

جامعة البعث  
كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية  
قسم الهندسة الغذائية

# تحديد جودة الاغذية باستخدام تقنية تحليل الصور

مشروع تخرج

إعداد

نعمت شماع قضيب البان دلال صوان

إشراف

الدكتور المهندس فرحان أحمد الفين

عام 2013-2014

## الفهرس

6	مقدمة
8	مبادئ وطرائق قياس اللون Color Measurement Principles & Methods
8	مقدمة
8	تعريف اللون What is color
9	إدراك اللون Color perception
11	مصدر الضوء Light Source
12	مصدر الضوء Light Source والإضاءة Illuminant
15	خصائص الجسم المرئي
15	النفوذية Transmission
17	الانعكاس Reflection
18	الامتصاص Absorption
22	الهندسة الاتجاهية:
23	هندسة الانتشار (الكرة)
23	المراقب Observer
26	منحنيات استجابة المراقب <i>Standard Observer functions</i>
28	تنسيقات فراغ اللون Color Space Coordinates
28	نظرية اللون الثلاثي Trichromatic theory
28	نظرية تضاد الألوان Opponent Type Theory
30	نظرة تاريخية لقياس اللون
33	أنظمة قياس اللون الحديثة
46	الفراغ اللوني $L^*, c^*, h^*$

47	قياس فرق اللون
48	مشاكل الفراغ اللوني CIE Lab
49	عتبة تمييز اللون في عين الانسان
52	مميزات صيغة فرق اللون CIE 2000
55	أنظمة معالجة الصور
55	مقدمة
59	أنواع الصور Type of Images
60	الصور الثنائية Binary Images
60	الصور الرمادية (Intensity Images) Gray Scale Images
60	الصور الملونة Color Images أو RGB
61	الصور الملونة Indexed
62	استحصال الصور Image Acquisition
62	الكاميرا الرقمية Digital Cameras
66	الماسح الضوئي Scanners
69	تخزين الصور الرقمية File Formats
70	النسق JPEG
70	النسق TIFF
71	النسق GIF
71	النسق BMP
71	الاضاءة Illumination
75	ضبط اللون Color Adjustment
80	طرائق تحويل الصور الملونة إلى رمادية

80.....	Averaging	المتوسط
80.....	Luminosity	اللمعان
81.....	Desaturation	نزع الاشباع
81.....	Minimal and maximal decomposition	التفكيك الأدنى والأعظمي
82.....	The “single color channel” method	طريقة قناة اللون الوحيد
83.....	Image Enhancement	تحسين الصور
83.....	Histogram Modification	تعديل المخطط التكراري
85.....	Histogram Stretching	توسيع المدرج التكراري
86.....	Histogram Equalization (Linearization)	تسوية المدرج التكراري
87.....		الأساس الرياضي
93.....	Image Segmentation	تجزئ الصورة
93.....	Thresholding Techniques	تقنيات التعتيب
96.....	optimal thresholding	التعتيب الأمثل
99.....	Isodata algorithm	تقنية
99.....	Minimum Error	خوارزمية الخطأ الأصغري
100.....	K-means clustering	خوارزمية
101.....	Fuzzy Thresholding Algorithm	خوارزمية العتبة الضبابية
102.....	Component Labeling	تسمية المكونات
103.....	Mathematical Morphology	المعالجة المورفولوجية (التشكيلية) الحسابية
103.....	Dilation	التوسيع
104.....	Erosion	الحت
105.....	Closing	الإغلاق

106.....	Opening الفتح
108.....	تحليل الصورة الرقمي لضمان الجودة في السلسلة من القمح إلى الخبز
108.....	مقدمة
108.....	نوعية القمح
111.....	جودة الطحن
112.....	عمليات قسم التنظيف
112.....	عمليات قسم الطحن
115.....	جودة (نوعية) الدقيق
116.....	جودة الخبيز
117.....	عمليات الخبيز
119.....	جودة المنتج النهائي
121.....	الخلاصة (النتيجة)
122.....	المصطلحات الانكليزية
129.....	المراجع

## مقدمة



يتم الاعتماد على تكنولوجيا تحليل الصور في الصناعات الغذائية المتنوعة بشكل متزايد يوماً بعد يوم، وخاصة مع التطور المستمر الذي تشهده هذه التكنولوجيا وتطور أدواتها وطرقها، وتعد الصناعات الغذائية من أوائل الصناعات التي اعتمدت هذه التقنية لأهداف تقييم الجودة وتحليل ميزات العينات المفحوصة، وذلك بسبب الدقة العالية التي تتمتع بها والنتائج الموضوعية التي تعطيها حيث بإمكان الطرق الحديثة منها إعطاء صورة واضحة وبمنتهى الدقة عن كل بكسل من سطح المادة الغذائية التي يتم فحصها وتحديد مواصفات هذا السطح ومزاياه، فضلاً عن سهولة استخدامها وانخفاض تكاليفها التقنية وكونها طرق غير هدامة للعينة.

لذلك قمنا في بحثنا المتواضع هذا بجمع المعلومات التي توفرت لنا عن هذا الموضوع ابتداءً بدراسة اللون باعتباره الركيزة الأساسية للصورة والخاصة الحسية الهامة للمادة الغذائية، والعوامل الأخرى المؤثرة على لون المادة الغذائية مثل مصدر الإضاءة وخصائص الجسم المرئي والمراقب نفسه. ثم قمنا بشرح النظريات المختلفة التي تفسر اللون والتي يتم الاعتماد عليها لقياسه، وكذلك أنظمة قياس اللون الحديثة التي ظهرت بعد سنوات من العمل والبحث.

وتحدثنا أيضاً عن أنواع الصور من ثنائية ورمادية وملونة وكيفية استحصالها بكاميرات رقمية وكيفية عمل الكاميرا الرقمية أو مساحات ضوئية. وكان لابد عند حديثنا عن الصور من شرح أنظمة حفظ هذه الصور في الحاسوب وتنسيقات هذه الملفات كالنسق TIFF والنسق GIF و BMP والنسق JPEG الذي يعتبر الأكثر شعبية وانتشاراً لاسيما لعرض الصور على الإنترنت.

ثم تناولنا بعدها أنظمة معالجة الصور وتحليلها وفهمها كما ناقشنا جدارة ومحدودية تقنيات التعتیب التي هي أحد طرق تجزيء الصور وتحسينها.

وقد توخينا في عرضنا البساطة والسهولة قدر المستطاع, مع وضع الرسوم والمخططات التوضيحية اللازمة, سائلين المولى سبحانه وتعالى أن نكون قد وفقنا فيه, مع أملنا أن يلقى هذا العمل المتواضع القبول لدى أساتذتنا الأفاضل المحترمين.. والله من وراء القصد

حمص 2014م

1435هـ

## مبادئ وطرائق قياس اللون Color Measurement Principles & Methods

### مقدمة

إن لون المادة الغذائية يلعب دوراً هاماً في ترجيح المستهلك لها، فأول حكم يصدره المستهلك على جودة منتج ما إنما يتصل بلونه. وقد علمنا بالخبرة وجود علاقة من نوع ما بين اللون وخصائص جودة الطعام أو خصائصه الحسية سواء كان طازجاً أو مصنعاً. وتختلف درجة أهميته باختلاف المنتج الغذائي، وللون في الغذاء فوائد كثيرة أخرى منها الاعتماد عليه في تقدير درجة نضج الفواكه والخضراوات ومدى ملائمة ظروف الخزن لها و معرفة طول مدة الخزن و كفاءة عمليات التصنيع ووقت إتمام بعض عمليات تحضير الغذاء للاستهلاك.

لون سطح الشوكولاته يعطي فكرة عن مدة خزنها، واضمحلال لون رب البندورة يدل على وفرة من الأوكسجين في العبوة المستعملة، واسمراره الشديد يدل على ارتفاع نسبة الرطوبة أي عدم إتمام عملية التجفيف إلى الحد المطلوب أو لاعتراض صعوبات أخرى. و يتكون لون بني غامق أسمر عند قلي البطاطا ويمكن الاعتماد على شدته في معرفة الحد المطلوب من القلي، وأثناء مزج مكونات غذاء يُعتمد على المادة الملونة في معرفة تجانس المزج. لذلك في التصنيع الغذائي تتبع عدة طرق للمحافظة على اللون منها سلق الخضراوات وبعض الفواكه وتغيير الـ pH وإبعاد الأوكسجين والضوء أثناء التصنيع والخزن ومعاملة المنتج بغاز ثاني أكسيد الكبريت لمنع اسمراره ووسائل أخرى متعددة.

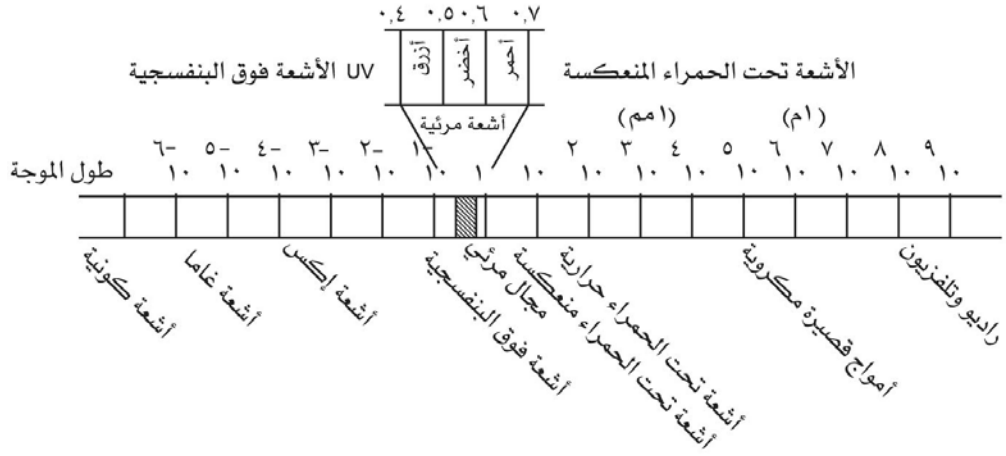
وللحصول على منتجات قياسية الصفات يجب تحديد لون المواد الغذائية بشكل دقيق وحساس وجعله مدرجاً في سجل المواصفات القياسية للمواد الغذائية.

### تعريف اللون What is color

اللون إحساس يحس به المرء عندما تسقط الطاقة بشكل إشعاع من المجال المرئي (الشكل 1) من الطيف على شبكية العين منعكسة من الجسم المرئي، وبدون الضوء لا يوجد لون، لأنه عندما يسقط الضوء على شيء ما فإما أن يُنفذ الضوء أو يعكسه على شكل طيف محدد تترجمه العين إلى استجابة أو إحساس باللون. وعين الإنسان يمكنها الإحساس بألوان الطيف المرئي الذي يتراوح أطوال الموجات الضوئية فيه من 400-700nm أما بقية الموجات لا



تدركها شبكية عين الإنسان فاللون إذن هو صفة نفسية فيزيائية Psychophysical. ويبين الجدول 1 مجال طول موجة الألوان المرئية المختلفة.



الشكل 1: أطوال موجة الطيف

## إدراك اللون Color perception

يدخل في إدراك اللون ثلاثة عناصر ضرورية: مصدر الضوء وطبيعة الجسم والعين، ولذلك فمن أجل قياس آلي للون يجب القيام بتحديد العناصر الأساسية لإدراك اللون آلياً. من هذا المنطلق سوف نقوم بشرح هذه العناصر الأساسية، إلا أنه يجب أن نبين العوامل المؤثرة على قياس اللون حسياً، والتي يعتمد عليها مستهلك المواد الغذائية، ومن هذه العوامل:

1. اختلاف المراقب Observer Subjectivity: أي اختلاف الحساسية الفردية للعين البشرية من شخص لآخر بشكل طفيف، كما تختلف هذه الحساسية عند الشخص نفسه مع تقدم العمر، لهذه الأسباب تظهر اختلافات بتقدير اللون مع اختلاف المراقب.
2. اختلاف الحجم أو المساحة Area Size: الألوان التي تغطي مساحة رؤية واسعة تكون مبهجة وزاهية vivid أكثر من نفس الألوان عندما تغطي مساحة أصغر.

3. اختلاف الأرضية (الخلفية Background): فمثلاً التفاحة التي تُشاهد على سطح لونه باهت (فاتح) يبدو لونها مختلفاً عنه عندما توضع التفاحة ذاتها على سطح عتم (داكن). وهذا ما يعرف بالتباين contrast.

الجدول (1) مجال طول الموجة للألوان المرئية.

### spectral hue categories

<i>wavelength span</i>	<i>hue name</i>
640 – 700	orange red
620 – 640	red orange
600 – 620	<b>orange</b>
590 – 600	yellow orange
580 – 590	orange yellow
570 – 580	<b>yellow</b>
560 – 570	green yellow
530 – 560	yellow green
500 – 530	<b>green</b>
490 – 500	blue green
480 – 490	green blue
460 – 480	<b>blue</b>
440 – 460	violet blue
c560 – 440	blue violet

4. اختلاف الزاوية Viewing Angles: ويقصد بذلك زاوية ورود الضوء وأيضاً الزاوية التي يُرى منها الجسم، حيث أن النظر على المادة بزاوية مختلفة يمكن أن تظهر بلون أعمق أو أفتح وخاصة للمواد الشفافة والمتألئة والصبغات المعدنية. ففي الدهان المعدني على سبيل المثال، فإن الرقائق المعدنية تنتشر في الغلاف وتعمل

مثل مرآة مجهرية، فلذلك عند النظر إليها من زاوية محددة فإن اللون سوف يبدو أفتح.

5. اختلاف طبيعة المادة Surface Conditions: يؤثر طبيعة سطح المادة على لون المادة. فعند برد سطح املس فإنه سو يبدو بلون باهت.

### مصدر الضوء Light Source

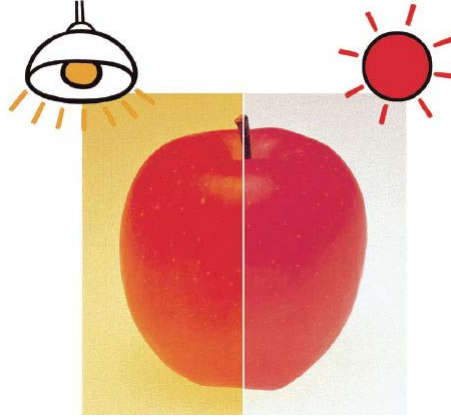
يختلف لون المادة وفقاً لنوع المصدر الضوئي، فمن البيهبي إنعدام احساس العين أو أجهزة قياس اللون في الظلام أو في حالة عدم وجود مصدر للضوء، ومع هذا فإنه بتغير مصدر الضوء مثل الضوء الساطع أو ضوء الفلوريسنس أو ضوء النهار يتغير لون المادة ونجد في حالات كثيرة أن لون المادة عند شرائها في ضوء خافت يختلف عن لونها في ضوء النهار (الشكل 2)، وتبدو البرتقالة بنية اللون إذا أنيرت بضوء أخضر على سبيل المثال. ولهذا يجب عند تحديد لون مادة معينة وقياسه أو مقارنته بمواد أخرى، تحديد مصدر الضوء وتثبيته. ونظراً لتأثر تمييز اللون بمصدر الضوء فقد حددت مصادر ضوئية قياسية تستخدم عند مقارنة الألوان ومنها:

- المصدر A: وهو عبارة عن مصدر ضوئي ساطع له درجة حرارة  $T=2854\text{ K}$  مثل مصباح التنغستين 0
  - المصدر (B) ويسمى نور الشمس عند الظهيرة وهو منبعث من مصدر درجة حرارته  $5000\text{K}$ .
  - المصدر (C) هو ضوء النهار العادي ولا يتضمن منطقة الأشعة فوق البنفسجية ودرجة حرارة المصدر  $6774-6800\text{ K}$  ويسمى ضوء الشمال.
  - المصدر (D65) وهو ضوء النهار العادي متضمناً الأشعة فوق البنفسجية ودرجة حرارة المصدر  $6504\text{K}$ .
  - المصدر F2 : أبيض باهت.
  - المصدر F7 : ضوء نهار.
  - المصدر F11: أبيض باهت بثلاث عصابات حادة.
- ويبين الجدول 2 ألوان ودرجات حرارة بعض مصادر الضوء القياسية.

## مصدر الضوء Light Source والاضاءة Illuminant

يعرف مصدر الضوء بأنه الجسم الذي يصدر الضوء، مثل الضوء في بناء المكتب. عند رسم منحنى توزيع الطاقة الطيفية، فإن الضوء يصدر كميات مختلفة من الطاقة عند كل طول موجة في الطيف اللوني المرئي. تختلف قوة وتوزيع الطاقة الصادرة وفقا لنوع الضوء. فعلى سبيل المثال، فإن ضوء النهار يصدر ضوء عند كل طول موجة من طيف الضوء المرئي، ويكون أعظما عند طول الموجة الزرقاء 460nm. وهذا يبين أن ضوء النهار مشكل بشكل أعظمي من الضوء الأزرق. من أجل تحديد لون الجسم باستخدام طريقة قياسية، فإنه يجب استخدام منحنى توزيع طاقة طيفي قياسي.









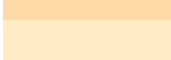
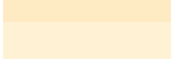
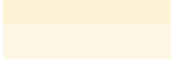
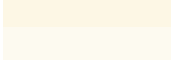
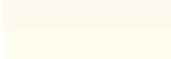
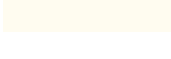


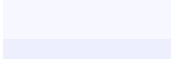



الاضاءة illuminant على عكس مصدر الضوء فهي ليست جسم فيزيائي وإنما هي تمثيل لمنحنى توزيع الطاقة الطيفية بشكل بياني أو رقمي. تم تعريف بعض أنواع الإضاءة القياسية من قبل CIE لتمثيل مصادر طاقة مختلفة (الشكل 2).



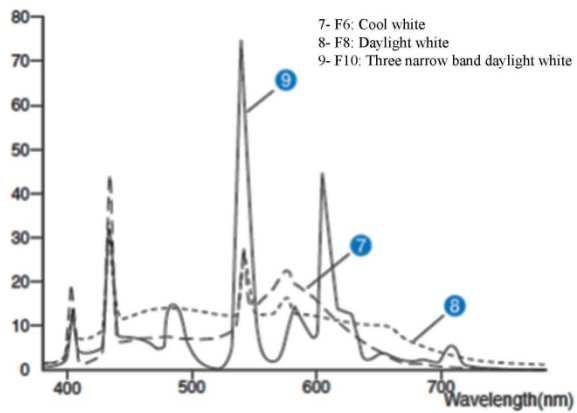
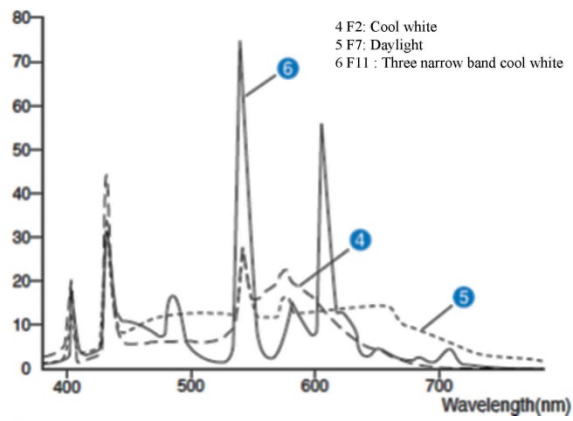
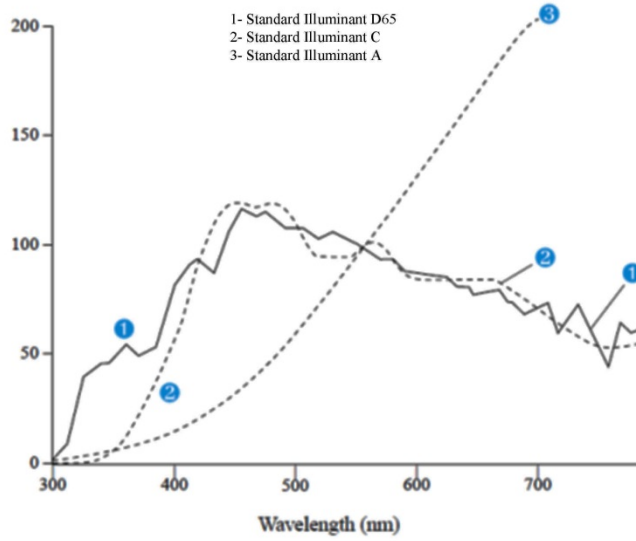
الشكل 2: تأثير الإضاءة على لون المادة.

الجدول 2 : درجات حرارة ولون مصادر الضوء المختلفة.

correlated color temperatures for common illuminants and light sources

درجة حرارة المصدر الضوئي ( درجة كلفن)	لون الضوء	correlated illuminant or light source
1000		lower limit of blackbody curve
1850		candle flame
2000		sunlight at sunrise/sunset (clear sky)
2750		60W incandescent tungsten light bulb
2860		<b>CIE A:</b> 120W incandescent light bulb
3400		photoflood or reflector flood lamp
3500		direct sunlight one hour after sunrise
4100		<b>CIE F11:</b> triband fluorescent light
4300		morning or afternoon direct sunlight
5000		white flame carbon arc lamp
5003		<b>CIE D50:</b> warm daylight illuminant
5400		noon summer sunlight
6400		xenon arc lamp
6500		average summer daylight
6504		<b>CIE D65:</b> cool daylight illuminant
7100		light summer shade
7500		indirect northern skylight
8000		deep summer shade
9300		white point of a CRT (television screen)
10640		clear blue sky

Sources: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color12.html>



الشكل 2: توزيع الطاقة الطيفية للمصادر الضوئية

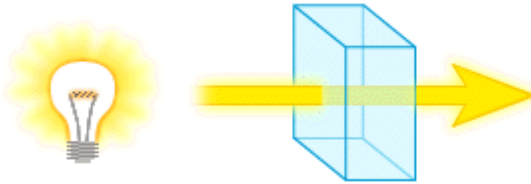
## خصائص الجسم المرئي

طبيعة الضوء والطيف المرئي هي الخطوة الأولى لإدراك الألوان. الخطوة الثانية التي تشكل الخطوات الثلاثة هي التأثير المتبادل بين الضوء والمادة، فعند رؤية الجسم أزرق أو أحمر أو أرجواني، هو في الحقيقة انعكاس جزئي للضوء على ذلك الجسم. اللون المرئي هو الجزء المتبقي من الطيف بعد إمتصاص جزء منه من قبل الجسم.

