليها والقادم من عدسة الكاميرا، وذلك على العكس من الأفلام التقليدية التي تكون كامل مساحة الفيلم حساسة للضوء.[15-p.13] وعندما تكون الكاميرا ذات قوة تحديد عالية مع مساحة مستشعر صغيرة، فإن ذلك يعني بالضرورة أن تكون مساحة كل بكسل صغيرة جداً، وبالتالي ستقل كمية الضوء التي يستقبلها كل بكسل، مما يؤدي إلى انخفاض الاستجابة الضوئية للمستشعر lower iso.[2-p.145]

١٠. أثر مساحة المستشعر على نسبة التشويش: Noise

إن أي إشارة الكترونية لابد وأن يكون بها نسبة ولو قليلة جداً من التشويش، فهو أمر حتمي من الناحية الفيزيائية.[2-pp.146-147] فعندما يتعرض البكسل للضوء القادم من عدسة الكاميرا، يقوم الجزء الحساس منه للضوء، بتحويل فوتونات الضوء الساقطة عليه إلى شحنة كهربية، فإذا كانت الإشارة التي أنتجها البكسل أضعف من الشحنات الأخرى الناتجة من الدوائر الكهربية الموجودة على سطح البكسل، فإن الصورة النهائية سيظهر فيها تشويش واضح. والعكس صحيح، فكلما كانت نسبة الإشارة الناتجة عن تحويل فوتونات الضوء إلى الكترونات أكبر من الشحنات الأخرى الناتجة عن الدوائر الكهربية الموجودة على سطح البكسل، ستقل نسبة التشويش في الصورة.[20-p.52] ويتم التعبير عن مقدار التشويش في الصورة الرقمية بنسبة الإشارة إلى التشويش signal – to noise ratio، والتي قد تكتب اختصاراً إما S/N أو SNR، وتقاس هذه النسبة بوحدة الديسبل dB، وكلما زادت هذه النسبة فإن ذلك يعني أن إشارة الصورة أكثر نقاءً، وبها أقل قدر ممكن من التشويش، والعكس صحيح.[2-p.147]

ويظهر التشويش في الصورة على هيئة نقاط أو بقع عشوائية spots، ويوجد نوعين من التشويش في الصور الرقمية كما يظهر في شكل (١٢)، إحداهما تكون فيه هذه النقاط العشوائية ذات درجات سطوع متباينة luminance noise، وتظهر في الصورة بشكل يشبه حبيبات الأفلام التقليدية grains. والنوع الآخر تكون فيه هذه النقاط العشوائية ملونة chroma noise، وهو النوع الأسوأ، ويكون مظهره قبيح في الصورة، وهو الأكثر صعوبة في إزالته في مرحلة المعالجة بعد التصوير.[17-p.40] ويظهر النوع الأول luminance عند استخدام استجابة ضوئية أعلى بسبب تضخيم الإشارة، أما النوع الثاني chroma فيحدث بسبب حدوث تضخيم لإشارة بعض القنوات اللونية بنسب أعلى من القنوات الأخرى. وتظهر مشكلة التشويش في الصورة الرقمية بشكل أوضح في المناطق القاتمة من الصورة؛ وذلك بسبب أن الإشارة التي أنتجتها البكسلات في هذه المناطق من الصورة تكون ضعيفة جداً بالشكل الذي لا يمكن تمييزه عن الكترونات التشويش في تلك المناطق.[2-pp.146-147]



http://blog.pricedeals.com/wp-content/uploads/2017/10/color-chroma-noise-vs-luminance-noise.jpg

شكل (١٢) أنواع التشويش في الصورة الرقمية

وتتسبب صغر مساحة المستشعر في أن تكون مساحة البكسل صغيرة، فتقل المساحة المعرضة من سطحه للفوتونات الضوئية أثناء التعريض،[20-p.52] وبالتالي تقل الشحنة الكهربية التي يستطيع إنتاجها وتجميعها في مقابل فوتونات الضوء الساقطة عليه، مما يتطلب تضخيم الإشارة التي ينتجها بدرجات أكبر، الأمر الذي سيؤدي أيضاً إلى تضخيم التشويش البسيط الذي تحتوي عليه الإشارة، فيصبح واضحاً في الصورة. على العكس من البكسل الأكبر والذي تكون نسبة التشويش فيه أقل.[12-pp.124-125] وأيضاً يترتب على صغر مساحة المستشعر أن تكون مواقع الضوء داخل البكسلات قريبة جداً من بعضها، وبالتالي سوف تزيد احتمالية حدوث تداخلات في الإشارات بين البكسلات المتجاورة، مما يؤدي إلى زيادة التشويش noise في الصورة.[2-p.145]