لننظر أولاً على الخصائص العامة لتفاعل الضوء مع المادة. عند سقوط الضوء على مادة ما فإنه وفقاً لطبيعة الجسم إن كان شفافاً transparent أو نصف شفاف translucent أو عاتم opaque أو ناعم smooth أو خشن rough أو لميع glossy إما أن ينفذ كاملاً transmitted أو جزئياً، أو ينعكس كاملاً reflected أو جزئياً، أو يمتص كاملاً absorbed أو جزئياً.

## النفوذية Transmission

تحدث النفوذية عند مرور الضوء من خلال المادة دون تغيير أساسي، تدعى المادة في هذه الحالة مادة شفافة (الشكل 3).



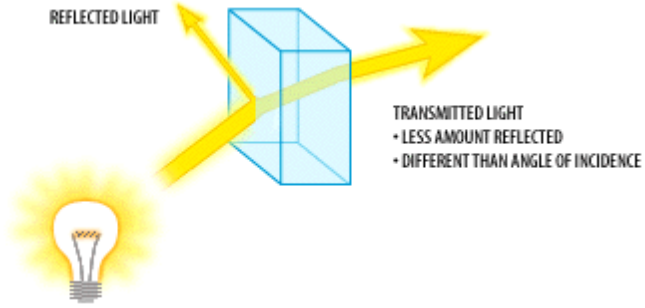
الشكل 3: المادة الشفافة.

تحدث بعض التغيرات وفقاً لدليل الانكسار للمادة التي تنقل الضوء.

دليل الانكسار (Refractive index (RI) هو نسبة سرعة الضوء في الفراغ (الفضاء) على سرعة الضوء في المادة التي ينفذ منها الضوء (الهواء، الزجاج، الماء). على سبيل المثال، دليل الانكسار للهواء هو 1.0003، دليل الانكسار للماء هو 1.333، دليل الانكسار للزجاج تختلف من 1.5 حتى 1.96 وهو يعتبر مبطئ لسرعة الضوء.

نقطة تماس مادتين مختلفتين في دليل الانكسار تدعى سطح حدي. عند هذه النقطة حزمة الضوء النافذ يغير اتجاه مساره وفقاً لاختلاف دليل الانكسار، وزاوية ورود الضوء على الجسم. هذه الحادثة تدعى الانكسار refraction.

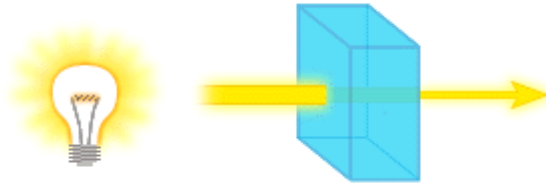
الضوء الوارد بزاوية شاقولية على الجسم سوف يمر دون انكسار (كما هو مبين في الشكل 3). ولكن عند ورود الضوء بأي زاوية أخرى سوف ينكسر وينعكس جزئياً (الشكل 4).



الشكل 4: انكسار وانعكاس الضوء.

يتأثر دليل الانكسار للمادة بطول مودة الضوء الوارد. دليل الانكسار للمادة مرتفع عند موجات الضوء القصيرة ومنخفض عند موجات الضوء الطويلة. يظهر هذا جليلاً عند انكسار الضوء على موشور. لا ينكسر الطرف الأحمر من الطيف المرئي بقدر الطرق البنفسجي. والنتيجة هو فصل مرئي لأطوال الموجة. قوس قزح هو مثال آخر، فعند سقوط ضوء الشمس على قطرات المطر بطريقة مشابهة لانكسار الضوء على موشور زجاجي.

عند نفوذ الضوء جزئياً في الجسم (والباقي يتم امتصاصه) فإن الجسم نصف شفاف (الشكل 5).



الشكل 5: الجسم نصف شفاف.

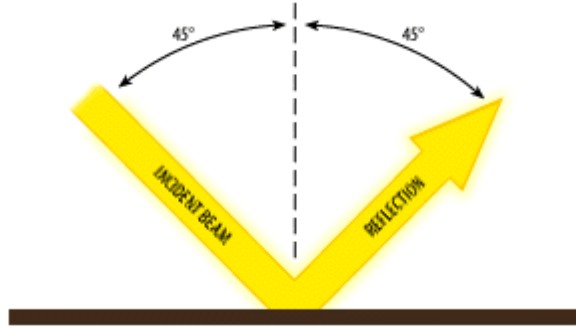


الاختلاف الاساسي هو درجة إمتصاص الضوء. الضوء النافذ في الجسم نصف الشفاف ينكسر وينعكس وفقا لنفس المبادئ في الجسم الشفاف.

### الانعكاس Reflection

كما تبين سابقا فإن الضوء الساقط على جسم شفاف فإنه ينكسر جزء من الضوء وجزء آخر ينعكس. ولكن عند سقوط الضوء على جسم عاتم (جسم لا ينقل الضوء)، فإن سطح المادة يلعب دور هاما في انعكاس الضوء كاملا أو إنتشار الضوء كاملا diffused أو بعض من كليهما.

تصنع السطوح الناعمة أو اللمعة من جزيئات متساوية أو متساوية تقريبا في دليل الانكسار. تعكس هذه السطوح الضوء بزواوية مساوية لزواوية وروده على الجسم (الشكل 6).



الشكل 6: انعكاس الضوء على سطح لميع.

التشدد أو الانتشار هو جانب آخر للانعكاس. عند تكون المادة من حبيبات مختلفة دليل الانكسار فإن حزمة الضوء الواردة على الجسم سوف تنتشر. تعتمد كمية الضوء المنتشر على دليلي الانكسار وعلى حجم الحبيبات (الشكل 7).

أبسط مثال حول إنتشاء الضوء هو لون السماء. ينتشر الضوء ذو الطيف الازرق البنفسجي بواسطة جزيئات الهواء خلال ضوء النهار المتوسط مولدا سماء زرقاء. ومع تضائل ضوء النهار تُفقد الموجات القصيرة الزرقاء البنفسجية وتنتشر الموجات الطويلة الحمراء البرتقالية فتعطي للسماء ضوء ناري لغروب الشمس.



الشكل 7: إنتشار الضوء.

الأكثر شيوعاً، الضوء الوارد على جسم عاتم سوف ينعكس وينتشر. يحدث ذلك عندما لا يكون الجسم لميع كلياً ولا ناعم كلياً (الشكل 8).



الشكل 8: انعكاس وانتشار الضوء على جسم لا ناعم ولا لميع.

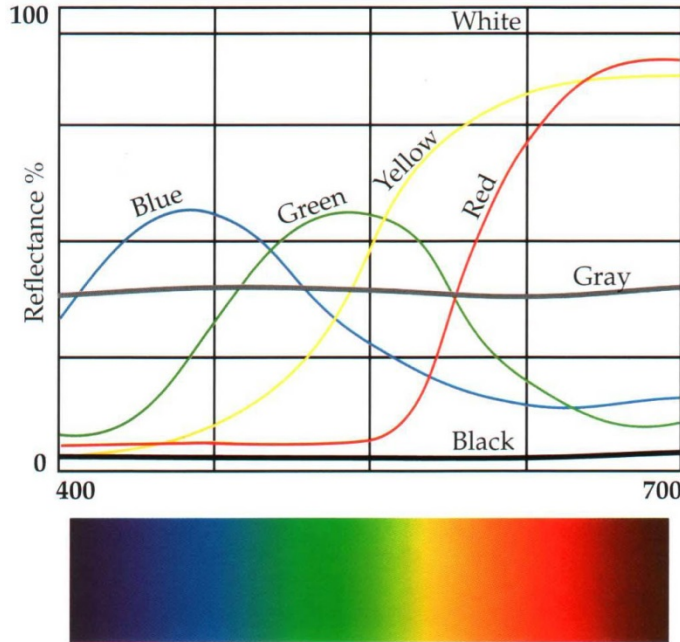
### الامتصاص Absorption

أخيراً، جزء من الضوء يمتص، وذلك وفقاً لصبغة الجسم. الصبغات هي ملونات طبيعية تمتص جزءاً أو كل أمواج الضوء. ما نراه كلون، هو طول موجات الضوء غير الممتص (الشكل 9).



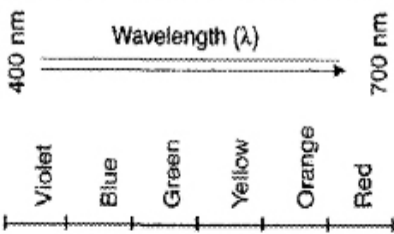
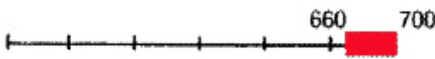
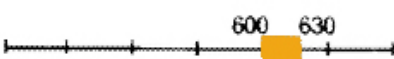
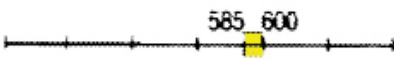

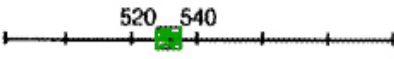
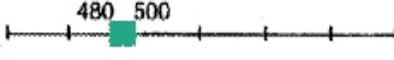
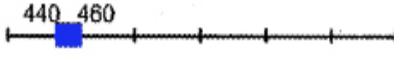
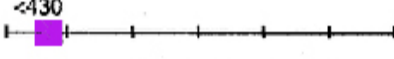
الشكل 9: ألوان الضوء المنعكس.

يبدو الجسم أبيض عندما يعكس جميع الأشعة الساقطة ضمن موجات الضوء المرئية من سطحه، وأسود عندما تُمتص جميعها من قبله، ورمادياً إذا امتص كميات تقريباً متساوية ضمن طول الموجات المرئية، الشكل(10). ويبين الجدول (3) أطول الأمواج للضوء المرئي الممتصة واللون الناتج.

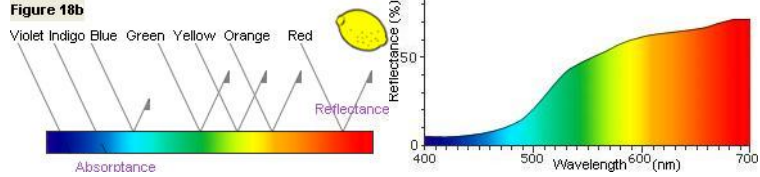
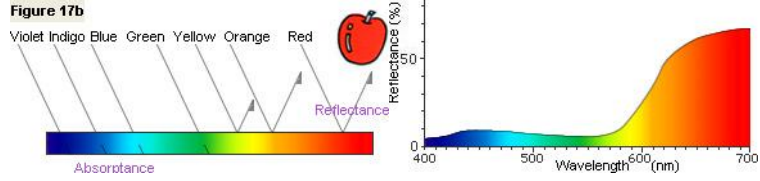


الشكل(10): أطوال الأمواج للضوء المرئي مع ما يقابلة من ألوان.

الجدول (3) أطوال الأمواج للضوء المرئي الممتصة واللون الناتج.

Portion of the Spectrum That Is Absorbed	Color Absorbed	Color Perceived
	None	Achromatic color White
	Red	Blue-Green
	Orange	Blue
	Yellow	Violet
	Yellow-Green	Mauve-Red
	Green	Orange
	Green-Blue	Yellow
	Blue	Yellow-Green
	Violet	Green-Yellow

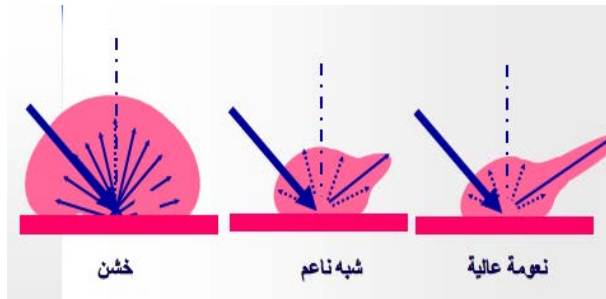
ومن خلال معرفة منحنى توزيع طاقة الضوء المنعكس يمكن معرفة لون الضوء الممتص ولون الضوء المنعكس وبالتالي ما يميز لون كل جسم هو منحنى طاقة الضوء المنعكس (الشكل 11).



الشكل 11: منحنيات توزع طاقة الضوء المنعكس عن الجسم.

من العوامل المؤثرة على قياس اللون أيضاً خصائص سطح الجسم المدروس، فعند النظر إلى عينات تتميز بذات اللون وبخصائص سطح مختلفة يكون اللون المدرك لكل عينة مختلف عن الأخرى، مثلاً تبدو السطوح الخشنة أكثر إضاءة وأقل تلون من السطوح الناعمة حيث أنه مع ازدياد خشونة السطح يزداد تبعثر الأشعة المنعكسة Specular Reflection كما هو واضح بالشكل (12، 13).

تقيس بعض أجهزة قياس اللون تغير اللون الناتج عن تغير نعومة السطح وتغير الصبغة بينما يقيس بعضها الآخر تغير اللون الناتج فقط عن تغير الصبغة، وبناءً على ذلك تم تصنيف أجهزة قياس اللون وفقاً إلى زاوية الإضاءة وزاوية المراقبة إلى:



الشكل (12) تأثير خصائص السطح على اللون.

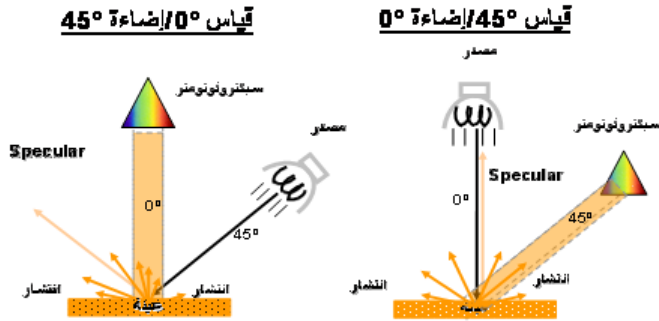


الشكل 13: تأثير خصائص سطح العينة على اللون.

### الهندسة الاتجاهية:

تستبعد أشعة انعكاس اللمعان في هذه الهندسة، لذلك فإنها توفر قراءات تتوافق مع التغيرات المرئية باللون حيث تعبر قياسات اللون في هذه الحالة عن تغيرات اللون الناتجة عن تغير الصبغة ونعومة السطح، حيث أن هذه الهندسة تستقصي الانعكاس المرآوي (البراق)، وكما هو واضح في الشكل (14) إما أن تكون زاوية الإضاءة (45) درجة وزاوية القياس (0) درجة أو على العكس.

### الهندسة الاتجاهية



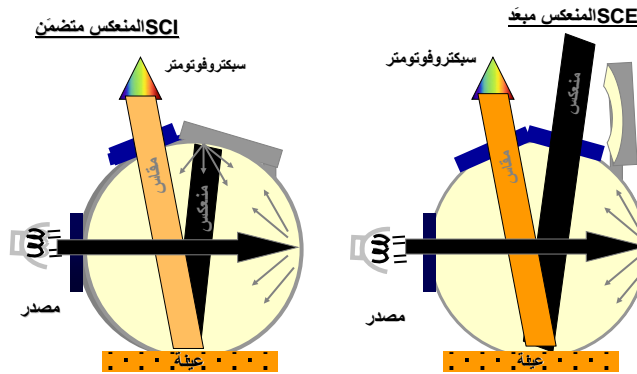
الشكل (14) الهندسة الاتجاهية.

## هندسة الانتشار (الكرة)

تستخدم كرة بيضاء مغطاة تضيء العينة بالأشعة المنتشرة diffuse على سطحها الداخلي، ويقاس الضوء المنعكس عند زاوية (8 درجة) بالنسبة للعمود على سطح العينة وعادة يتم تضمين أشعة انعكاس للمعان في القياس مما يجعلها تقيس تغيرات اللون الناتجة عن تغير الصبغات فقط (الشكل 15).

تسمح هذه الهندسة بقياس تغيرات اللون الناتجة عن تغير لون الصبغة حيث أنها تتضمن بشكل طبيعي الانعكاس المرآوي (البراق) SCI (Specular component included)، كما تملك الوسائل الكروية القدرة على منع الانعكاس المرآوي (البراق) SCE (Specular component excluded)، إلا أنها ليست فعالة في ذلك بالمقارنة مع الهندسة الاتجاهية، لأنه قد يصطدم جزء من أشعة انعكاس للمعان مع جدار الكرة عند فتحة الاستبعاد مما يؤدي إلى تضمين جزء من هذه الأشعة في القياس، الشكل (15).

## هندسة الكرة (8°/d)

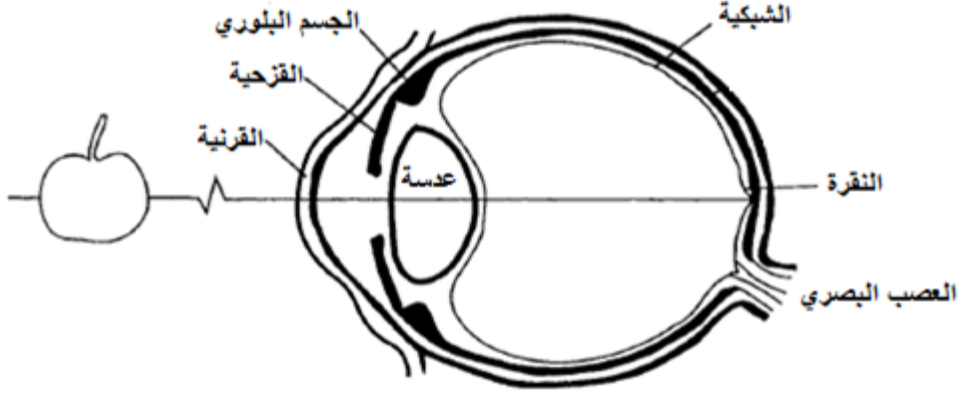


الشكل (15) هندسة الانتشار.

## المراقب Observer

تشارك ثلاثة عناصر في رؤية اللون عند الانسان وهي: العين, الجهاز العصبي, الدماغ. تستطيع عين الإنسان تمييز أكثر من (6-10) مليون لون تحت شعاع ضوء النهار العادي, إلا أن الدماغ ذو قابلية محدودة لتمييز مثل هذا العدد الكبير.

تبدأ عملية الرؤية بالتحكم بكمية الضوء الداخل إلى العين من خلال القرنية ومن ثم يتم تركيز الجريان بواسطة العدسة إلى المنطقة المركزية في الشبكية (النقرة) حيث يتم كشفه كلون، ثم يتم تضخيم الإشارة ومن ثم تنقل للتفسير في منطقة محددة في الدماغ، الشكل (16).



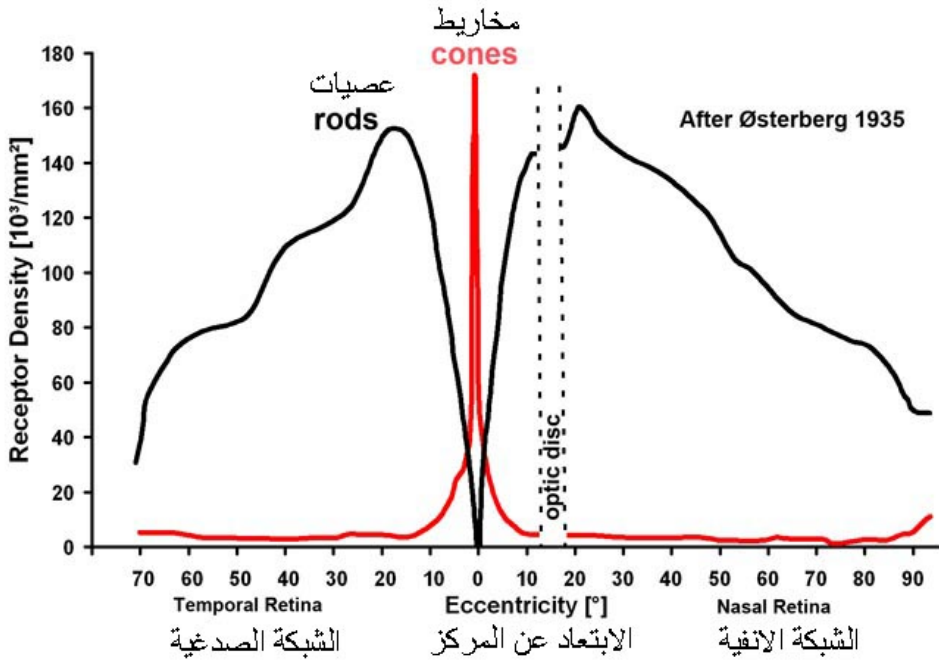
الشكل (16): البنية التشريحية لعين الانسان.

يتم تحويل التنبيه الفيزيائي إلى استجابة عصبية بواسطة تركيبة متعددة تدخل فيها العصيات والمخاريط والنهايات وثنائيات الأقطاب. تتكون الخلايا الحساسة للضوء المتواجدة في الشبكية من 120 مليون عصبية Rod و 7 مليون مخروط Cone وحوالي مليون خلية عصبية تنقل المعلومات من الشبكية إلى العصب البصري. حيث تسمح لنا العصيات بالرؤية في حالات الإضاءة المنخفضة ولكنها لاتعطينا رؤية ملونة، وبالمقابل فإن المخاريط تُظهر حساسية أقل للضوء ولكن حساسية أكبر بكثير للألوان. تزداد كثافة تواجد العصيات حتى زاوية بمقدار 2° من النقرة ومن ثم تتناقص باتجاه المحيط الخارجي، أما بالنسبة للمخاريط فقد لوحظ تجمعها بشكل كثيف في نموذج موزايكي في مركز النقرة الذي يحتل أقل من 2° من حقل الرؤية (الشكل 17).

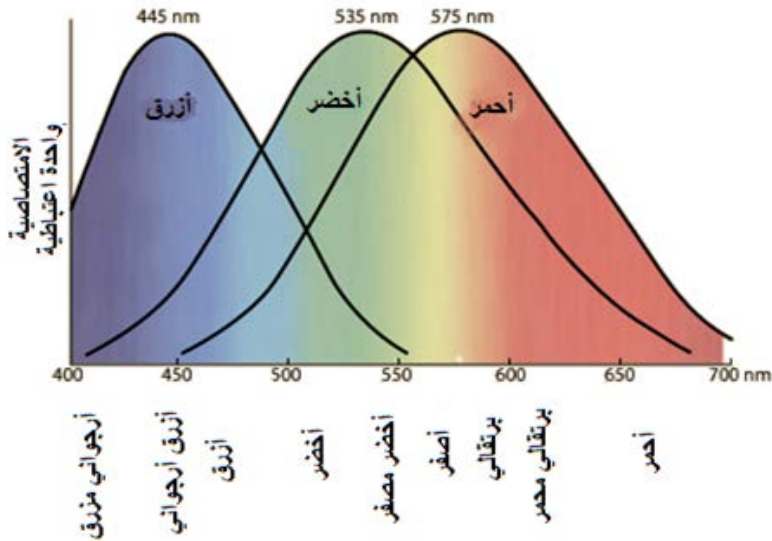
يوجد ثلاثة أنواع من المخاريط  $\alpha$ -  $\beta$ -  $\gamma$  تختلف عن بعضها بالحساسية لأطوال الأمواج، حيث تتميز المخاريط  $\beta$  بحساسيتها لأطوال الأمواج القصيرة والقريبة من اللون الأزرق فهي تبدي حساسية عظمى لطول الموجة 435nm، أما المخاريط  $\gamma$  فهي حساسة لأطوال الأمواج المتوسطة والقريبة من اللون الأخضر حيث أنها تبدي حساسية عظمى لطول الموجة 530nm، بينما تتميز المخاريط  $\alpha$  بالحساسية لأطوال الأمواج الطويلة والقريبة من اللون



الأحمر حيث أنها تبدي حساسية عظمى لطول الموجة 565 نانومتر، وبين الشكل (18) الحساسية الطيفية لكل نوع من المخاريط.



الشكل (17) توزع المخاريط والعصيات حول النقرة.

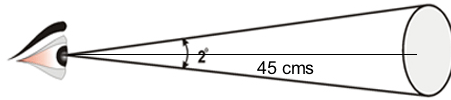


الشكل (18) الحساسية الطيفية لكل نوع من المخاريط.

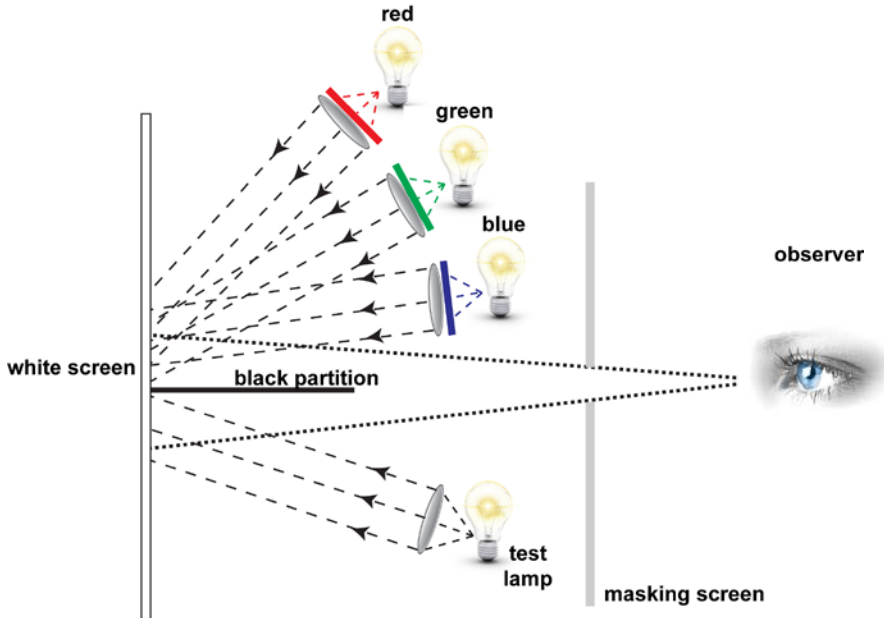
## منحنيات استجابة المراقب *Standard Observer functions*

### المراقب 2

تختلف حساسية العين البشرية لألوان الطيف من شخص لآخر، كما تختلف هذه الحساسية عند الشخص نفسه مع تقدم العمر، لذلك تمّ في بداية عام 1930 من قبل منظمة CIE تحديد منحنيات استجابة عين الإنسان القياسية (أي المراقب القياسي)، حيث تم إجراء تجربة لتحديد قيم توابع مطابقة اللون للعين البشرية، تتضمن نظر المراقب إلى شاشة بيضاء من خلال فتحة ذات حقل رؤية يساوي 2° درجة (وهو يعادل النظر إلى بقعة بقطر 15 مم، مسافة الرؤية 45 سم الشكل 19)، نصف هذه الشاشة مناراً بواسطة الضوء المختبر أما النصف الآخر فيتم إسقاط الألوان الرئيسية الثلاثة عليه وهي الأحمر، الأخضر، الأزرق، بحيث يتم تغيير نسب هذه الألوان حتى تتم مطابقة اللون الناتج مع الضوء المختبر (الشكل 20).

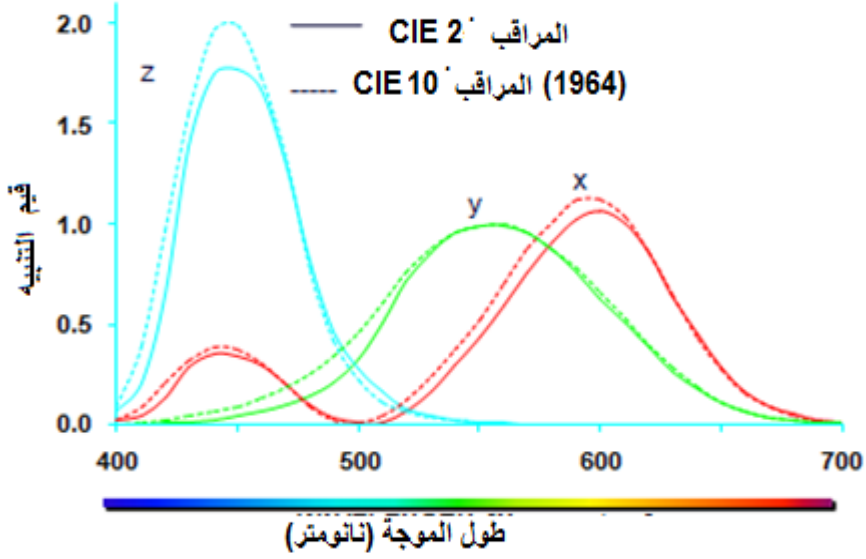


الشكل 19: المراقب 2 درجة.



الشكل 20: تجربة تشكيل منحنى استجابة المراقب.

من خلال هذه التجربة تم تشكيل منحنيات استجابة المراقب 2 درجة وهي مبينة في الشكل (21).

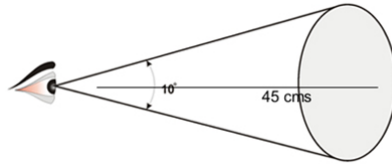


الشكل (21): منحنيات استجابة المراقب 2 والمراقب 10.

### المراقب 10 درجة

عند تعريف المراقب 2 كان يعتقد أن الخلايا المخروطية تتوضع في منطقة النقرة (الحفيرة المركزية)، وبعد اكتشاف وجود نسبة قليلة من المخاريط في الشبكية المحيطية تم إعادة هذه التجربة عام 1964 مع تغيير زاوية مجال الرؤية التي ينظر منها المجرّب إلى شاشة الاختبار، حيث استبدلت الزاوية (2 درجة) بالزاوية (10 درجة) (وهي تعادل النظر إلى بقعة بقطر 75 مم، مسافة الرؤية 45 سم) (الشكل 22).

من خلال هذه التجربة تم تشكيل منحنيات استجابة المراقب 10 درجة وهي مبينة في الشكل (21).



الشكل 22: المراقب 10 درجة

تعالج حسابيا قيم هذه المنحنيات ويعبر عنها  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  بحيث تكون قيم  $\bar{y}$  مساوية لقيم تابع الاضاءة (الطاقة الصادرة عن المصدر الضوئي).

حالياً يستخدم المراقب 10 لقياس اللون, كما يستخدم المراقب 2 فقط عند قياس لون الأجسام الصغيرة.

## تنسيقات فراغ اللون Color Space Coordinates

قبل البدء والدخول في شرح الفراغات اللونية الحديثة لا بد من شرح نظريات تفسير اللون التي اعتمد عليها في قياس اللون قديما ومن ثم تطورت الى فراغات لونية.

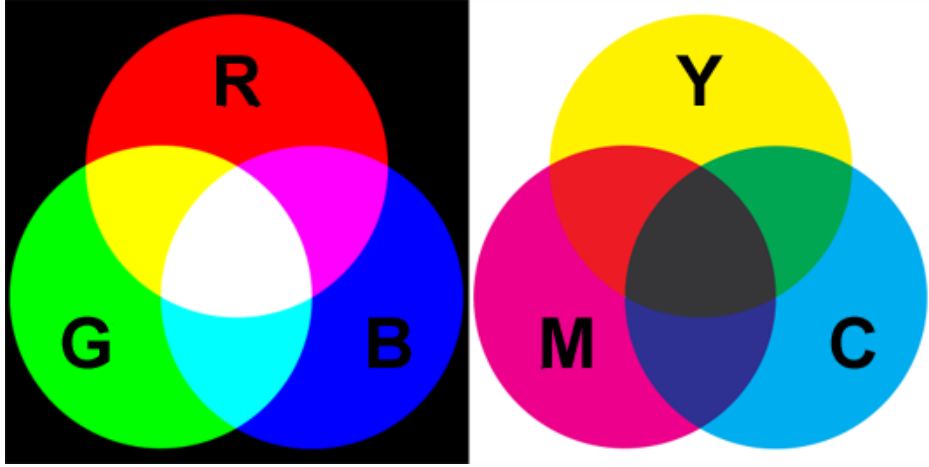
توجد عدة نظريات لتفسير رؤية اللون من أهمها:

### نظرية اللون الثلاثي Trichromatic theory

اقترحت من قبل Thomas Young عام 1802، وعدلت من قبل Helmholtz عام 1866. وتعتمد على مبدأ الألوان الثلاثية، حيث افترض أن العين تستطيع تمييز جميع الألوان عند مزج اللون الأحمر والأخضر والأزرق بكميات مناسبة وتتص هذه النظرية على وجود ثلاثة أنواع مختلفة من المخاريط حيث أن كلاً منها يستجيب بشكل أعظمي للون معين والألوان الثلاثة الأساسية التي تتأثر بها هذه المخاريط هي الأحمر والأخضر والأزرق، حيث أن أي تنبيه ضوئي لشبكية العين يؤدي إلى تنبيه المخاريط الثلاثة بنسب مختلفة تتناسب مع محتوى الضوء من الألوان الأساسية ويتم الإحساس باللون اعتماداً على محصلة التنبيهات في المخاريط الثلاثة والتي تتوافق مع لون الضوء المنبه (الشكل 23).

### نظرية تضاد الألوان Opponent Type Theory

اقترحت من قبل الباحث Hering عام 1872 م وتفترض هذه النظرية أنه في مكان ما بين العين والدماغ يتم تشفير الإشارات المرسله من المستقبلات المخروطية الموجودة في العين  $(\alpha - \beta - \gamma)$  إلى إشارة سطوع (أبيض- أسود) وإشارة أحمر- أخضر وإشارة أصفر- أزرق, ثم يتم نقل هذه الإشارات إلى الدماغ بثلاثة ألياف عصبية ويمكن تفسير ذلك بأن اللون لا يمكن أن يكون في الوقت ذاته أحمر وأخضر أو أزرق وأصفر، بينما قد يكون أصفر وأحمر بنفس الوقت حيث أنه سيظهر كلون برتقالي، أو أحمر وأزرق حيث أنه سيظهر كلون أرجواني وهكذا.

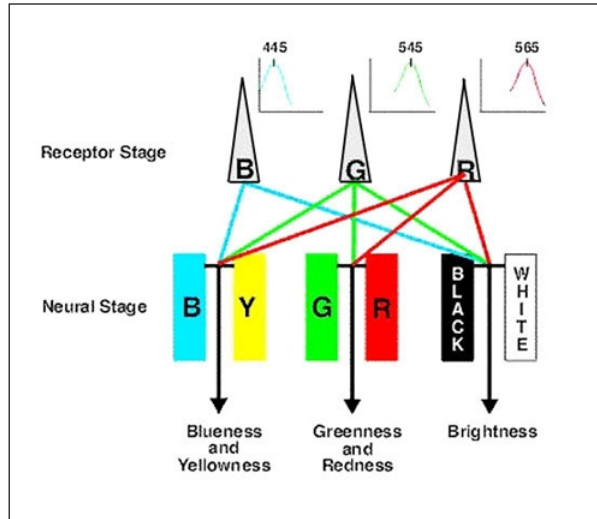


الشكل (23): تداخل الالوان الثلاثة.

يبين الشكل (24) مراحل الرؤية الطبيعية للون التي تتضمن كل من نظرية اللون الطبيعي ونظرية تضاد الألوان:

المرحلة الأولى (مرحلة استقبال الضوء): تتألف من ثلاثة مخاريط أحمر، أخضر، وأزرق.

المرحلة الثانية (مرحلة ما بعد الاستقبال): وهي مرحلة العملية العصبية.



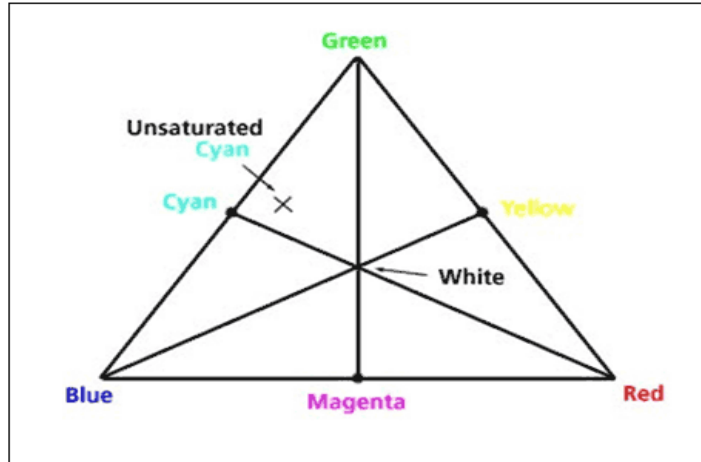
الشكل (24) مراحل الرؤية الطبيعية للون التي تتضمن كل من نظرية اللون الطبيعي ونظرية تضاد الألوان.

## نظرة تاريخية لقياس اللون

### نظام Maxwell:

يعود أول ظهور لفيزياء اللون والضوء إلى العالم نيوتن، ومن ثم قدم الفيزيائي الإسكتلندي James Maxwell عام 1859 أول نظام لقياس كمية اللون بالاعتماد على نظرية اللون الثلاثي Trichromat، وأثبت أن كل الألوان تنتج عن مزج الألوان الأساسية الثلاثة (أخضر، أزرق، أحمر)، حيث قام بتوزيع هذه الألوان على زوايا مثلث الشكل (25).

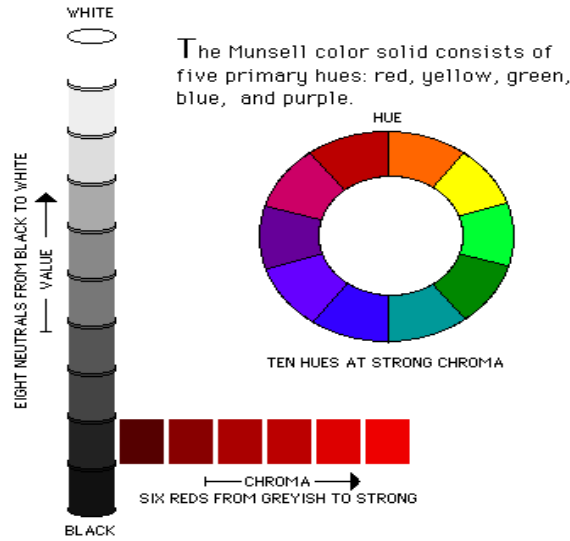
كما قام ماكسويل بإنشاء قرص دوراني، برسم قطاعات دائرية ملونة بألوان مختلفة على قطعة دائرية من الورق، ويسمح هذا القرص بقياس لون العينة، وذلك بتدويره حتى نحصل على المزيج اللوني المطابق للون العينة.



الشكل (25) مثلث ماكسويل.

### نظام Munsell:

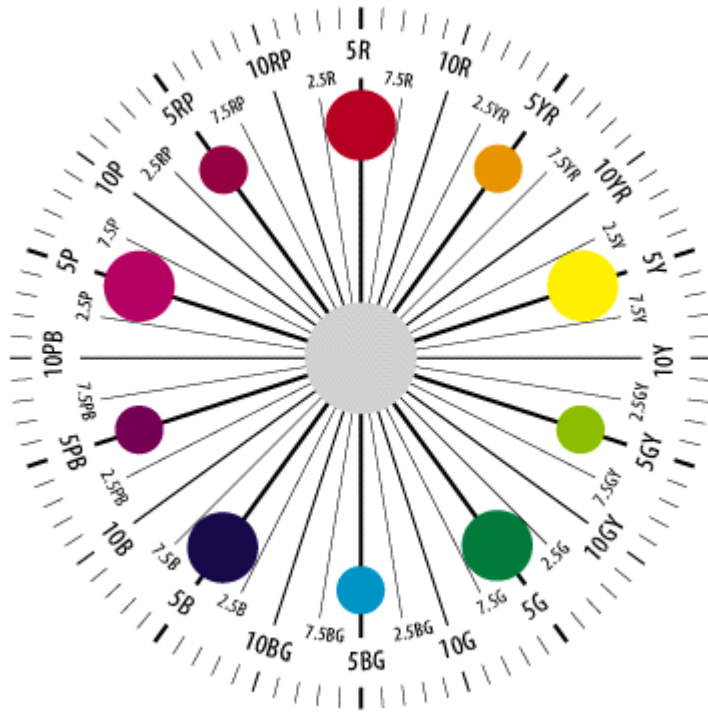
ابتكر هذا النظام العالم Munsell عام 1905، ويعتبر أكثر أنظمة قياس اللون تمثيلاً لنظام ترتيب اللون، فمن خلال هذا النظام يمكن تحديد خصائص اللون المختلفة وذلك بمقارنة العينة مع ألوان قياسية. في هذا النظام تم تحديد اللون بثلاث خصائص أساسية وهي الصبغة Hue، والاضاءة Value، وشدة اللون Chroma (الشكل 26).



الشكل (26) يوضح نظام منسل.

**الدرجة اللونية (Hue):** وهو ما يميز اللون من غيره، ويوصف بطول موجة الضوء المهيمن للون المدروس. وهذه الصفة تُعرّف باللغة الدارجة تحت اسم اللون، كأن يُقال هذا اللون هو بنفسجي أو أزرق أو أخضر أو أحمر أو أصفر أو أزرق مخضر أو أحمر برتقالي. تشير هذه الأسماء في الواقع إلى المادة الملونة أو الصبغة التي تحدد هذا اللون. تتوزع الدرجة اللونية في نظام مانسل بالتساوي على محيط القرص الذي يحوي 100 درجة لونية ، 10 درجات أساسية هي الألوان الرئيسية: الأحمر R، الأصفر Y، الأخضر G، الأزرق B، البنفسجي P، والألوان المتوسطة بينها اصفر - أحمر YR، وأخضر - أصفر GY، وأزرق - أخضر BG، وبنفسجي - أزرق PB، وأحمر - بنفسجي RP. وكل درجة لون أساسية تقسم إلى 10 درجات فرعية (الشكل 27).

**الإضاءة (value):** أو النصوص **luminance** أو **Lightness** وهو يعبر عن الشدة مقيسة بالوحدات الضوئية، فيقال عن منبع إنه قوي أو ضعيف، أي إن إضاءته قوية أو ضعيفة. أما من أجل جسم ما فهي تعبر عن مدى عتامة أو إضاءة اللون، فنقول عنه إنه غامق أو فاتح. في نظام منسل تحدد الإضاءة على المحور المتعامد مع مركز القرص، تقسم إلى عشرة أقسام تبدأ بالأسود (0) وتنتهي في الطرف الآخر بالأبيض (10) ويشكل الرمادي الذي يقع في المنتصف بين الأسود والأبيض مركز الدائرة.

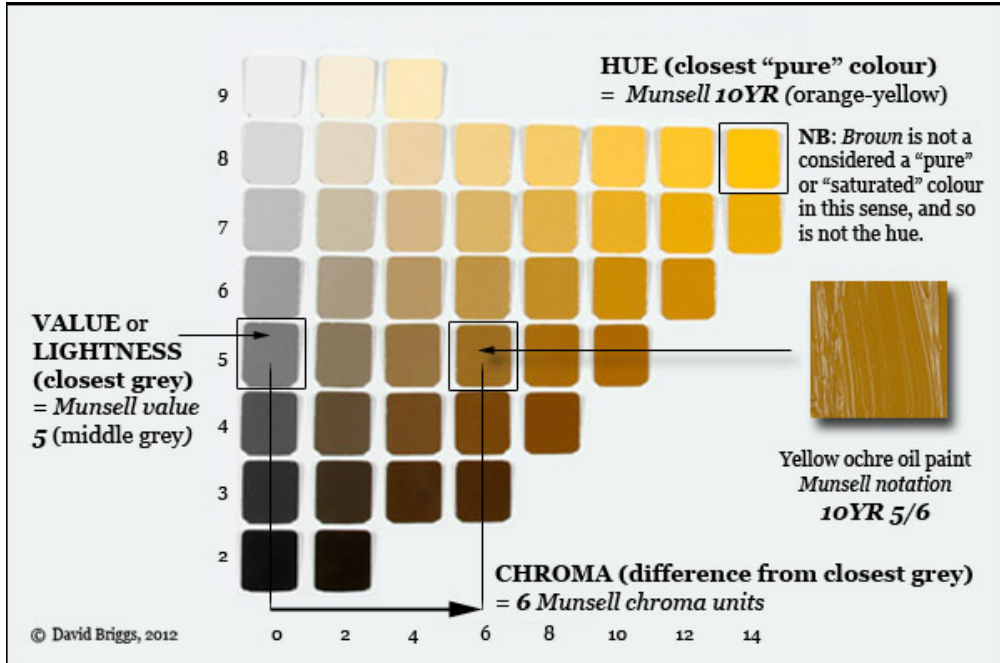


الشكل 27: ترميز الدرجة اللونية في مقياس مانسيل.