وفي السنوات الأخيرة تطورت المستشعرات بدرجة كبيرة بحيث أصبحت درجات التشويش في الصورة أقل ما يمكن، باستثناء الحالات التي يتم فيها استخدام استجابات ضوئية عالية جداً.[17-p.40] ولذلك يفضل استخدام الاستجابة الضوئية الفعلية للمستشعر، حتى تكون نسبة تضخيم الإشارة أقل ما يمكن، وبالتالي يكون التشويش غير ملحوظ في الصورة،[12-p.125] فنحصل على أفضل جودة ممكنة في الصورة.[17-p.40]

النتائج:

1. إن لمساحة مستشعر الكاميرا، تأثيراً بالغ الأهمية على جودة وكمية التفاصيل التي يمكن الحصول عليها في الصورة الفوتوغرافية أو السينمائية أو التليفزيونية، فكلما كانت مساحة الصورة التي تكونت على مستشعر الكاميرا أكبر، كلما قلت نسبة التكبير اللازمة لها للحصول على أبعاد الصورة النهائية، وبالتالي ستكون التفاصيل والدرجات اللونية أفضل في الصورة النهائية، مما لو كانت الصورة الأصلية قد تكونت على مستشعر أصغر.

2. كلما زادت مساحة المستشعر، كلما زادت زاوية مجال رؤية الكاميرا للصورة القادمة من العدسة، وكلما تطلب الأمر استخدام عدسات ذات بعد بؤري أطول للحصول على مجال الرؤية المطلوب الحصول عليه في الصورة. ولذلك ففي الكاميرات ذات المستشعر الأكبر في المساحة، يكون عمق الميدان في الصور التي تنتجها أقل من عمق الميدان الذي نحصل عليه عند تصوير نفس الموضوعات باستخدام كاميرات ذات مستشعر أصغر، عند استخدام نفس فتحة العدسة ومسافة التصوير.

3. كلما زادت مساحة المستشعر، كلما زادت مساحة البكسل، عند ثبات قوة التحديد، مما يؤدي إلى:

- زيادة أقصى شحنة كهربية يستطيع البكسل إنتاجها وتجميعها، وبالتالي يزيد مدى التباين الذي يستطيع المستشعر تسجيله dynamic range، فلا يحدث فقد في التفاصيل في مناطق الإضاءة العالية، أو مناطق الظلال من الصورة.
- زيادة المساحة المعرضة من البكسل لفوتونات الضوء القادم من العدسة، فتزيد الاستجابة الضوئية للمستشعر sensitivity.
- زيادة نسبة الإشارة الناتجة عن تحويل فوتونات الضوء إلى الكترونات، عن الشحنات الأخرى الناتجة عن الدوائر الكهربية الموجودة على سطح البكسل، فتقل نسبة التشويش noise في الصورة.

4. تتيح الكاميرات الرقمية اختيار قيمة استجابة ضوئية محددة iso speed لاستخدامها في التصوير، وتقوم الكاميرا بتضخيم الشحنة الكهربية التي تم إنتاجها في كل بكسل بما يتناسب مع قيمة iso التي تم اختيارها، إلاَّ أن ذلك سيؤدي أيضاً إلى تضخيم الإشارات الضعيفة غير المرغوب فيها، فتزيد نسبة التشويش noise في الصورة.

5. يترتب على صغر مساحة المستشعر أن تكون مواقع الضوء داخل البكسلات قريبة جداً من بعضها، وبالتالي تزيد احتمالية حدوث تداخلات في الإشارات بين البكسلات المتجاورة، مما يؤدي إلى زيادة التشويش noise في الصورة.