شدة اللون (Chrom): أو عامل النقاوة أو الإشباع Saturation: ويعبر عن مدى قرب أو ابتعاد اللون عن اللون النقي. وتستخدم كلمة نقي أو مشبع أو مخلوط بالأبيض أو بالأسود (الرمادي). ويعبر عن طول الموجة المسيطر في اللون مع عامل النقاوة مجتمعين بالصيغة اللونية. تحدد في نظام منسل على الخط الواصل بين مركز القرص (اللون الرمادي) إلى المحيط، تتراوح تقسيماتها بين 10-18 وحدة وذلك حسب الدرجة اللونية.

تم جمع مقاييس المقارنة في نظام منسل في كتب منسل للألوان، وتعتبر هذه الكتب مراجع ينشرها Gretag Macbeth، ترتبط كل عينة قياسية في هذه الكتب بصيغة عامة HV/C (الشكل 28).





الشكل 28: نظام منسل لتدرج اللون.

### أنظمة قياس اللون الحديثة

من مساوي الأنظمة التي تم ذكرها سابقاً أنها تعتمد على المقارنة البصرية للون العينة مع ألوان قياسية قد يتغير لونها مع الزمن، لذلك ظهرت الرغبة في إيجاد طريقة موضوعية للتحديد الكمي للون، وبعد سنوات من العمل والبحث أصدرت المنظمة الدولية عام 1931 International Commission of Illumination أول نظام للتحديد الكمي للون.

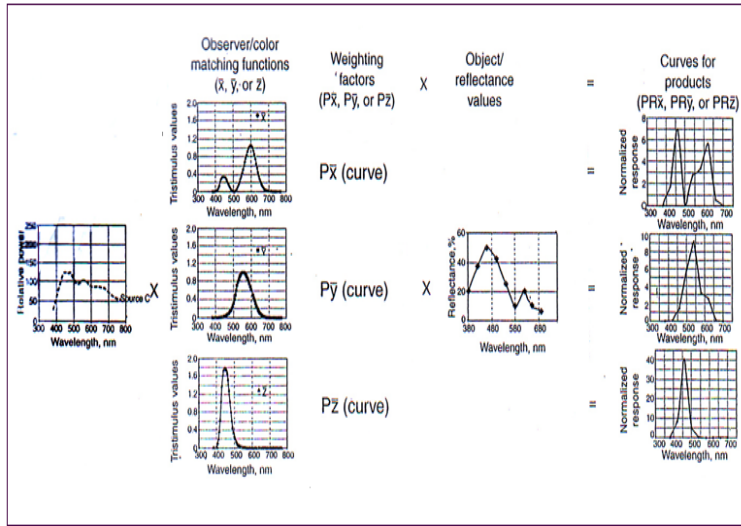
### قيم التنبيه الثلاثي *Tristimulus values XYZ*

قامت المنظمة الدولية للإضاءة CIE1931 بتحديد قيم التنبيه الثلاثي انطلاقاً من تحديد العناصر الثلاثة المستخدمة في تقييم اللون وهي: مصدر الإضاءة، المرآب، الجسم، حيث استخدمت المصدر القياسي C للإضاءة، والمرآب القياسي 2°. ويرتكز مفهوم قيم التنبيه الثلاثي على وجود نظام قياسي يستجيب للألوان بنفس الطريقة التي ترى فيها عين الإنسان الألوان ويمكن أن يوفر وصفاً ملائماً ودقيقاً للون أية مادة. حيث نعلم أن العين تمتلك ثلاث

مستقبلات لثلاث ألوان رئيسية أحمر أخضر أزرق وتشاهد بقية الألوان بحسب امتزاج هذه الألوان الثلاثة.

الخطوات المتبعة لتحديد قيم التنبيه الثلاثي بطريقة CIE1931 (الشكل 29):

- إيجاد SPD أي منحني التوزيع الطيفي لطاقة مصدر الضوء.
- إيجاد توابع استجابة المراقب  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  للمراقب القياسي (CIE 2°).
- إيجاد منحني الانعكاسية للجسم المراد تحديد لونه.



الشكل (29) استنتاج قيم التنبيه الثلاثي.

تستخدم هذه المعطيات لتشكيل منحني يمثل كافة مجال أطوال الموجات في المنطقة المرئية وضمن فواصل أطوال موجات قصيرة.

نحصل على قيم التنبيه الثلاثية XYZ بضرب قيم استجابة المراقب القياسي عند كل موجة بقيمة الطاقة الطيفية الصادرة عن مصدر الضوء ثم تضرب بقيمة انعكاسية الجسم عند كل طول موجة، ثم تجمع هذه القيم مع بعضها. تحتسب قيم XYZ بالنسبة للانعكاس المثالي الذي يعتبر 100% عند كل طول موجة. لذلك يقسم المجموع على مجموع الطاقة الطيفية الصادرة عن مصدر الضوء مضروب بقيمة  $\bar{Y}$  عند كل طول موجة لأن قيمة Y يجب أن تساوي 100 للون الأبيض بالتعريف.

أو بتعبير آخر نحصل على قيم التنبية الثلاثي بحساب المساحة تحت المنحي المطابق باستخدام المعادلات:

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

حيث  $S(\lambda)$ : توزيع الطاقة الطيفية لمصدر الضوء.

$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ : قيم الاستجابة القياسية للون للمراقب 2 درجة CIE 1931.

$R(\lambda)$ : الطيف المنعكس عن الجسم.

تم اختيار قيم  $k$  بحيث تكون  $Y$  مساوية لمجموع الضوء المنعكس عن العينة أي الإضاءة (Lightness, Luminance). وهذه هي قيم الضوء الخطية متضمنة الخصائص الضوئية لرؤية الألوان عند الإنسان. يمكن تحديد أي لون بقيم  $XYZ$ ، إلا أنه من الصعب تمثيل هذه القيم وفهما لذلك تعتبر قيم التنبية الثلاثية هي الأساس لاحتساب قيم اللون على أساس أنظمة أخرى.

### نظام CIE 1931 Yxy

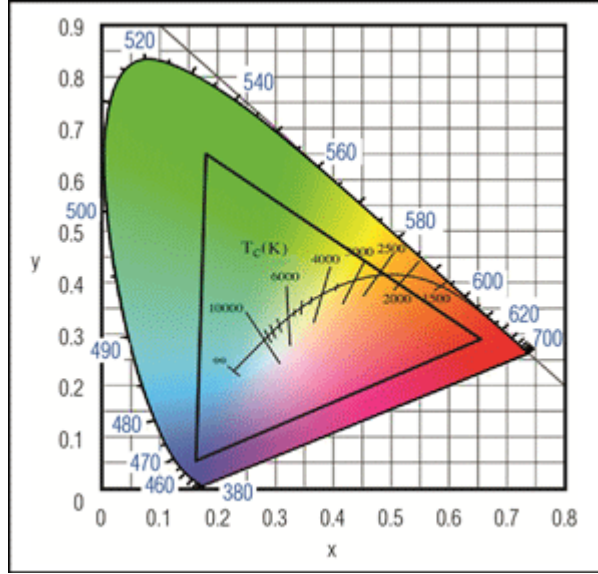
تعتبر قيم التنبية الثلاثية  $X, Y, Z$  التي تدل على درجة الازرق والاخضر والاحمر على الترتيب، صعبة الفهم، حيث أنه من الأنسب من الناحية النظرية والحسابية وجود تمثيل لقيمة اللون الصافي منفصلا عن الإضاءة. لذلك تم تطوير أنظمة أخرى ترتبط مع إدراكنا للون بشكل أفضل وسهلة الفهم ولتكون خطية أكثر في النظام اللوني ولتوضيح الاختلافات اللونية.

يعين لون الجسم بالاعتماد على قيم التنبية الثلاثي  $X, Y, Z$  وذلك بتحديد قيم: الإضاءة  $Y$ ، والاحداثيات اللونية  $x, y$  (تصف الدرجة اللونية والإشباع) على الرسم البياني لنظام CIE 1931 (الشكل 30).

بالاعتماد على قيم التنبه الثلاثي يتم احتساب قيم CIE Yxy وفقا للمعادلات التالية:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} , \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} , \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (1)$$

$$x + y + z = 1$$



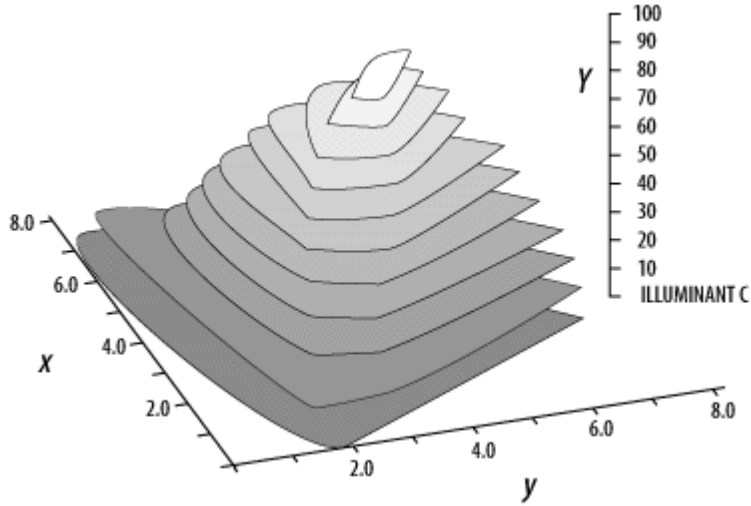
الشكل (30) الرسم البياني لنظام CIE 1931 Yxy.

وضع الفراغ اللوني على شكل حدود حسان بواسطة شبكة محاور لونية x و y يمكنها تحديد أية قيمة للدرجة اللونية والاشباع. لم يستخدم المحور z لأنه يمكن حسابة من المعادلة التالية:

$$x + y + z = 1$$

البقعة البيضاء في الشكل 31 تمثل موقع الإضاءة.

يشار للبعد الثالث بقيمة Y. تشير هذه القيمة الى الإضاءة أو النضوج. يمتد مقياس Y في بقعة بيضاء بخط عمودي على المستوى الناتج عن x و y باستخدام مقياس يمتد من 0 إلى 100. يتواجد اللون المشبع عند المقياس 0 حيث النقطة البيضاء مساوية للإضاءة CIE C. بزيادة قيمة Y يصبح اللون أفتح وتتناقص سلسلة الألوان ولذلك تصبح مساحة الألوان عند قيمة 100 ل Y عبارة عن منطقة صغيرة.



الشكل 31: تمثيل البعد الثالث (الإضاءة) في الفراغ اللوني  $Yxy$ .

وصف الرسم البياني لـ CIE 1931:

له شكل اللسان أو نعل الفرس.

يقسم محيط المنحني إلى:

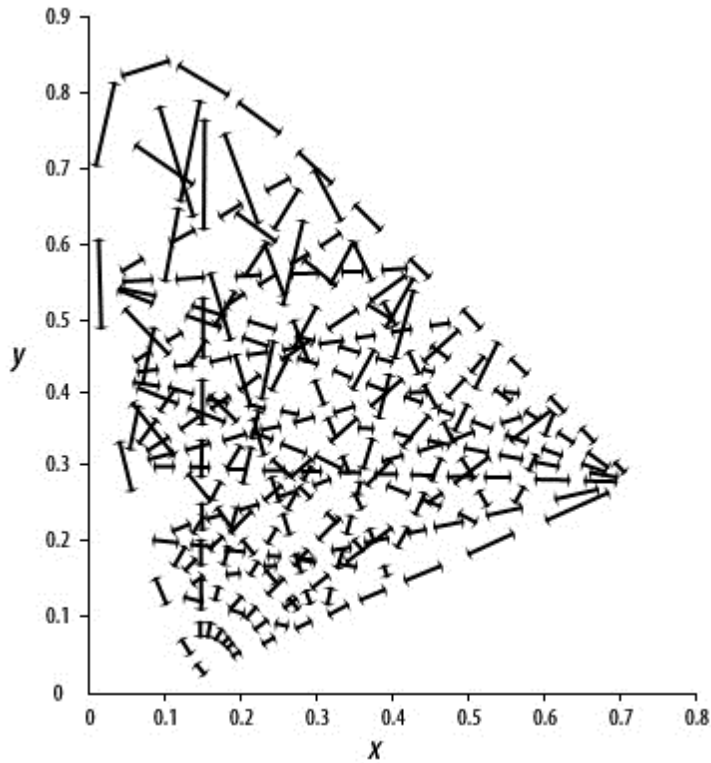
Loci spectrum: يضم الألوان ذات طول الموجة الوحيدة، والمشبعة تماماً.

خط الـ Purple: يمثل الألوان التي لا يمكن إحداثها بأي طول موجة أحادي للضوء المرئي، في حين أن النقاط الموازية لهذا الخط تمثل لوناً مشبعاً بشكل كامل، ولكي ندرك هذه الألوان نحتاج لمزج أكثر من طول موجة للضوء.

E (equal power point): هي نقطة عديمة اللون ذات أبعاد (0.33, 0.33)، ونجد أن أي خط مستقيم يمر من هذه النقطة، يشكل زوجاً من لونين متممين لبعضهما البعض (AB). إن أي نقطة داخل هذا المنحني تمثل لوناً وحيداً مدركاً حسيّاً، لكن قد ينتج اللون نفسه عن عدة مزائج لونية (الأزواج CD, FG, HJ كلها تعطي نفس اللون T إذا اجتمعت بالنسبة الصحيحة).

منحني Black body curve: يعبر عن علاقة تغير اللون بدرجة الحرارة، حيث أنه عند درجات حرارة مرتفعة يصبح اللون على علاقة بدرجة الحرارة بشكل أكبر بكثير من علاقته بطول الموجة، ويبين الشكل (23) هذا المنحني بالإضافة إلى مصادر الإضاءة القياسية.

لا يعتبر هذا النظام اللوني خالي من العيوب، حيث أنه ليس من الممكن استخدام المخطط كخريطة لإظهار العلاقة بين الألوان. المخطط هو تمثيل مسطح لما هو في الحقيقة سطح منحنى، بشكل مشابه لاسقاط خريطة العالم على مستوى، حيث يتم تشويه شكل أجزاء بعلاقتها بالأجزاء الأخرى. فقد وجد أنه لا يمثل تدرجات اللون بطريقة منتظمة، حيث لوحظ أن أصغر مسافة بين لونين توجد في القسم السفلي الأيسر (في الجزء الأحمر أو البنفسجي) وتزداد بشكل تدريجي باتجاه القمة (في الجزء الأخضر من المخطط) (الشكل 32)، والعييب الآخر لهذا النظام هو تحديده باستخدام عينات صغيرة ملونة تعطي حقل رؤية يعادل درجتين ولكن لقد تبين كما ذكر سابقاً أن العين تملك استجابة مختلفة إلى حدٍ ما بالنسبة للعينات الأكبر حجماً لذلك عرفت الـ CIE عام 1964 نظام جديد باستخدام مراقب قياسي بحقل رؤية 10 درجة.



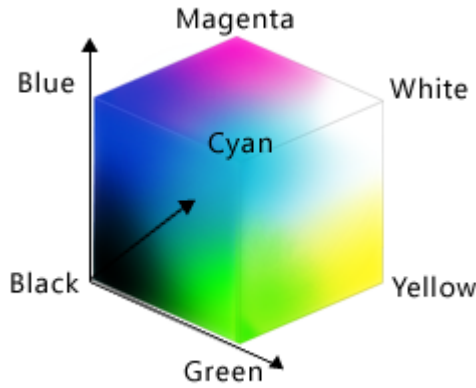
الشكل 32: البعد بين لونين متشابهين على مخطط xyY.

### نظام RGB (Red , Green , Blue):

يتم تمثيل النظام اللوني RGB بمكعب له ثلاثة محاور توافق اللون الأحمر والأخضر والأزرق وتمثل الزاوية السفلى اللون الأسود وعندها تكون  $R=G=B=0$ , بينما تمثل الزاوية المقابلة اللون الأبيض حيث تكون  $R=G=B=255$ .

يعتمد نظام RGB على فرضية اللون الثلاثي, وهو نظام سهل التطبيق وشائع جداً كونه يستخدم في كل أنظمة الحاسوب والتلفاز والفيديو وغيرها وذلك لأنه لا يتطلب أي تحويل لتمثيل المعلومات على الشاشة.

تمّ تطوير عدة نماذج من نظام RGB لأسباب تكنولوجية في بعض الأحيان مثل نظام NTSC – SMPTE أو لتلبية متطلبات المحترفين (الشكل 33).

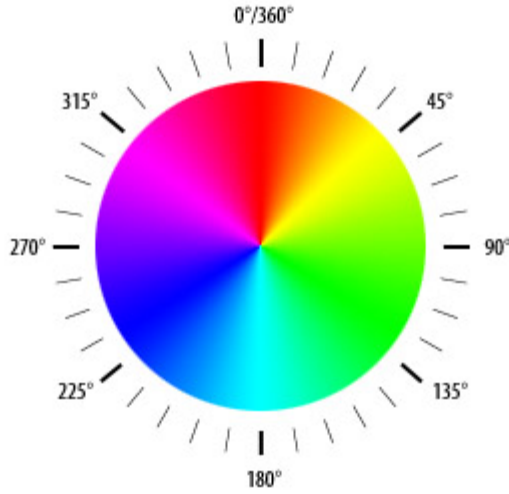


الشكل 33: نظام RGB.

### نظام HSB/HLS

نظامين مختلفين لوصف اللون في برامج الكمبيوتر وهي قريبة لطريقة إدراك اللون. هذه الأنظمة قريبة نوعاً ما أيضاً لنظام منسوي الذي يعتمد على الصبغة (الدرجة اللونية hue) والإضاءة value والاشباع. في نظام HSB يعبر عن اللون بـ hue و saturation و brightness أما في نظام HSL فيعبر عن اللون بـ hue و saturation و lightness.

تعبّر الدرجة اللونية hue عن صبغة اللون، وتأخذ قيمها على زاوية دائرة من 0 حتى 360 درجة (الشكل 34)، تبدأ وتنتهي عند اللون الأحمر، وتمر باللون الأخضر والأزرق وجميع الألوان التي تقع بين هذه الألوان. وبالتالي فإن نظام HSL قريباً جداً من عجلة نظام منسوي.



الشكل 34: تمثيل الدرجة اللونية في نظامي HSB/HLS.

يشير الإشباع saturation الى درجة اختلاف الدرجة اللونية (الصبغة) عن اللون الرمادي. يأخذ قيم تتدرج من 0% عندما يكون اللون رمادي أي لا يوجد صبغة و 100% عندما تكون الصبغة نقية تماما (الشكل 35).



الشكل 35 : درجة الاشباع في نظامي HSB/HLS.

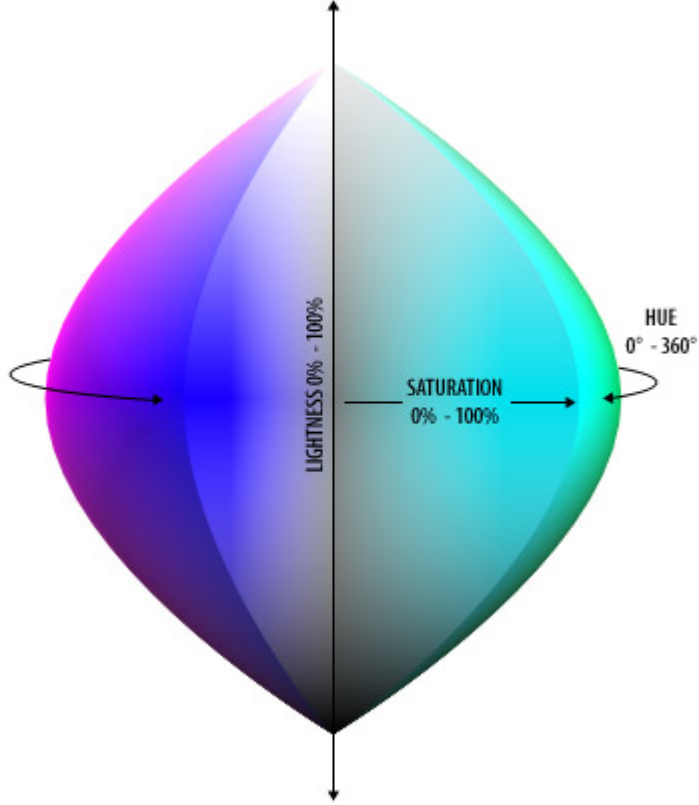
تعتبر الاضاءة lightness شدة الاضاءة وهي تتدرج من 0% في حال عدم وجود إضاءة فيصبح اللون أسودا حتى 100% وهي إضاءة كاملة التي تجعل اي لون يظهر بلون أبيض. تظهر الألوان عن إضاءة أقل من 50% غامقة في حين تظهر فاتحة عن إضاءة أكثر من 50% (الشكل 36).



الشكل 36 : درجة الاضاءة في نظامي HSB/HLS.



يبين الشكل 37 تمثيل النظام اللوني HLS وهو ليس اسطواناني الشكل حيث أن يقطع مناطق في نهايتي محور الاضاءة والمنطقة الاعرض هي في المنتصف فيأخذ شكل أهليلجي.



الشكل 37: نظام اللوني HLS

#### نظام Hunter Lab:

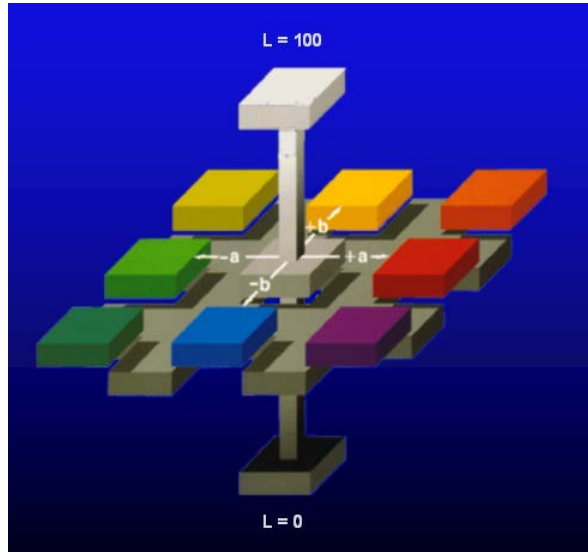
بسبب الصعوبة في فهم قيم X,Y,Z ومن أجل إدراك أفضل للون, تم إيجاد مقياس للون ثلاثي الأبعاد هو Hunter Lab عام 1958 بالاعتماد على نظرية الألوان المتضادة وهو نظام ثلاثي البعد (الشكل 38)، حيث يتم التعبير عن اللون كما يلي:

المحور L: يمثل الإضاءة ويمتد من الأسود  $L=0$  إلى الأبيض  $L=100$ .

المحور a: يمثل الأحمر - الأخضر حيث تكون قيم a الموجبة للأحمر وقيم a السالبة للأخضر أما اذا كانت  $a=0$  فعندها يكون اللون محايد.

المحور b: يمثل الأصفر- الأزرق , حيث تكون قيم b الموجبة للأصفر وقيم b السالبة للأزرق أما اذا كانت b=0 فعندها يكون اللون محايد.

يعتبر نظام Hunter Lab غير منتظم حيث يلاحظ امتداده بشكل كبير في منطقة اللون الأزرق من النظام اللوني.



الشكل (38) الفراغ اللوني لنظام Hunter L, a, b

معادلات التحويل بين قيم X, Y, Z و Hunter L, a, b وبالعكس وذلك وفقا للمراقب 2° والمصدر الضوئي C هي:

$$L = 10\sqrt{Y} \quad Y = (0.1L)^2$$

$$a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{\sqrt{Y}} \quad X = 0.9804\left(Y + \frac{0.1 a L}{17.5}\right)$$

$$b = \frac{7(Y - 0.847 Z)}{\sqrt{Y}} \quad Z = 1.181\left(Y - \frac{0.1 b L}{7}\right)$$

أما من أجل المراقب 10° فتصبح المعادلات كما يلي:

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_0}}$$

$$a = 175 \sqrt{\frac{0.0102 X_0}{(Y/Y_0)}} \cdot \left[ \left( \frac{X}{X_0} \right) - \left( \frac{Y}{Y_0} \right) \right]$$

$$b = 70 \sqrt{\frac{0.00847 Z_0}{(Y/Y_0)}} \cdot \left[ \left( \frac{Y}{Y_0} \right) - \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \right]$$

حيث X Y Z هي قيم التنبيه الثلاثي للجسم و X<sub>0</sub> Y<sub>0</sub> Z<sub>0</sub> قيم التنبيه الثلاثي للجسم الابيض القياسي.

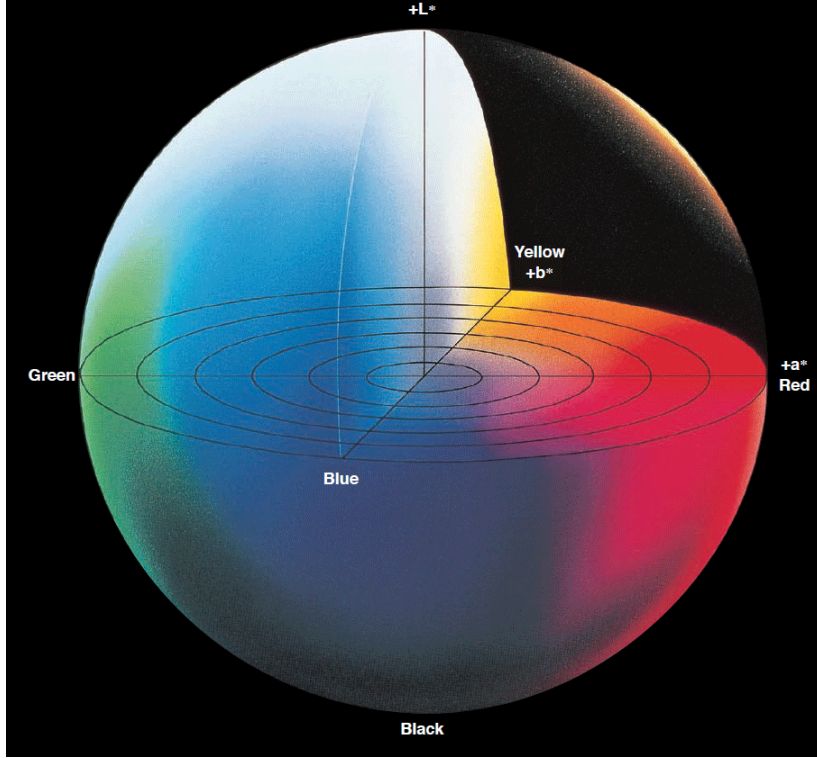
### نظام 1976 CIE L\* a\* b\*

يعتبر الفراغ اللوني L\*, a\*, b\* (CIELAB) حالياً من أكثر أنواع الفراغ اللوني شيوعاً لقياس لون الأجسام ويستعمل بشكل واسع في جميع المجالات، وهو فراغ لوني ثابت تم تعريفه من قبل CIE عام 1976 م من أجل التخفيف قدر الإمكان من المشاكل الأساسية للفراغ اللوني Yxy. تم تعديل الرسم البياني لنظام CIE 1931 قبل Mac Adam عام 1973 الذي اقترح ادخال الجذر التكعيبي عند حساب L لتلافي عدم التوافق البصري، وذلك بزيادة المسافات البصرية لمنطقة اللون الأحمر عدة أضعاف باتجاه منطقة اللون الأخضر، ليتم إنجاز الطيف المحسن الذي تم اعتماده عام 1976 وسمي بنظام CIE L\* a\* b\* عام 1976 وهو فراغ لوني مستطيل. يبين الشكل (39) نظام CIE L\* a\* b\* حيث يتم التعبير عن اللون كما يلي :

المحور L\*: يمثل الإضاءة ويتدرج من الأسود L\*=0 إلى الأبيض L\*=100.

المحور a\*: يمثل الأحمر - الأخضر حيث تعبر القيم الموجبة عن اللون الأحمر وتعبر القيم السالبة عن الأخضر أما إذا كانت a\*=0 فعندها يكون اللون محايد.

المحور b\*: يمثل الأصفر - الأزرق حيث تعبر القيم الموجبة عن اللون الأصفر وتعبر القيم السالبة عن اللون الأزرق أما إذا كانت b\*=0 فعندها يكون اللون محايد، وتتدرج قيم a\* و b\* في المجال [60-,60+].



الشكل (39) يمثل الفراغ اللوني Lab

يتم التعبير عن لون الأغذية باستخدام نظام  $L^*a^*b^*$ ، ويستخدم بشكل كبير في التطبيقات التي يراد الحصول بها على نتائج متقاربة مع نتائج التحليل البصري، لأن النظام  $L^*a^*b^*$  يعتبر نظام خطي أي أن المسافة ما بين لونين في النظام توافقت الاختلاف المدرك بصرياً بينهما. ولكن يعتبر النظام اللوني  $L^* a^* b^*$  غير منتظم حيث يلاحظ أنه ممتد بشكل كبير في منطقة اللون الأصفر.

وترتبط قيم  $L, a, b$  مع قيم التنبيه الثلاثي لـ CIE وفق العلاقات التالية:

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$a^* = 500 \left( f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right)$$

$$b^* = 200 \left( f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right)$$

Where  $f(s) = \sqrt[3]{s}$  for  $s > 0.008856$

and  $f(s) = 7.787s + 16/116$  for  $s \leq 0.008856$

حيث:  $X_n, Y_n, Z_n$  قيم التثبيته الثلاثي للإضاءة,  $Y_n = 100$ . ويبين الجدول 4 قيمها حسب مصدر الإضاءة ونوع المراقب.

الجدول 4: قيم  $X_n, Y_n$  وفقا لنوع المراقب ومصدر الإضاءة.

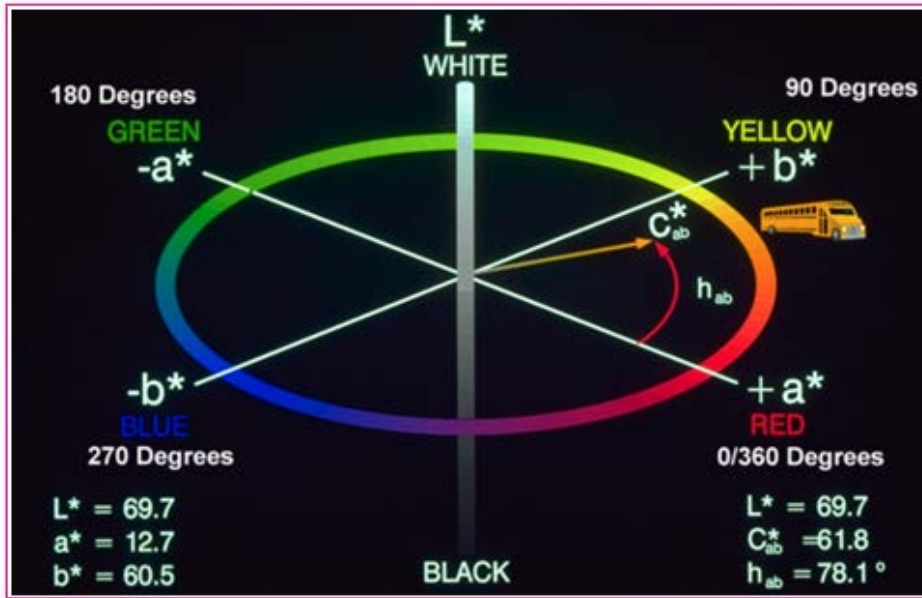
Name	CIE 1931 2°		CIE 1964 10°		CCT (K)	Hue	Note
	$x_2$	$y_2$	$x_{10}$	$y_{10}$			
A	0.44757	0.40745	0.45117	0.40594	2856		Incandescent / Tungsten
B	0.34842	0.35161	0.34980	0.35270	4874		{obsolete} Direct sunlight at noon
C	0.31006	0.31616	0.31039	0.31905	6774		{obsolete} Average / North sky Daylight
D50	0.34567	0.35850	0.34773	0.35952	5003		Horizon Light. <a href="#">ICC profile</a> <a href="#">PCS</a>
D55	0.33242	0.34743	0.33411	0.34877	5503		Mid-morning / Mid-afternoon Daylight
<a href="#">D65</a>	0.31271	0.32902	0.31382	0.33100	6504		Noon Daylight: <a href="#">Television</a> , <a href="#">sRGB color space</a>
D75	0.29902	0.31485	0.29968	0.31740	7504		North sky Daylight
E	1/3	1/3	1/3	1/3	5454		Equal energy
F1	0.31310	0.33727	0.31811	0.33559	6430		Daylight Fluorescent
F2	0.37208	0.37529	0.37925	0.36733	4230		Cool White Fluorescent
F3	0.40910	0.39430	0.41761	0.38324	3450		White Fluorescent
F4	0.44018	0.40329	0.44920	0.39074	2940		Warm White Fluorescent
F5	0.31379	0.34531	0.31975	0.34246	6350		Daylight Fluorescent
F6	0.37790	0.38835	0.38660	0.37847	4150		Lite White Fluorescent
F7	0.31292	0.32933	0.31569	0.32960	6500		<a href="#">D65</a> simulator, Daylight simulator
F8	0.34588	0.35875	0.34902	0.35939	5000		D50 simulator, Sylvania F40 Design 50
F9	0.37417	0.37281	0.37829	0.37045	4150		Cool White Deluxe Fluorescent
F10	0.34609	0.35986	0.35090	0.35444	5000		Philips TL85, Ultralume 50
F11	0.38052	0.37713	0.38541	0.37123	4000		Philips TL84, Ultralume 40
F12	0.43695	0.40441	0.44256	0.39717	3000		Philips TL83, Ultralume 30

## الفراغ اللوني L\*, c\*, h\*

يستعمل الفراغ اللوني L\*, c\*, h نفس الفراغ المستخدم في L\*, a\*, b\* ولكن باستخدام الإحداثيات الأسطوانية بدلاً من الإحداثيات العمودية حيث يسمح هذا النظام بتحديد اللون عن طريق الزاوية اللونية أو تدرج اللون (h°, hue angle)، حيث يبدأ التدرج اللوني h على المحور +a\* ويعبر عنه بالدرجات حيث (الزاوية 0 درجة) تعادل +a\*، و الزاوية 90 درجة تعادل +b\*، والزاوية 180 درجة تعادل -a\*، والزاوية 270 درجة تعادل -b\*. ودرجة الاشباع أو صفاء اللون أو نقاوته (C\*, Chroma, Saturation) وهي في المركز صفر وتزداد بحسب البعد عن المركز. (الشكل 40)، وهذه الإحداثيات الأخيرة (C\*, h°) تحسب انطلاقاً من b\* و a\* كما يلي:

$$c^* = \sqrt{b^{*2} + a^{*2}}$$

$$h^0 = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$



الشكل 40: الفراغ اللوني Lch

## قياس فرق اللون

تحديد فرق اللون من أكبر المشاكل عند مستخدمي قياس اللون. على الرغم من يعبر عن فروقات اللون عند استخدام أجهزة قياس اللون عدديا ولكن من الصعب فهم هذا الفرق.

لنستخدم الفراغ اللوني  $L^*a^*b^*$  والفراغ اللوني  $L^*C^*h^*$  لتوضيح الفرق اللوني لتفاحتين، الأولى قيم لونه ( $L^*=43.31, a^*=+47.63, b^*=+14.12$ ) كعينة مرجعية. وبالتالي فعند تحديد فرق اللون للتفاحة الثانية والتي قيم لونها ( $L^*=47.34, a^*=+44.58, b^*=+15.16$ ) نحصل على الفروقات كما هو مبين في الجدول (5) وموضحة على الشكل (27).

الجدول 5: قيم لون التفاحتين على الفراغ اللوني  $L^*a^*b^*$  و  $L^*c^*h^*$

A: $L^*a^*b^*$ color difference	B: $L^*C^*h^*$ color difference
$\Delta L^* = +4.03$	$\Delta L^* = +4.03$
$\Delta a^* = -3.05$	$\Delta C^* = -2.59$
$\Delta b^* = +1.04$	$\Delta H^* = +1.92$
$\Delta E^* = 5.16$	$\Delta E^* = 5.16$

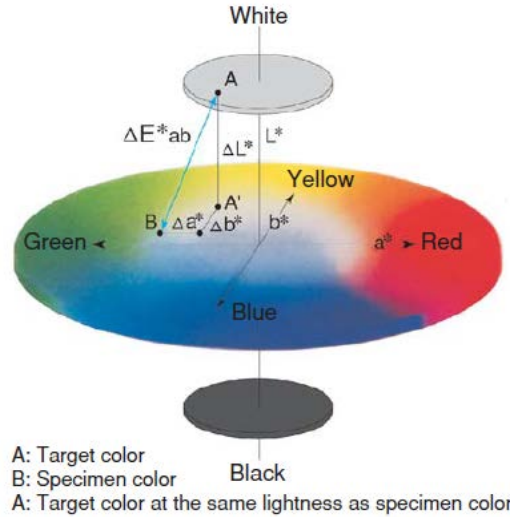
يبين الشكل (41) فرق اللون في الفراغ اللوني  $L^*a^*b^*$  وهو اسهل في الفهم من أجل التوضيح. في الفراغ اللوني  $L^*a^*b^*$ ، يعبر عن فرق اللون بقيمة عددية واحدة،  $\Delta E^*_{ab}$ ، التي تشير حجم فرق اللون ولكن ليس اتجاه هذا الاختلاف. تعرف قيمة الفرق  $\Delta E^*_{ab}$  بالمعادلة التالية:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

عند تعويض قيم  $\Delta L^*=+4.03$ ،  $\Delta a^*=-3.05$ ، and  $\Delta b^*=+1.04$  في المعادلة السابقة نحصل على  $\Delta E^*_{ab}=5.16$  المبينة في الجدول (5). عند قياس فرق اللون في الفراغ اللوني  $L^*C^*h^*$ ، فإننا نحصل على القيم المبينة في الجدول (5). نفس قيمة  $\Delta L^*$ ، المحسوبة في الفراغ اللوني  $L^*a^*b^*$ . تشير القيمة  $\Delta C^*=-2.59$  أن التفاحة الثانية اقل اشباعا. فرق الدرجة اللونية  $\Delta H^*$  والتي تحسب باستخدام المعادلة التالية:

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta c^*)^2}$$

وهي تساوي +1.92 المبينة في الشكل (42). والذي يعني أنه لون التفاحة الثانية هو أقرب الى المحور  $b^*$  وهي بالتالي أكثر اصفرارا.

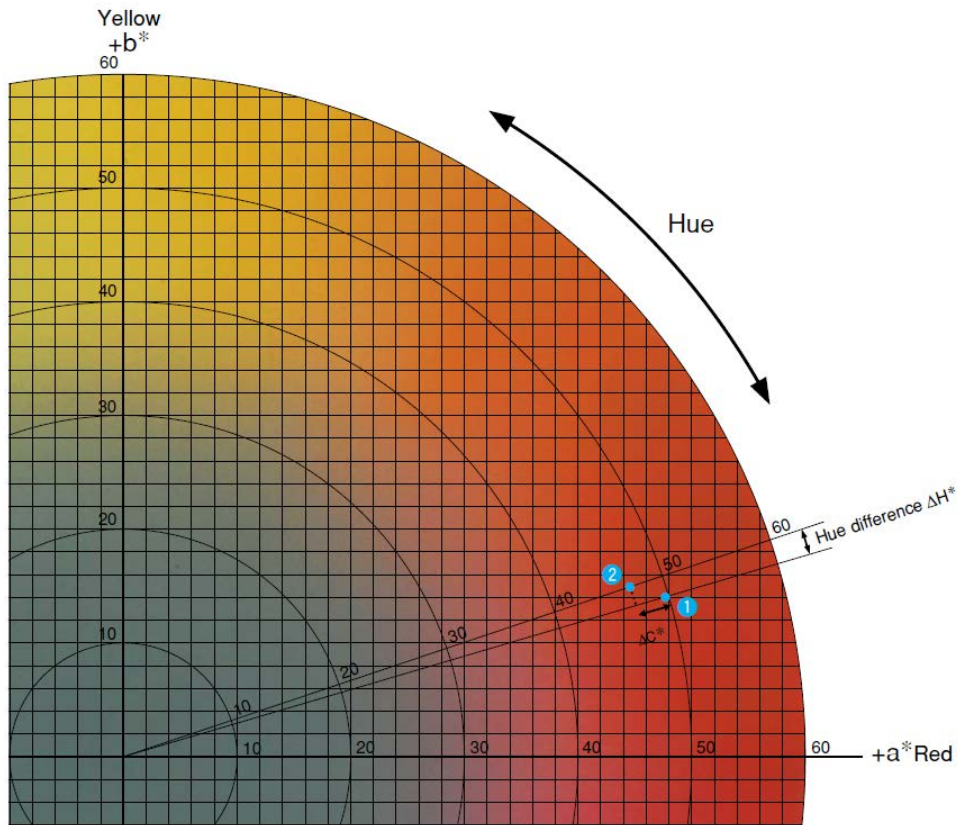


الشكل 41: فرق اللون على الفراغ اللوني  $L^*a^*b^*$ .

### مشاكل الفراغ اللوني CIE Lab

يمثل الفراغ اللوني الألوان في على محاور تمثل فراغ لوني متجانسة يتألف من الاضاءة  $L^*$  والصبغة بدلالة  $a^*$  و  $b^*$ . على الرغم من أنه تم وضع المعادلات الحسابية للفراغ اللوني على اساس رؤية اللون بعين الانسان، إلا انه يوجد اختلاف بين تقييم اختلاف اللون من خلال قيمة  $\Delta E^*_{ab}$  وبين عين الانسان. وذلك يعود إلى أن عتبة تمييز اللون بعين الانسان تختلف بشكل كبير عن مجالات فروقات اللون  $\Delta E^*_{ab}$  و  $\Delta a^*b^*$  المعرفة من قبل CIE Lab.





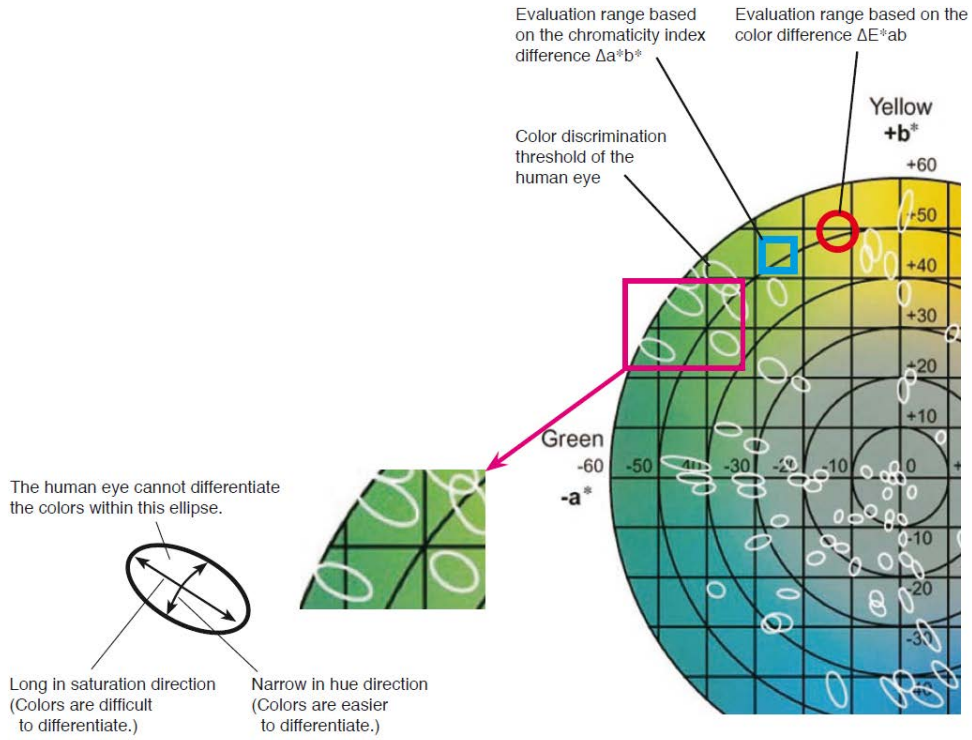
الشكل 42: تمثيل لون التفاحتين باستخدام قيم  $L^*C^*h^*$ .

### عتبة تمييز اللون في عين الانسان

Color discrimination threshold of the human eye

لا تستطيع عين الانسان أن تفرق بين بعض الألوان عن بعضها الآخر. مساحة هذه الألوان على مخطط الألوان تدعى عتبة تمييز الألوان لعين الإنسان.

يبين الشكل (43) جزء من مخطط  $a^*b^*$  للألوان يمثل الفراغ اللوني CIE Lab. تمثل المناطق البيضوية البيضاء عتبات تمييز اللون لعين الإنسان المتعلقة بالاشباع والصبغة. بتعبير آخر، لا يمكن لعين الإنسان التفريق بين ألوان التي تقع ضمن كل شكل بيضوي.



الشكل 43: تمثيل عتبة تمييز اللون في عين الانسان.