6. زيادة عدد بكسلات مستشعر الكاميرا، لا يعني بالضرورة زيادة جودة الصور التي تنتجها، فكلما زاد عدد البكسلات في المستشعرات صغيرة المساحة، كلما صغرت مساحة البكسل، وبالتالي قلت جودة الصورة، وزادت احتمالية ظهور عيوب فيها، بينما كلما زادت مساحة المستشعر، مع ثبات قوة التحديد، كلما كانت الصور التي ينتجها أكثر نقاءً. إلاَّ أن الميزة الوحيدة المؤكدة لزيادة قوة تحديد المستشعر، هي أنها تمنحنا القدرة على الحصول على صور نهائية ذات مساحات أكبر، سواء كانت مطبوعة، أو معروضه على أي نوع من أنواع الشاشات.

7. زيادة عدد درجات النصوع التي تستطيع الكاميرا إنتاجها في كل بكسل bit depth، لا يعني على الإطلاق زيادة مدى التباين الإجمالي الذي تستطيع الكاميرا تسجيله dynamic range، ولكنه يؤدي فقط إلى أن الكاميرا ستنتج تدرجات أنعم داخل نفس مدى التباين الذي تستطيع ترجمته.

التوصيات:

1. عند اختيار وتقييم الكاميرا المستخدمة في التصوير، من الضروري جداً الأخذ في الاعتبار مساحة مستشعر الكاميرا، وعدم الاقتصار فقط على الاهتمام بعدد البكسلات التي يحتوي عليها المستشعر؛ وذلك لأن تأثير مساحة مستشعر الكاميرا، وما يترتب عليه من زيادة مساحة البكسل الواحد، سينعكس على جودة وخصائص الصورة في جميع الحالات، أما عدد البكسلات التي يحتوي عليها المستشعر فتزداد أهميته فقط في الحالات التي تتطلب عرض الصورة النهائية على مساحات كبيرة جداً، سواء مطبوعة أو على أي نوع من أنواع الشاشات.

2. يجب اختيار الأبعاد البؤرية للعدسات المستخدمة في التصوير وفقاً لمساحة مستشعر الكاميرا المستخدمة، حتى يمكن الحصول على زاوية مجال الرؤية المطلوبة في اللقطة التي يتم تصويرها.

3. يفضل استخدام الاستجابة الضوئية الفعلية للمستشعر base iso، وهي غالباً تكون أقل استجابة ضوئية تسمح بها الكاميرا، حتى تكون نسبة تضخيم الإشارة أقل ما يمكن، وبالتالي يكون التشويش غير ملحوظ في الصورة، فنحصل على أفضل جودة ممكنة في الصورة.

4. يفضل استخدام كاميرا ذات مساحة مستشعر كبيرة عند الرغبة في الحصول على صورة ذات عمق ميداني قليل shallow depth of field، وخصوصاً في الحالات التي يتم التصوير فيها في مستويات إضاءة عالية لا تتيح استخدام فتحة عدسة متسعة. واستخدام كاميرا ذات مساحة مستشعر صغيرة عند الرغبة في الحصول على صورة ذات عمق ميداني

كبير deep depth of field، وخصوصاً في الحالات التي يتم التصوير فيها في مستويات إضاءة ضعيفة لا تتيح استخدام فتحة عدسة ضيقة.

المراجع:

Books:

1. Ang, Tom. 2018. *Digital Photography: An Introduction*. Fifth Edition. DK Publishing.
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. Covington, Michael A. 2007. *Digital SLR Astrophotography.* CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
5. Davis, Harold. 2008. *Practical Artistry: Light & Exposure for Digital Photographers.* O'Reilly Media.
6. Fraser, Bruce. 2005. *Real World Camera Raw with Adobe Photoshop CS.* Peachpit Press.
7. Frich, Arnaud. 2007. *Panoramic Photography: From Composition and Exposure to Final Exhibition.* Translated by Alan Greene. Focal Press.
8. Hirsch, Robert. 2008. *Light and Lens: Photography in The Digital Age.* Elsevier Inc.
9. Jacobson, Ralph E., Sidney F. Ray, Geoffrey G. Attridge, and Norman R. Axford. 2000. *The Manual of Photography.* Ninth Edition. Focal Press.
10. Johnson, Chris. 2007. *The Practical Zone System: For Film and Digital Photography.* Fourth Edition. Focal Press.
11. Kinghorn, Jay, and Jay Dickman. 2009. *Perfect Digital Photography.* Second Edition. McGraw-Hill Companies.
12. Langford, Michael, and Efthimia Bilissi. 2008. *Langford's Advanced Photography.* Seventh edition. Focal Press.
13. Long, Ben. 2015. *Complete Digital Photography.* Eighth Edition. Cengage Learning PTR.
14. Marquardt, Chris. 2018. *Wide-Angle Photography.* Rocky Nook.
15. Marquardt, Chris, and Monika Andrae. 2016. *The Film Photography Handbook: Rediscovering Photography in 35mm, Medium, and Large Format.* 1st Edition. Rocky Nook.
16. Quintenz-Fiedler, Amanda, and Philipp Scholz Rittermann. 2013. *Digital Capture After Dark.* Rocky Nook.
17. Taylor, David. 2014. *Mastering Landscape Photography.* Ammonite Press.
18. Taylor, David, Tracy Hallett, Paul Lowe, and Paul Sanders. 2015. *Digital Photography Complete Course: Learn Everything You Need to Know in 20 Weeks.* DK Publishing.
19. White, Ron. 2007. *How Digital Photography Works.* Second Edition. QUE.
20. Woodhouse, Chris. 2017. *The Astrophotography Manual: A Practical and Scientific Approach to Deep Sky Imaging.* 2nd Edition. Routledge.

Web Sites:

21. n.d. Accessed 5 10, 2020. https://www.red.com/red-101/sensor-crop-factors.
22. n.d. Accessed 5 14, 2020. https://www.nikonusa.com/en/nikon-products/product/dslr-cameras/d6.html#tab-ProductDetail-ProductTabs-TechSpecs.

23. n.d. Accessed 5 12, 2020. https://www.phaseone.com/en/Photography/Camera-Technology/Full-Frame-Medium-Format
24. n.d. Accessed 5 18, 2020. https://pro.sony/ue_US/products/digital-cinema-cameras/f65.
25. n.d. Accessed 5 18, 2020. https://pro.sony/ue_US/products/digital-cinema-cameras/venice
26. n.d. Accessed 5 12, 2020. https://www.usa.canon.com/internet/portal/us/home/products/details/cameras/cinema-eos/eos-c700-ff-pl/eos-c700-ff-pl#technicalspecifications_tab.
27. n.d. Accessed 5 12, 2020. https://www.arri.com/en/camera-systems/cameras/alexa-lf#K1.0014861.
28. n.d. Accessed 5 10, 2020. https://www.red.com/dsmc2
29. n.d. Phase One 2019, XT Camera System Brochure. Accessed 5 12, 2020. https://www.phaseone.com/en/Photography/XT-Camera-System/XT-Technology

---

* كلمة بكسل Pixel مشتقة من العبارة الإنجليزية Picture elements.

* يطلق على عملية توليد اللونين الناقصين في كل بكسل اسم color interpolation أو color demosaicing.

* تعبر الكاميرات عن العمق اللوني لها إما لكل قناة لون فتكتب 16-bit، أو لإجمالي الثلاث قنوات فتكتب 48-bit، فكلاهما نفس الشيء.

** حروف CCD هي اختصار للعبارة الإنجليزية Charge-Coupled Device.

*** حروف CMOS هي اختصار للعبارة الإنجليزية Complementary Metal Oxide Semiconductors.

* الحروف TLR هي اختصار لعبارة Twin-Lens Reflex Camera.

* كل 1K يعادل ١٠٢٤ بكسل في المحور الافقي للمستشعر.

** ولذلك تشير الشركات المصنعة في خصائص الكاميرا إلى العدد الفعلي للبكسلات المستخدمة في التصوير بمصطلح effective pixels لتمييزه عن العدد الإجمالي للبكسلات الموجودة على سطح المستشعر total pixel.

* يتم التعبير عن أقصى شحنة يستطيع البكسل إنتاجها وتجميعها بعبارة Full – well Capacity.

* يطلق على الحساسية الفعلية للمستشعر الرقمي بدون أي تضخيم اسم base iso أو native iso.

** بعض الكاميرات تسمح باختيار استجابة ضوئية أقل من الاستجابة الفعلية للمستشعر لاستخدامها في التصوير في مستويات الإضاءة العالية، ويرمز لها بالحرف "L" أو "Lo".