من خلال نظرة متفحصة على الاشكال البيضوية البيضاء يظهر أربع خصائص لمقدرة تمييز الألوان لعين الإنسان على مخطط اللون في الفراغ اللوني CIE Lab.

(1) الحساسية لفروقات اللون منخفضة في الألوان المرتفعة الاشباع. ولذلك، من الصعب التمييز بين هذه الألوان. (حساسية مرتفعة للإشباع). تصبح الأشكال البيضوية أقرب الى دوائر عند الألوان منخفضة الإشباع، وتصبح أطول عند الألوان المشبعة وأضيق بإتجاه الألوان النقية ذات الاشباع المرتفع. وهذا يعني أن عين الانسان لا يمكن أن تميز الألوان ذات الاشباع المرتفع رغم اختلافها اللوني الكبير نسبياً.

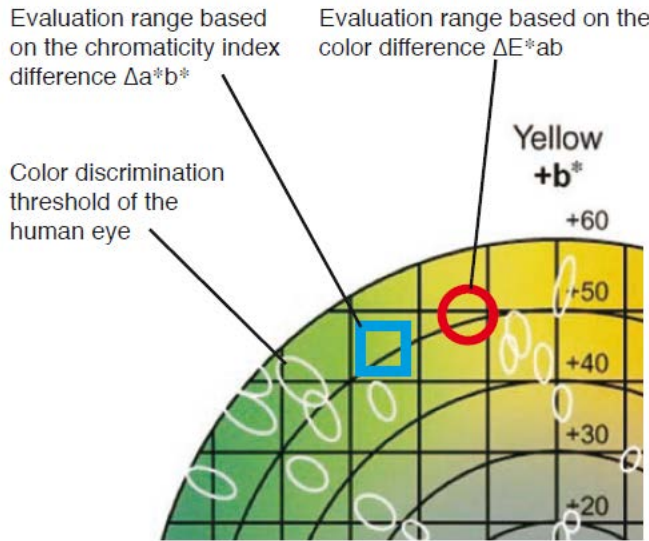
(2) تختلف الحساسية لفرق اللون باتجاه الصبغات وفقاً للصبغة. أنظر إلى الشكلين A و B في المخطط. يقع الشكل A في الصبغة بزاوية 120 (أخضر مصفر)، ويقع الشكل B في الصبغة بزاوية 180 (أخضر). على الرغم من تشابه إشباعهما فإن الشكل A أعرض باتجاه الصبغة، و B أضيق. وهذا يعني أن حساسية فرق اللون فيما يتعلق بالصبغة هي أعلى عند B من A.

3) تعتمد حساسية فرق اللون باختلاف الإضاءة (قيمة L). لسوء الحظ لا يمكن رؤية الضوء على الشكل لأنها ممثلة بخط عمودي على الشكل. تصبح الحساسية عظمى عند الإضاءة 50، وتتنقص عند إضاءة أعلى وأقل من ذلك.

4) عند الألوان الزرقاء، تتغير عتبة تمييز اللون؟ يبين الشكل أن المحاور الأساسية للأشكال البيضوية البيضاء عند الألوان الزرقاء لا تتوافق مع توجه إنتشار الأشباع من المركز.

نتيجة عدم التوافقات المذكورة ينتج اختلاف بتقييم الفرق بين الألوان بين أجهزة قياس اللون وعين الإنسان.

فرق اللون  $\Delta E^*ab$  المستخدم بشكل عام لتقدير اختلاف اللون في الفراغ اللوني CIE Lab يمثل دائرة عند كل إشباع وصبغة كما هو مبين في الشكل (44). فرق دليل اللونية  $\Delta a^*b^*$  طريقة تقييم أخرى شائعة، وهي تمثل مربع كما هو مبين في الشكل (44). يختلف الشكلين تماما عن شكل عتبة تمييز اللون لعين الإنسان (الشكل البيضوي الأبيض). اختلاف هذه الأشكال يُظهر الفرق بين نتائج حساب أجهزة قياس اللون وتقدير عين الإنسان.



الشكل 44: تمثيل فرق اللون وفرق دليل اللون.

## مميزات صيغة فرق اللون CIE 2000

### Features of "CIE 2000" color difference formula

طُورت صيغة فرق اللون CIE 2000 لحل مشكل الاختلافات في التقدير بين أجهزة قياس اللون وعين الإنسان الناتجة عن اختلاف الشكل وحجم عتبة تمييز اللون في عين الإنسان.

صيغة فرق اللون CIE 2000 ليست محاولة لوضع فراغ لوني فيه عرض عتبة تمييز اللون لعين الإنسان متجانسة. على العكس، فهو يعرف طريقة حساب بحيث أن الفرق المحسوب بأجهزة قياس اللون قريبة لعتبة تمييز اللون لعين الإنسان في الفراغ اللوني CIE Lab.

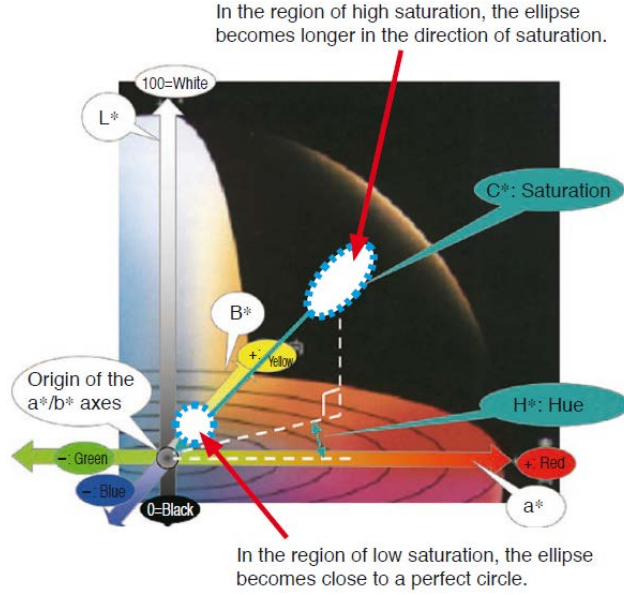
وبالتحديد، وضع أوزان حسابيه لفرق الاضاءة  $\Delta L^*$ ، فرق الاشباع  $\Delta C^*$ ، وفرق الصبغة  $\Delta H^*$ ، باستخدام معاملات وزنية SL, SC, Sh. تتضمن المعاملات الوزنية SL, SC, Sh تأثير الاضاءة  $L^*$  والاشباع  $C^*$  وزاوية الصبغة h. ولذلك، يتضمن الحساب خصائص عتبة تمييز اللون في عين الإنسان في الفراغ اللوني CIE Lab، وهي (1) تأثير الاشباع، تأثير الصبغة، تأثير الاضاءة.

مُثلت مجالات تقدير فرق اللون عنداستخدام صيغة فرق اللون CIE Lab بفرق اللون  $\Delta E^*_{ab}$  وفرق دليل اللونية  $\Delta a^*b^*$  بدائرة و مربع على الفراغ اللوني  $L^*a^*b^*$ . في CIE 2000 يُمثل فرق اللون  $\Delta E_{00}$  بشكل بيضوي له محور أساسي باتجاه الاشباع، وهو مشابه لشكل لعتبة تمييز اللون لعين الانسان. في منطقة الاشباع المنخفضة، فإن المعاملات الوزنية SL, SC, Sh تقترب من الواحد ليصبح الشكل البيضوي أقرب إلى شكل الدائرة (الشكل 45).

في المنطقة ذات الاشباع المرتفع، يصبح المعامل الوزني SC أكبر بالمقارنة مع باقي المعاملات SL و Sh، لذلك يصبح الشكل البيضوي أطول باتجاه الاشباع (أقل حساسية لفرق الاشباع).

كما أن صيغة حساب فرق اللون في CIE 2000، تأخذ بالحسبان تأثير زاوية الصبغة. والنتيجة، فإن الصبغة يمكن أن تغطي خصائص أخرى لعتبة تمييز اللون لعين الانسان في الفراغ اللوني CIE Lab: (4) تغير اتجاه عتبة تمييز اللون حول زاوية الصبغة في الدرجة 270 (الازرق)، (انحراف عن اتجاه الاشباع).

تتضمن الصيغة أيضا توابت  $k_L$ ,  $k_C$ ,  $k_H$  تدعى معاملات متغيرة parametric coefficients. يمكن للمستخدمين تحديد قيمها وفقا لرغبة للحصول على مرونة في ادارة اللون وفقا لعينات مختلفة.



الشكل 45: اختلاف شكل عتبة تمييز اللون.

تحسب قيمة فرق اللون  $\Delta E_{00}$  وفق CIE 2000 باستخدام المعادلة التالية:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H \cdot S_H}\right)^2 + \left(R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C \cdot S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H \cdot S_H}\right)\right)}$$

حيث:

$$\begin{aligned}
L' &= L^* & b' &= b^* & a' &= a^*(1+G) \\
C' &= \sqrt{(a')^2 + (b')^2} & h' &= \tan^{-1}\left(\frac{b'}{a'}\right) \\
G &= 0.5 \left( 1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^{*7}}{\bar{C}^{*7} + 25^7}} \right) & S_L &= 1 + \frac{0.015 (\bar{L} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50)^2}} \\
S_c &= 1 + 0.045 \bar{C}' & S_H &= 1 + 0.015 \bar{C}' T \\
T &= 1 - 0.17 \cos(\bar{h}' - 30) + 0.24 \cos(2\bar{h}') + 0.32 \cos(3\bar{h}' + 6) - 0.20 \cos(4\bar{h}' - 63) \\
R_T &= -\sin(2\Delta \theta) R_c & \Delta \theta &= 30 \exp\left(-\left(\frac{\bar{h}' - 275}{25}\right)^2\right) \\
R_c &= 2 \sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}}
\end{aligned}$$

## أنظمة معالجة الصور

### مقدمة

تعرف معالجة الصورة بأنها أحد فروع علم الحاسوب (المعلوماتية)، وهي تهتم بإجراء عمليات على الصور بهدف تحسينها طبقاً لمعايير محددة أو استخلاص بعض المعلومات منها. تهدف عملية معاملة الصور إلى:

معالجة الصور Image Processing حيث يكون الدخل عبارة عن صورة والنتائج صورة محسنة نتيجة المعالجة.

تحليل الصور Image Analysis حيث يكون الدخل عبارة عن صورة أما الخرج فهو مجموعة من القياسات.

فهم الصورة Image Understanding في هذا القسم يكون الدخل عبارة عن صورة أما الخرج فهو وصف ذو مستوى عالي.

تقسم عملية معالجة الصور إلى ثلاثة أقسام:

المعالجة على مستوى النقطة Point processing وهي تعطي خرجاً ناتجاً عن معالجة قيمة بكسل واحد.

المعالجة على المستوى المحلي Local processing وهي تعطي خرجاً ناتجاً عن معالجة مجموعة قيم البكسلات المتجاورة.

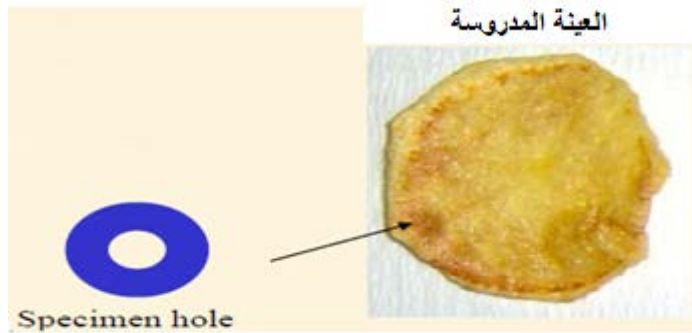
المعالجة على المستوى العام Global processing وهي تعطي خرجاً ناتجاً عن معالجة جميع قيم بكسلات الصورة.

تستخدم أجهزة الكالوريمتر (قياس اللون) والسبيكتروفوتومتر لتحديد لون المواد الغذائية، لكنها تعتبر غير ملائمة لتقييم توزع وتجانس لون الكثير من المواد الغذائية، كما أنها لا تمثل لون المادة المدروسة بشكل دقيق كونها تقيس لون مساحة صغيرة من سطح المادة الغذائية، كما أنها تستلزم أن تكون العينة المدروسة متجانسة ومنتظمة السطح، لذلك يتوجب على المحرب قياس لون عدة مواقع من العينة، والمثال الآتي يوضح ذلك. عند قياس لون رقائق البطاطا

المبينة بالشكل (1)، يتضح عدم إمكانية قياس لون السطح الكامل للعينة بأجهزة قياس اللون لعدم تناسب الشكل الهندسي للعينة مع فتحة حامل العينة بالأجهزة وهذا يتطلب تكرار القياس بهدف الحصول على قيمة ممثلة للون العينة، بينما توفر أنظمة معالجة الصور إمكانية قياس لون المساحة الكاملة للعينة المدروسة، وهذا يجعل معالجة الصورة هي التقنية الأنسب لإعطاء قيمة ممثلة للون هذه العينة غير المتجانسة، كما هو واضح بالشكل (2).

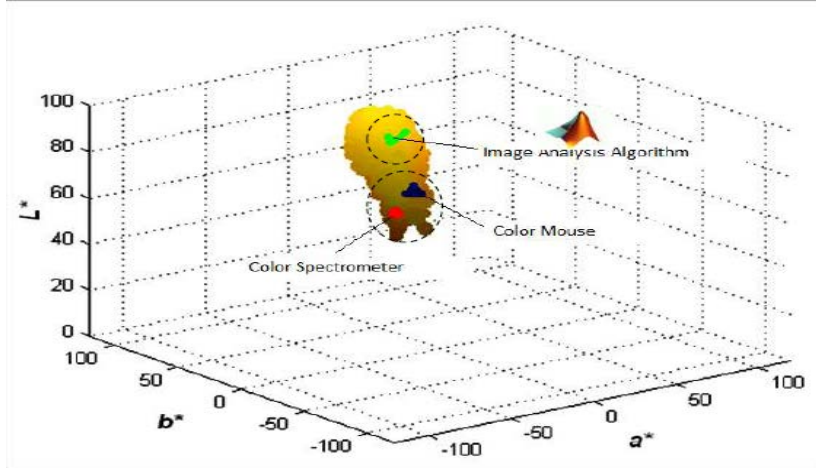
يستخدم حالياً تحليل الصور بواسطة الحاسوب لتحديد لون المواد الغذائية بشكل موضوعي لأنه يتميز بمزايا متنوعة بشكل أساسي منها إمكانية تحليل كل بكسل من السطح الكامل للمادة الغذائية والتحليل الرقمي لميزات السطح، لذلك يعتبر تحليل الصورة بالحاسوب طريقة واعدة لقياس اللون، وهناك العديد من الدراسات الحديثة حول استخدام تقنيات الحاسوب لتحديد لون الكثير من المواد الغذائية مثل الموز ورقائق البطاطا والدقيق والتفاح واللحوم.

تستخدم تقنية تحليل الصورة بشكل متزايد في الصناعات الغذائية لأهداف تقييم الجودة كونها تقنية سريعة ودقيقة وموضوعية ومنخفضة التكاليف وغير هدامة للعينة، وتدرج الصناعات الغذائية ضمن أوائل الصناعات التي تستخدم هذه التقنية. بين العديد من الدراسات أنه يمكن ربط قيم لون المنتجات الغذائية المقاس بتقنية تحليل الصور الرقمية بقيم اللون باستخدام أجهزة اللونية.



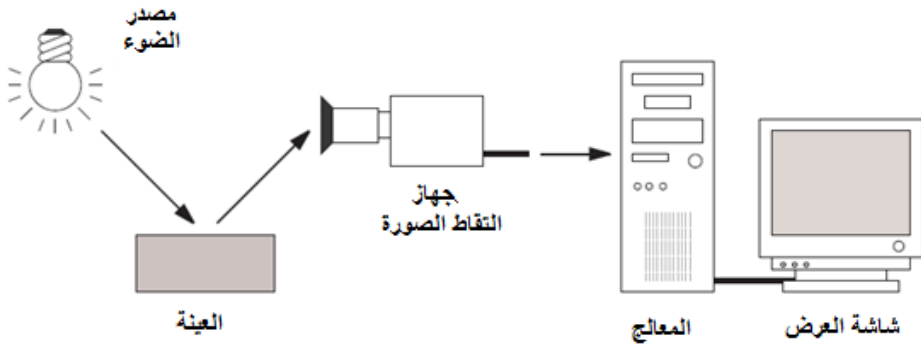
الشكل 1: قياس لون رقائق البطاطا





الشكل 2: مقارنة نتيجة تحليل الصورة مع السبيكتروفوتومتر

تتكون أنظمة تحليل الصور بشكل أساسي من وسيلة لالتقاط الصور مثل كاميرة رقمية أو فيديو، وإضاءة قياسية وبرنامج حاسوبي لتحليل الصور إما أن يكون هذا البرنامج متوفر تجارياً مثل برنامج Adabe photoshop أو برنامج تمت برمجته لهدف معين وفي كلا الحالتين، الأساس هو تحويل قيم RGB إلى نظام CIE LAB المفهوم أكثر والذي يعطي نتائج متقاربة مع إدراك الإنسان للون، الشكل (3).



الشكل 3: مكونات نظام رؤية الحاسوب

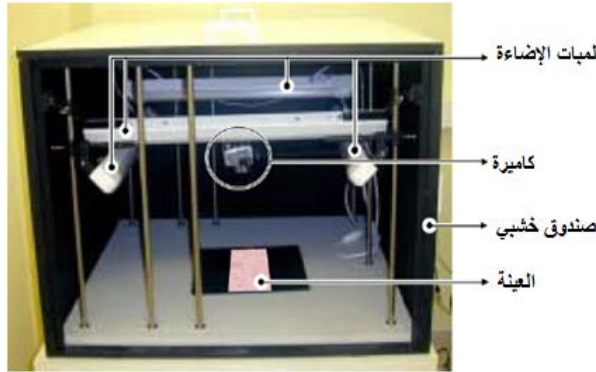
إن التطور السريع لأجهزة وبرمجيات التقاط ومعالجة الصور الرقمية والانخفاض الكبير في تكاليفها خلال السنوات الأخيرة جعل هذه التقنية مقبولة أكثر.

يتألف نظام معالجة الصور التقليدي من ستة مراحل متتالية وهي على الترتيب:

1. استحصال الصورة (Image Acquisition) بواسطة حساس ضوئي (على سبيل المثال آلة تصوير , حساس ليزر وغير ذلك).
2. المعالجة الابتدائية (pre-processing) كتصفية الصورة من التشويش.
3. تقطيع الصورة (segmentation) لفصل المعلومات المهمة على سبيل المثال أي جسم في الصورة عن الخلفية.
4. استخراج المميزات (features extraction) أو الصفات.
5. تصنيف المميزات (classification) وربطها بالتمط الذي تعود اليه والتعرف على الأنماط.
6. فهم الصورة (Image Understanding).

يبين الشكل (4) النظام الذي استخدم لقياس لون الأغذية باستخدام تحليل الصورة وهو يتكون من:

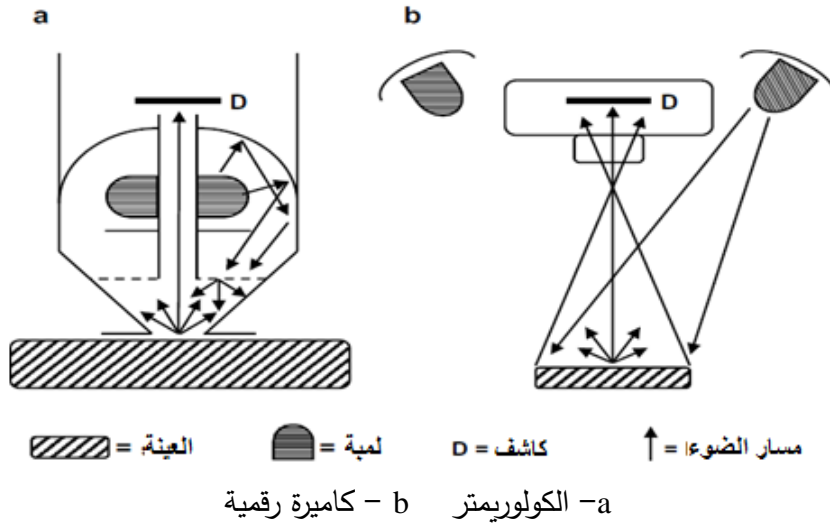
- كاميرا رقمية ملونة نموذج Canon Powershot G3 بدقة 4 Mega Pixels مثبتة بوضعية عمودية على مسافة 22.5 سم من العينة والزاوية بين محور العدسة ومصدر الإضاءة 45 درجة.
- أربع لمبات نيون بضوء النهار الطبيعي 18 w بطول 60 سم وذات درجة حرارة لون k 6500.
- صندوق خشبي جدرانه مطلية بلون أسود توضع فيه لمبات الإضاءة والكاميرا.



الشكل 4: جهاز لقياس لون الطعام

حيث يتم التقاط الصور بدقة 2272 × 1704 Pixels، وتتم معايرة هذا النظام بقياس لون 32 مخطط لوني.

يبين الشكل (5) نظام قياس اللون الذي استخدم لالتقاط صور العينات بقياس يصل حجمها الى 1536×2048 Pixels وبدقة 180 dpi باستخدام كاميرا رقمية A70 canon power-shot، حيث تتم الإضاءة باستخدام ضوء نيون أبيض بارد غير مباشر، وتوضع الكاميرة على بعد 53 سم من حامل العينة، ويعاير النظام باستخدام الصفيحة المستخدمة بمعايرة جهاز Minolta Chromameter Cr – 300, Japan , Osaka.



الشكل 5: نظام قياس اللون

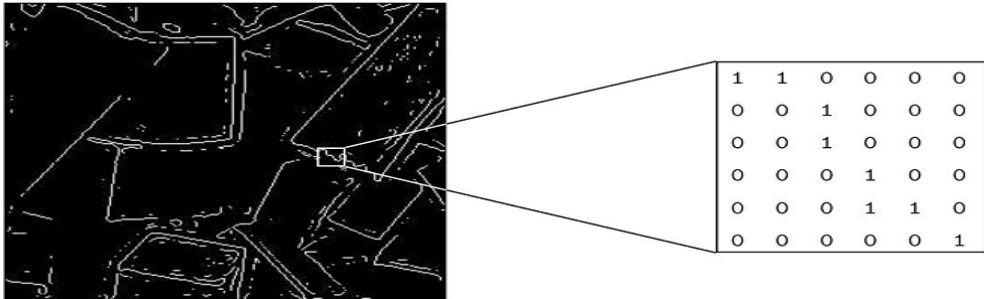
### أنواع الصور Type of Images

تمثل الصورة الرقمية بمصفوفة ثنائية البعد  $I(x, y)$  تحوي عدداً من الأعمدة (عرض الصورة) وعدداً من الأسطر (ارتفاع الصورة)، ويمثل تقاطع السطر مع العمود العنصر الأساسي في الصورة ويدعى بالبكسل Pixel اختصاراً للتسمية Picture Element وكلما زادت عدد البكسلات كلما كانت الصورة أوضح، ولكل بكسل قيمة عددية قد تكون ممثلة على ثمانية بتات وعندها يأخذ القيمة من 0 التي تمثل اللون الأسود حتى 255 التي تمثل اللون الأبيض، وفي هذه الحالة تتراوح ألوان الصورة بين الأبيض والأسود والدرجات الرمادية، وقد يكون

التمثيل على 24 بت وعندها يمثل كل بكسل ثلاث مركبات للألوان الأساسية وهي ثمانية بتات للأحمر (Red) وثمانية للأخضر (Green) وثمانية للأزرق (Blue) وهذا النمط يعرف بنمط RGB، حيث تكون الصورة ملونة، وكل هذه المركبات يأخذ قيمة من 0 حتى 255.

### الصور الثنائية Binary Images

تعتبر الصور الثنائية من أبسط أنواع الصور ويتم تمثيلها باللون الأبيض والأسود الشكل (6)، حيث تكون قيمة جميع بكسلات الصورة إما 0 أو 1 أي إما أسود أو أبيض، ويمكننا تحويل جميع أنواع الصور الأخرى إلى الصور الثنائية عن طريق ما يسمى بالعتبة Threshold حيث تحول جميع قيم جميع البكسلات التي قيمها أقل من قيمة العتبة إلى الصفر (الأسود) وجميع قيم البكسلات التي قيمها أكبر من قيمة العتبة إلى الواحد (الأبيض).



الشكل (6) الصور الثنائية

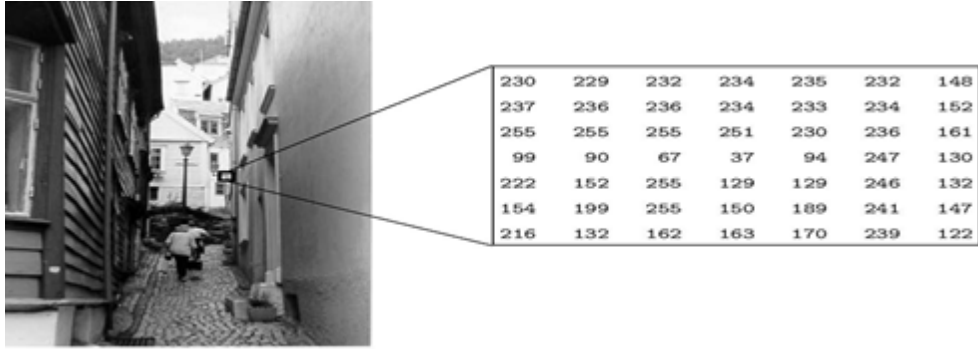
### الصور الرمادية (Gray Scale Images) (Intensity Images)

يتم تمثيل هذه الصور على أساس لون واحد للصورة أو ما يسمى Monochrome حيث تمتلك معلومات عن إضاءة الصورة فقط ولا تمتلك معلومات عن اللون الشكل (7)، وتتراوح قيمة كل بكسل في هذه الصورة من 0 (الأسود) حتى 255 (الأبيض)، وهذا يعني أن كل بكسل يمكن تمثيله بثمانية بتات 8 bits أو 1 byte.

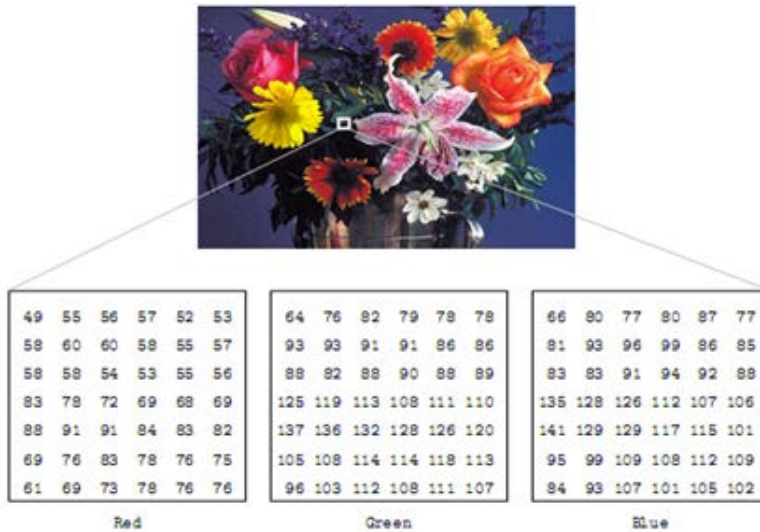
### الصور الملونة RGB أو Color Images

تتميز هذه الصور بثلاثة ألوان أحادية يشار إليها بالأحمر R والأخضر G والأزرق B أي صور RGB، وبالتالي في هذه الصور يتميز كل بكسل بلون معين حيث يتم وصف هذا اللون بمقدار الأحمر والأزرق والأخضر فيه، كل لون يأخذ 8 بت اذن الصورة الملونة تمتلك 24 بت (24 bit per pixel) وتتكون هذه الصور من ثلاث مصفوفات تمثل قيم الأحمر

والأزرق والأخضر لكل بكسل الشكل (8) ويفرض أن قيمة كل مكون ضمن المجال 0-255 فإن هذا يعني أن عدد الألوان المحتملة في الصورة هي  $255^3 = 1677721$ .



الشكل (7) الصور الرمادية

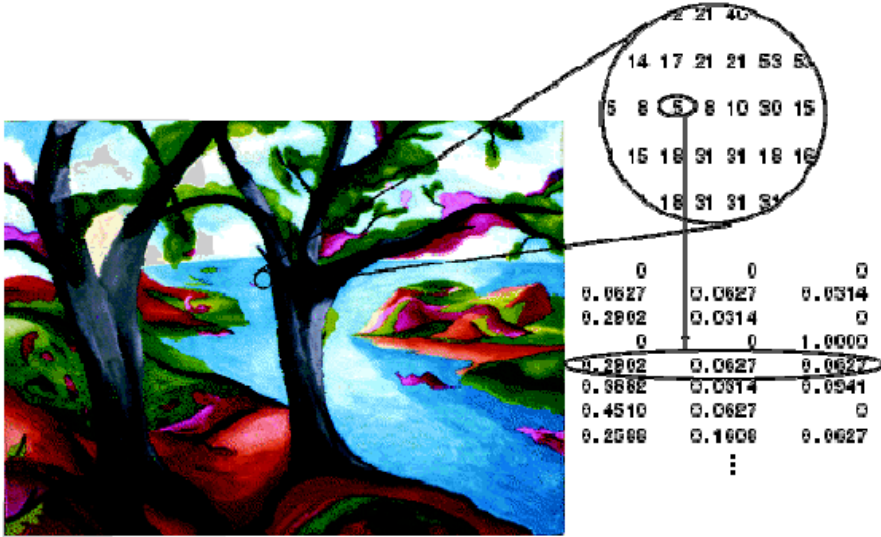


الشكل (8) الصور الملونة

### الصور الملونة Indexed

عند وجود قيود على سعة التخزين أو قيود على أجهزة الإظهار، فإن كثيراً من الأنظمة تستخدم 8 bits لتمثيل الألوان (أي 256 لون) بدلاً من 24 bits.

بهدف تسهيل تخزين الصور والتعامل معها يرفق مع الصورة خريطة لون look up table (LUT)، والتي هي ببساطة قائمة بكل الألوان المستخدمة في الصورة، ويتميز كل بكسل في هذه الصور بقيمة لا تعبر عن اللون كما في صور الـ RGB وإنما دليل اللون في خريطة اللون الشكل (9). يدعى جدول الألوان LUT بـ palette.



الشكل (9) الصور الملونة Indexed

## استحصال الصور Image Acquisition

### الكاميرا الرقمية Digital Cameras

في العشرين سنة الماضية أصبحت تحيطنا العديد من الأجهزة المنزلية ذات التقنيات الرقمية مثل CDs, DVDs, HDTVs, MP3s, DVRs, والتي نشأت جميعها وتطورت مع تطور العصر الرقمي، لتعمل بنفس نظرية المعالجة وهي تحويل المعلومات التماثلية التقليدية (والتي تُمثل بموجات) إلى معلومات رقمية والتي تُمثل بأصفار و/أو واحد أو ما يسمى بالـ (Bits).

الكاميرا الرقمية digital camera تُعد واحدة من أهم الأمثلة الملحوظة لهذه الوسيلة لأنها تختلف تماماً عن الكاميرات التقليدية (التي تستخدم الفيلم) التي تعتمد كلية على المعالجة الكيميائية والميكانيكية لالتقاط الصورة وطباعتها حتى ان بعضها لا يحتاج لطاقة كهربائية

لتشغيلها. ومن ناحية أخرى فإن كل الكاميرات الرقمية تحوي بداخلها معالج صغير (Microprocessor) يقوم بمعالجة الصور إلكترونياً.

وفي الحقيقة لم تحل الكاميرات الرقمية محل الكاميرات التقليدية حتى الآن وذلك لأن الفيلم ما زال يعطي جودة عالية للصورة ولكن بتقدم تكنولوجيا الصور الرقمية أصبحت الكاميرات الرقمية أكثر انتشاراً وشعبية.

كما للكاميرا التقليدية مجموعة من العدسات التي تركز الضوء المنعكس عن الجسم المراد تصويره على الفيلم لأخذ صورة من المشهد، فان للكاميرات الرقمية عوضاً عن الفيلم يوجد شريحة من أشباه الموصلات (حساسات) والتي تقوم بتسجيل الضوء إلكترونياً تسمى الـ CCD، ليقوم بعدها المعالج الذي تحتويه الكاميرا بتحويل هذه المعلومات الالكترونية لبيانات رقمية وتحفظها على ذاكرة الكاميرا.

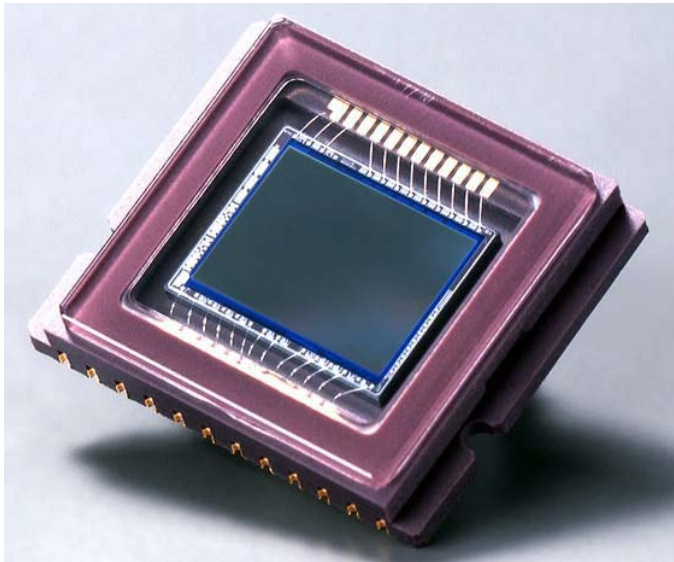
إن معظم الحساسات في الكاميرات الرقمية تكون من شبكة من العناصر مزدوج الشحنة ، CCD (Charged-Coupled device) (الشكل 10)، وبالرغم من ان بعض الكاميرات الرقمية تستخدم تقنية الحساسات الضوئية (Complementary Metal Oxide Semi Conductor) (شبه موصل معدن الاكسيد المتمم) وتختصر بـ CMOS بدلاً عن الـ (CCD) إلا أن كلا التقنيتين CCD أو CMOS تقومان بتحويل فوتونات الضوء إلى الكترونات. وتتكون الحساسات من شبكة مصفوفات ثنائية الأبعاد تحوي الملايين من العناصر وكل عنصر يعكس عنصر من الصورة الذي يسمى PIXEL وهي اختصار لكلمة Picture elements.

ان مقدار التفاصيل التي تستطيع الكاميرات التقاطها يطلق عليها الدقة Resolution وتقاس بالبكسيل Pixel فكلما زاد عدد البكسل كلما زادت تفاصيل الصورة وتصبح الصور ذات الأبعاد الكبيرة أكثر وضوحاً.

تعتمد جودة الصورة جزئياً على كمية التفاصيل (Resolution) والتي تستطيع الكاميرا ايجادها ويمكن قياس ذلك بعدد البكسلات (Pixels) الموجودة بالكاميرا مثلاً 307200 او بقياسات الخطوط الأفقية والرأسية 480 \* 640 (وهو نفس القياس السابق 307200) وعلى العموم كلما تواجدت بكسلات أكثر كلما كانت الكاميرا أفضل.

بعض مستويات الدقة:

- (1)  $256 \times 256$  ونجدها في الكاميرات رخيصة الثمن فالدقة ضعيفة جداً ويكون إجمالي عدد البكسيل المكون للصورة هو 65.000 بكسيل.
- (2)  $480 \times 640$  وهو أقل حد لمستوى الدقة النموذجي وهو مثالي جداً لإرسال الصور عبر البريد الإلكتروني وصفحات الويب.
- (3)  $912 \times 1216$  ويقاس فيها حجم الصورة بالميجابكسل (Megapixel) وإجمالي البكسيل المكون للصورة هو 1.109.000 بيكسيل وفي هذا المقاس لغرض طباعة الصور.
- (4)  $1200 \times 1600$  وتتميز هذه الدقة بمجموع 2 مليون بكسيل وهي دقة عالية، حيث بإمكاننا طباعة صورة بمقياس  $4 \times 5$  إنش كتلك التي نتحصل عليها في معامل الألوان.
- (5)  $1680 \times 2240$  وتوجد في الكاميرات الرقمية ذات (4 Megapixel) وتسمح بطباعة صورة كبيرة بدقة عالية حتى  $16 \times 20$  إنش.
- (6)  $2704 \times 4064$  وهي أعلى دقة للكاميرات الرقمية (11.1 Megapixel) ويمكننا الطباعة بها بدقة عالية جداً حتى  $13.5 \times 9$  إنش.

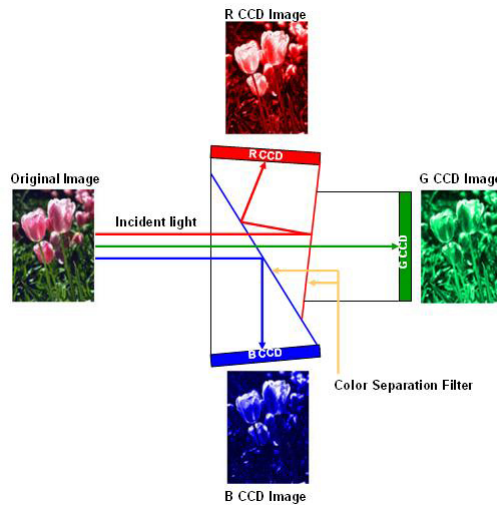


الشكل 10: الحساس في الكاميرا الرقمية CCD.



تعتبر المجسات الضوئية في الكاميرا الرقمية غير مدركة للألوان ولا تميزها، وذلك لأن فكرة عمل هذه المجسات هي قياس شدة الضوء وتحويله إلى شحنات كهربية. ولكي يتم التقاط الصورة بكامل ألوانها فإنه لا بد من استخدام مرشحات (filtering) للضوء بحيث يكون لكل لون من الألوان الأساسية مرشح خاص به، فمثلا المرشح الأحمر هو عبارة عن شريحة زجاجية ذات لون أحمر تسمح بدخول اللون الأحمر وتمنع باقي الألوان وكذلك بالنسبة للون الأزرق يستخدم مرشح أزرق ونفس الشيء بالنسبة للون الأخضر يستخدم مرشح أخضر، وبمجرد التقاط الكاميرا الصورة لأي مشهد فإنه يتم تحليل ألوان هذا المشهد إلى الألوان الأساسية الثلاث (الأخضر والأزرق والأحمر) ومن ثم يتم تجميعها للحصول على المشهد بكافة ألوانه.

وهناك طرق مختلفة لتقاط الألوان الأساسية في الكاميرا الرقمية. فالكاميرات الرقمية عالية الجودة تستخدم ثلاث وحدات من رقاقات الـ CCD منفصلة ومثبت فوق كل رقاقة CCD مرشح لوني حتى تخصص كل رقاقة برصد اللون الأساسي الخاص بها، عندما يتم تركيز الضوء المنعكس من الجسم إلى داخل الكاميرا بواسطة عدستها فإن الضوء يتم تجزئته باستخدام مجزئ ليسقط على المرشح اللوني ثم إلى الـ CCD (الشكل 11). يتم تجميع الإشارات الصادرة من الثلاثة رقائق CCD بواسطة المعالج لتكوين الصورة الملونة بالكامل.



الشكل 11: كيفية التقاط الالوان في وحدة الحساس CCD.

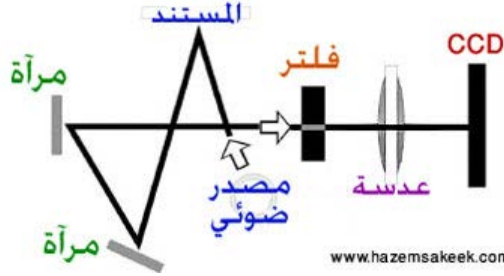
إن تقنيات تحليل الصور بالحاسوب المعتمدة على استخدام كاميرة رقمية ملونة CCD تعتبر وسيلة جيدة للتحديد السهل والسريع للون أي مادة غذائية باستخدام معدات متوفرة وبأسعار مقبولة، حيث يمكن استخدام الكاميرة لالتقاط صور ساكنة أو لتصوير مقطع فيديو، لكن يجب الانتباه إلى أن اللون في الصورة الملتقطة يتأثر بتغيير إعدادات الكاميرة وتغيير طريقة إضاءة العينة. يعني أن أي تغيير بنظام النقاط الصورة قد يسبب تغيرات مهمة بلون الصورة وبالتالي إن استخدام وسيلة تصوير تتميز بحساسية أقل لشروط الإضاءة وبسعر أقل مقارنة بالكاميرة سوف يمكّن من التوصل إلى نظام أقل تكلفة وأكثر فعالية.

تعتبر معايرة لون جهاز النقاط الصور مرحلة مهمة بنظام النقاط الصور وذلك لتحديد شروط معينة تعطي قيم لون ثابتة يمكن إعادة إنتاجها.

### الماسح الضوئي Scanners

يعتبر الماسح الضوئي Flatbed Scanner وسيلة مفضلة لالتقاط الصور بأنظمة رؤية الحاسوب بسبب أسعاره المنخفضة وتميزه بعلاقة ثابتة بين مصدر الإضاءة والحساسات في رأس المسح، ولذلك تعتبر أقل حساسية للشروط الخارجية.

يعمل الماسح الضوئي من خلال قياس اللون المنعكس عن عدد محدد من نقاط الجسم وحفظها على صيغة قيم RGB لهذه النقاط. ينعكس الضوء، الصادر عن منبع الضوء على الجسم الموضوع على لوح زجاجي، على مجموعة مرايا ثم يمرر على فلتر ومنها إلى عدسة ليتوجه الضوء إلى جهاز مزدوج الشحنة (Charged-couple device CCD) (الشكل 12). يتكون الـ CCD من شريحة تحتوي على مصفوفة مكونة من الآلاف من المجسات الضوئية (الديود diodes) الحساسة للضوء من مواد أشباه موصلية (Semiconductors). عندما تتكون الصورة على هذه الديودات يتم تحرير شحنة كهربائية من الديود يتناسب مع كمية الضوء، فكلما كان الضوء الساقط على الديود كبيراً كانت الشحنة المتحررة كبيرة. تعمل الشحنة الكهربائية المتحررة على تفريغ مكثف مشحون متصل مع كل ديود. يتم إعادة شحن هذه المكثفات من خلال تيار يعمل على مسح كل المكثفات ويقوم ميكروبروسور باحتساب قيمة الشحنة التي أعيدت إلى المكثف ليتم تخزين قيمة عددية لكل ديود مرتبطة بموضع الديود وشدة الضوء الذي سقط عليه لتكوين في النهاية صورة رقمية للجسم الذي تم التقاط صورته.



الشكل 12: آلية استحصال الصورة في الماسح الضوئي المكتبي.

هناك تقنية أخرى أصبحت أكثر شيوعاً في أجهزة المسح الضوئي رخيصة الثمن هي مجسات ملامسة الصورة (CIS) contact image sensor حيث يستبدل جهاز الشحن المزدوجة والمرايا والفلاتر والمصباح والعدسة بصفوف من ضوء أحمر وأخضر وأزرق تعمل بتقنية الصمامات الثنائية LEDs. وهي نوع من الديود يصدر ضوء عندما يتم توصيله بالكهرباء ويسمى بـ Light Emitting Diode ويتميز بأنه سريع جداً في الغلق والفتح وذو عمر طويل. وتعمل هذه الآلية عن طريق نشر مجسات بطول المساحة التي ستجرى عملية مسح لها بعدد بين 300 إلى 600 مجس تنتشر بالقرب من اللوح الزجاجي الذي يوضع عليه الجسم، وعند إجراء عملية المسح تتحد هذه الصمامات الثنائية فتعطي ضوءاً أبيض، حينئذ يتم التقاط الصورة المضيئة عن طريق صفوف المجسات Sensors وهي عبارة عن الخلايا الضوئية التي تستقبل الضوء المنعكس. إلا أن ذلك النوع من أجهزة المسح الضوئي وإن كان أخف وزناً وأقل سمكاً إلا أنه لا يعطي صورة بنفس كفاءة الصورة المعطاة عن طريق الماسحات التي تستخدم تقنية أجهزة مزدوج الشحن CCD.

يستخدم مصباح بغرض الإضاءة والمصباح المستخدم في الماسحات الضوئية الحديثة إما مصباح زينون xenon أو مصباح فلورسنت كاثود بارد cold cathode fluorescent، في حين أن الأنواع القديمة من الماسحات الضوئية تستخدم مصابيح فلورسنت عادية.

أهم ما يميز أنواع الماسحات الضوئية عن بعضها هو مدي دقة التقاطها Resolution للصورة وحدة الصورة الملتقطة Sharpness.

يتم تعريف دقة الماسح الضوئي بعدد النقاط الضوئية في البوصة الواحدة dpi وهي اختصار لـ " Dots Per Inche ". وترتبط الدقة الأفقية بعدد الخلايا الحساسه للضوء التي توجد في

صف أفقي واحد في الـ CCD أو في الـ CIS. وترتبط الدقة الرأسية بدقة المحرك الخطوي Stepper motor الذي يحرك مجموعه المسح، أو الخطوة التي يمكن أن يتحرك بها المحرك.

أما حدة الصورة Sharpness فتعتمد علي جودة المرايا والعدسات المستخدمة في نقل الضوء داخل الماسح الضوئي، وعلى شدة الضوء الصادر من المصدر الضوئي فكلما زاد المصدر الضوئي سطوعاً زادت حدة الصورة الناتجة وكانت النتائج أفضل.

تم تطوير خوارزمية لمعايرة اللون بهدف مطابقة أجهزة المسح الضوئي مع ماسح ضوئي مرجعي باستخدام مخطط لوني Q<sub>60</sub> كعينة مدروسة، وقد توصل إلى إمكانية إجراء هذه المطابقة من خلال مطابقة مخطط الهيستوغرام باستخدام مخطط لوني قياسي Q<sub>60</sub> كصور مرجعية.

لكن تبين أن الصور الملتقطة باستخدام عدة أجهزة مسح ضوئي تبدي اختلافات كبيرة من حيث السطوع وتوزع اللون وهذا يعني أن النظام المبرمج لماسح ضوئي معين قد لا يعطي نتائج صحيحة عند استخدام ماسح ضوئي آخر، ويعتبر ذلك مهم من الناحية التطبيقية فمن المؤكد أن الماسح الضوئي المستخدم حالياً في التطبيقات لا يمكن استخدامه إلى الأبد ومن الضروري استبداله في وقت لاحق، علاوة على ذلك إن إمكانية تبديل الماسح الضوئي بأخر تتيح للمستخدم الاستفادة من المستجدات في أجهزة المسح الضوئي.

يوجد للماسحات الضوئية استخدام آخر، ألا وهو تصوير عينات يمكن وضعها على الزجاج مكان الوثائق. يمكن وضع المساحيق على السطح الزجاجي للماسح، أو شريحة مقطعة من الفاكهة، أو من الخبز أو من اللحم (الشكل 13)، مما يوفر طريقة بسيطة لالتقاط صورة عالية الدقة وأداء لوني جيد. يجب أن تكون العينة مسطحة، لأن عمق المجال يجب أن لا يزيد عن 1 سم. كما أنه، قد تسبب الأغية الباردة تكاثف على السطح السفلي للزجاج. مسائل الدقة المكانية والمجال الديناميكي، تظهر دائماً عند الاستحصال على الصور، لذلك من المفيد معالجها هنا. الدقة المكانية، تعرف بمصطلح النقطة في البوصة dpi. معظم الماسحات المكتبية توفر دقة ضوئية تتراوح بين 1000 إلى 3000 dpi. يمكن الحصول على صور قطع من المنتجات الغذائية من خلال قطعها ووضعها على الماسح المكتبي، بنتائج عالية الجودة وبتكلفة مناسبة جداً.

لا يوجد قلق على التركيز focusing عند استخدام الماسح الضوئي، أو تحقيق إضاءة متجانسة. ولكن قد تتولد مشاكل في التنظيف، ولكنها مسائل ازعاج ثانوية.



الشكل 13: استحصال صورة لقطعة لحمه على ماسح ضوئي مكتبي.

### تخزين الصور الرقمية File Formats

تخزن الصور ضمن ملفات بصيغ مختلفة لذلك يختلف امتداد هذه الملفات، كل نوع من هذه الملفات يكون لها خصائص وبعضها متشابه في الخصائص مع وجود إختلاف بسيط. فمثلا الإمتداد BMB هو أشهر أنواع إمتدادات الصور وقد ابتكرتها شركة مايكروسوفت لتكون الهيئة القياسية للصور في بيئة نظام التشغيل ويندوز، والإمتداد JPEG/JPG تعتبر الهيئة الأكثر شعبية وانتشاراً لا سيما لعرض الصور على الانترنت، والهيئة GIF تتميز بأنها تدعم الصور المتحركة والشفافية فهي تستخدم في الويب بشكل كبير لأن حجمها صغير إلا أنها لا تعطي صورة حقيقية لأن ألوانها محدودة.

## النسق JPEG

النسق JPEG هو اختصار للعبارة (Joint Photographic Experts Group) ويعتبر النسق الأكثر شعبية وانتشارا لا سيما لعرض الصور على الانترنت. المصطلح "JPEG" يستخدم عادة لوصف النسق الملفي JFIF والذي هو اختصار لـ ( JPEG File Interchange Format) ان JFIF هو الشكل الفعلي للملفات الحاوية على صور مضغوطة وفق نظام JPEG في الوقت الحالي تستخدم ملفات JFIF الحديثة نفس الامتداد jpg ولكن هناك اتجاه بتغيير التمديد الى Jif في الأنظمة المستقبلية.

يستعمل JPEG آلية ضغط متغيرة حيث تستطيع التحكم بدرجة الضغط عند التخزين للحصول على حجم ملف مناسب حتى أنه يمكننا الحصول على حجم ملف صغير جدا ولكن طبعا مع ضعف في جودة الصورة.

يدعم النسق JPEG نظام عمق لوني لغاية (24 بت) 16 مليون لون في حين أن العمق اللوني للنسق Gif محصور بـ 8 بت 256 لون.

يتم الضغط عبر وحدات (بلوكات) تتألف من ثماني بكسلات, تستطيع رؤية هذه البلوكات عندما تختار أعلى درجة من درجات الضغط, أو عندما تقوم بتكبير الصورة الى قياس كبير جداً. ويعمل JPEG وفق آلية ضغط ثنائية المراحل, هذا يعني أنه يحتاج الى وقت أطول من أجل تحميل وعرض الصورة.

يفضل حفظ الصور الأصلية وفق نسقات غير مضغوطة مثل BMB أو TIFF وبأقصى عمق لوني متوفر. عندما تقوم بحفظ الصورة وفق نظام JPEG فان التغيير الحاصل على الصورة لا ينعكس على الشاشة مباشرة, ولكن فقط بعد أن تقوم بتحميل الصورة من جديد.

## النسق TIFF

TIFF هو اختصار لـ (Format Tag Image File) صممها شركة آلدوس Aldus في الأصل لحفظ الصور المستوردة من الماسح الضوئي (Scanner) أو من برامج المعالجة. انتشر هذا النسق بشكل واسع, وشاع كنسق نقل الصور دون أن يكون مرتبط ببرنامج معالجة. معين أو طابعة أو برنامج معالجة. النسق TIFF يحظى بشهرة واسعة أيضاً مع تطبيقات النشر الاحترافية. هنالك عدة صيغ للنسق TIFF تدعى امتدادات (extensions) من هنا تظهر بعض المشاكل عند محاولة تحميل أحدها عن طريق الآخر. بعض الامتدادات تتعامل

بآلية ضغط من النوع LZW التي لا تضعف الصورة بتاتا. نسق TIFF يدعم عمق لوني 24 بت كحد أقصى.

ينصح بحفظ الصور الملتقطة أثناء انجاز الأبحاث كملفات غير مضغوطة مثل التنسيق .TIFF.

### النسق GIF

النسق GIF هو إختصار للعبارة (Graphics Interchange Format)، يستعمل بشكل واسع على الويب، يمكن تخزين صور لغاية 256 لون أي ألوان محدودة بما أن الصورة تتألف من ملايين التدرجات اللونية، فإن التطبيقات مثل أدوبي فوتوشوب عند حفظ الصورة على هيئة GIF تختار الأفضل من هذه الألوان لتمثيل جميع ألوان الصورة.

أضيفت الى النمط الجديد GIF 89a بعض المزايا والإمكانات مثل جعل خلفية الصورة شفافة، وجعل الصورة متحركة.

### النسق BMP

يستعمل آلية نظام التشغيل ويندوز في توزيع البتات. ويسمح لنظام التشغيل لويندوز بعرض الصورة على أي جهاز عرض لذلك تسمى (Device-Independent Bitmap) DIB. شائع الإستعمال في معظم التطبيقات، لا يستخدم آلية ضغط، قابل للتداول على جميع الأجهزة. هذا النسق يلائم الصورة من أي حجم حيث تحزن عناصر الصورة pixels مع عمق لوني يتل حتى 32 بيت لكل بيكسل.

### الإضاءة Illumination

تتأثر جودة الصور الملتقطة بشكل كبير بشروط الإضاءة، حيث أن الصورة ذات الجودة العالية تساعد على تقليل الوقت والتعقيد في المعالجة اللاحقة للصورة وبالتالي يخفض من تكاليف نظام معالجة الصورة.

من الامور المهمة في أنظمة معالجة الصور تأمين إضاءة صحية وعالية الجودة. ومع ذلك بقيت هذه المسألة أمر صعبا بسبب عدم توفر دليل محدد لعملية الإضاءة في أنظمة معالجة الصور. على الرغم من ذلك يوجد عدد من القواعد، وبشكل عام، يوجد ثلاثة أمور يجب معرفتها لضمان نجاح الإضاءة في نظام معالجة الصور:

- 1- فهم دور عنصر الاضاءة في انظمة معالجة الصور .
- 2- معرفة سلوك الضوء على سطح العينة.
- 3- فهم مبادئ تقنيات الإضاءة المتوفرة التي ستسمح باستخلاص الميزة المطلوبة في الصورة.

عملية الحصول على الصورة تتعلق بالضوء المنعكس. لذلك، أهم نقطة في الاضاءة هو فهم ما يجري عند سقوط الضوء على السطح وبشكل محدد أكثر معرفة كيفية التحكم بالانعكاس بحيث تظهر الصورة بجودة جيدة.

النقطة المهمة الأخرى في اختيار الاضاءة، هو مقدرة الجهاز لأخذ صورة صحيحة. وهذا ناتج عن أن استجابة الحساس في جهاز قياسي لاخذ الصورة يُعطى بعملية تكامل الطيف الضوئي. رياضياً:

$$p_k^x = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \rho_k(\lambda)L(\lambda)d\lambda$$

حيث  $p_k^x$  هي استجابة الحساس k عند الموقع x من سلسلة الحساسات، و  $\rho_k(\lambda)$  هي تابع استجابة الحساس k، و  $L(\lambda)$  الضوء المنعكس من على السطح عند البكسل x. في الكميرات CCD قيمة  $L(\lambda)$  هو ناتج توزيع طاقة الطيف الضوئي  $S(\lambda)$  للضوء الذي يضيء الجسم، وانعكاس الطيف الى الكميرا  $C(\lambda)$ ، أي:

$$L(\lambda) = S(\lambda)C(\lambda)$$

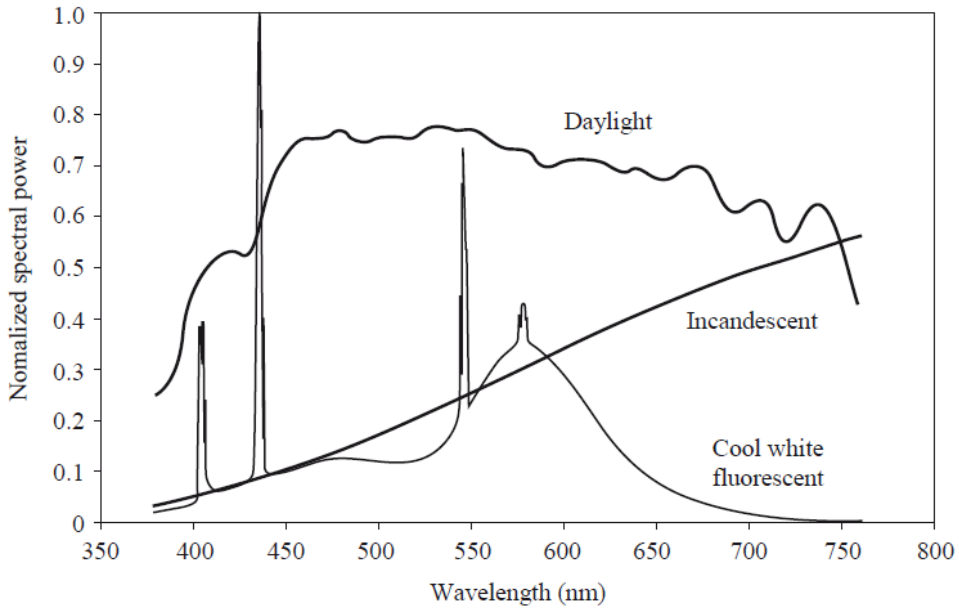
وهكذا، فإن إضائين مختلفين  $S_1(\lambda)$  و  $S_2(\lambda)$  سوف تنتج استجابة مختلفة باستخدام نفس الكميرا. لذلك، فإن الاضاءة عامل مهم جدا يجب أخذه بعين الاعتبار في تقنيات أخذ الصور. وبالتالي من المهم معرفة اختيار الاضاءة في تطبيقات تحليل الصور .

يستخدم نوعين من الاضاءة بشكل شائع، وهي الفلوريسنس ولمبة متوهجة على الرغم من استعمال أنواع أخرى من مصادر الضوء (مثل ليدات LED و إضاءة الكترونية electroluminescent). يبين الشكل 14 توزيع الطيف الضوئي لثلاث أنواع مختلفة من مصادر الإضاءة: الشمس (ضوء النهار) ولمبة متوهجة incandescent وضوء الفلوريسنس الأبيض القياسي. يتضح من الشكل 14 أن الفرق بين ضوء النهار وضوء الكهرباء هو كمية



الطاقة الصادرة عند طول كل موجة. على الرغم من أن طاقة الضوء متساوية مبدئياً، إلا أن الضوء المثالي سوف يكون ذو شدة أعلى من ببقية المصادر. عندما تكون شدة الضوء ليست كما يجب يمكن أن ينتج أحد العيوب التالية:

- 1- قد لا يوجد نسبة كافية بين الإشارة والتشويش في الكميرا.
- 2- ميول التشويش الكهرياء للزيادة مع انخفاض شدة الضوء.
- 3- والعامل الأهم أن انخفاض شدة الضوء سوف تسبب ضياع هام في بعد مجال الكميرا.



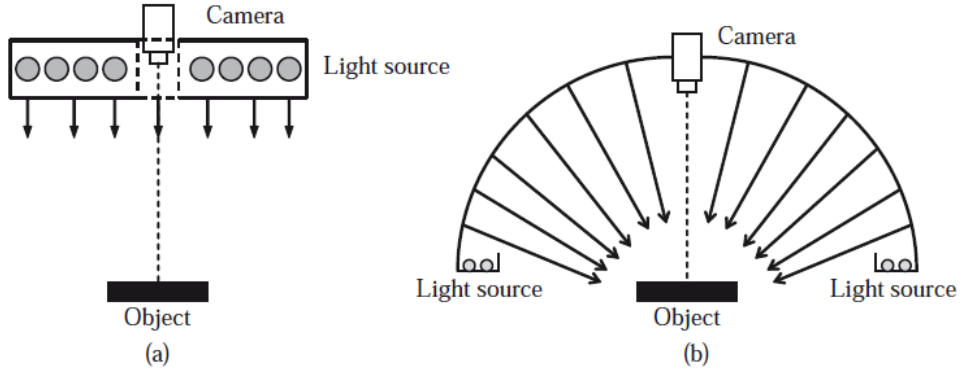
الشكل 14 توزيع طاقة بعض مصادر الضوء.

بالإضافة الى ذلك فإن تأثير الضوء المحيط سوف يكون له تأثير أكبر عند شروط إضاءة ضعيفة.

بالرجوع الى الشكل 14 يمكن أن نلاحظ أن مصدر الضوء المصباح المتوهج ذو توزيع طبيعي على مجال الطيف المرئي، في حين مصدر الفلوريسنس يحتوي على قمة حادة في بعض المناطق. وهذا يعني أن المادة المدروسة تحت مصدر ضوء المصباح المتوهج سوف تنتج صورة ذات نسبة منخفضة للإشارة الى التشويش. وهذا غير مقبول في بعض الحالات

وخاصة المتعلقة بمعالجة الصور الملونة. وفي المقابل فإن لمبات الفلوريسنس أكثر كفاءة وتنتج إضاءة أكثر شدة عند أطوال موجات محددة. بالإضافة الى ذلك، فإن ضوء الفلوريسنس يوفر تشتت متجانس للضوء من على سطح الانبعاث، وبالتالي ليس هناك حاجة لاستخدام بصريات لنشر الضوء على مجال الرؤية كما هو الحال في المبات المتوهجة. لهذه الاسباب فإن لمبات الفلوريسنس وخاصة البيضاء الباردة أكثر انتشارا للقائمين على أنظمة تحليل الصور. لكن، يجب الحذر عند استخدام ضوء الفلوريسنس كونه يصدر عن تيار كهربائي متناوب. لمبات الفلوريسنس من كهرباء 50 هيرتز تعطي عادة تأثير يشبه العمل الفني على الصور ناتج عن الافراط في تحويل النمط التناظري الى الرقمي. من أجل تقليل الوميض فإنه يفضل العمل بلمبات فلوريسنس بتردد عالي تعمل بتردد ضمن مجال عدة عشرات كيلوهرتز من اللمبات التي تعمل بتردد منخفض.

وبعيدا عن الإضاءة، فإن تركيبة سطح المادة عامل هام في الإضاءة. تحديد فيما إذا كان السطح لميع أو مبعثر للضوء. ينتشر الضوء الوارد على سطح خشن (ناثر للضوء) بسبب تعدد زوايا السطح. في حين ينعكس الضوء الوارد على سطح لميع بزواوية وروده. لذلك موقع الإضاءة عامل عام جدا للحصول على تباين عال في الصورة. يوجد هندستين شائعتين للإضاءة: حلقيه ومنتشرة (الشكل 15). الإضاءة الحلقيه هندسة بسيطة وهي بشكل عام معدة للتطبيقات العامة، وخاصة صور الاجسام المسطحة. الإضاءة المنتشرة، ترسل إضاءة عمليا على 180 درجة، وتستخدم لآخذ صور مواد عاكسة. بما أن معظم المنتجات الغذائية هي أجسام ثلاثية الأبعاد، فإن الإضاءة المنتشرة جيدة لهذه التطبيقات. لكن، نجح استخدام الإضاءة الحلقيه لحل مشاكل الإضاءة في الهندسة الغذائية. على سبيل المثال، وجد أن استخدام الإضاءة الحلقيه للمبات 90 كيلوهرتز فورييسنس مرتفعة التردد العالي عملية إضاءة فعالة للتدرج اللوني والكلي للفواكه. من أجل إضاءة متجانسة تستخدم الإضاءة الحلقيه ضمن غرفة اسطوانية عاكسة. على الرغم من الاستخدام العام للإضاءة الحلقيه لكن معظم أنظمة تحليل الصور تعتمد على الإضاءة المنتشرة.



الشكل 15: نماذج الإضاءة، a- الإضاءة الحلقية، b- الإضاءة المنتشرة.

### ضبط اللون Color Adjustment

لا يمكن قياس اللون الحقيقي من خلال الصور الملونة التي تمثل بالنظام اللوني الاحمر والاخضر والازرق، والتي يستحصل عليها من الكميرات الرقمية أو الماسحات الضوئية التي تستخدم مرشحات ملونة لتحديد طول الموجة لكل حساس. يوجد عدد لا نهائي من التوافق لأطوال الموجات وشدات الضوء التي تعطي نفس الخرج من الحساس. لذلك فإن في حال كان قياس اللون الحقيقي للغذاء أو المنتجات الغذائية، فإنه جهاز السبيكتروفوتوميتر هو الوحيد القادر على توفير المعلومات اللازمة.

وبتعبير عملي، فإنه غالباً ما يكون من الممكن التأكد بأن التمثيل اللبصري للون العينة يوافق العينة القياسية. والحالة الأكثر شيوعاً، التأكد من توافق من أن مظهر اللون في الصور المطبوعة مع الشيء الحقيقي في صناعة الاعلانات والكتلوكات. في كل مرة، عندما يشتري شخص ما بضاعة من خلال كتلوك، فإنه يتوقع أن تكون القطعة المستلمة مشابهة للصورة في الكتلوك. إن تحقيق هذا ليس امراً تافهاً بل هو دوري. وهو من الأمور التي تسبب وجع الرأس لمصورى الأفلام التقليدية كما هو لمصورى الصور الرقمية.

المشكلة في كلا الحالتين هي، أن اللون المسجل في الصورة هو ناتج عن لون الهدف (كيفية امتصاص وانعكاس الضوء) وتموضع مصدر أو مصادر الإضاءة، واستجابة الحساس إن كان فيما أو شريحة الكترونية. الطريقة المقبولة عالمياً للتعامل هذا هو أخذ صورة لأهداف معروفة اللون بنفس الكاميرا وتحت شروط الإضاءة نفسها. قد يكون الأمر سهل بحيث تكون

أو صورة في الفيلم، وأحيانا قد يكون صعبا بسبب صعوبة الحفاظ على الاضاءة أو الابعاد ثابتة، وأحيانا يمكن تضمينها في كل لقطة.

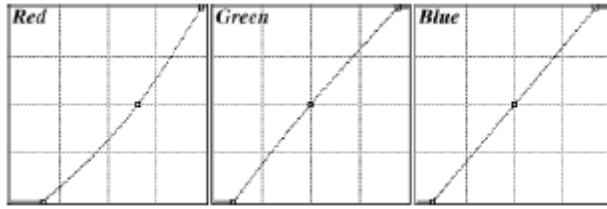
أبسط هدف هو كرت رمادي طبيعي، أو على الأقل جزء من الصورة رمادي متوسط دون أي لون. يمكن استخدام كرت رمادي ذو انعكاس 18% قياسي يستخدم من قبل المصورين، ولكنه ليس أساسيا. يمكن قياس شدة الوان الاحمر والاخضر والأزرق في هذه المنطقة للصورة الناتجة، حيث يجب ان تكون شدات الألوان متساوية (شدات RGB متساوية تعطي لون رمادي لا لون له). في حال انحراف لون النمطية بشكل ملحوظ، فإنه يمكن ضبط الزيادة في الألوان وجعلهم متساوية واسترجاع اللون الرمادي الطبيعي لمنطقة الاختبار، وبالتالي موازنة شدات الألوان في بقية المناطق. هذا أمر بسيط، وغالبا ما يكون مؤتمتا في برامج الكمبيوتر مثل فوتوشوب، ولكنه ليس مرنا للغاية في كثير من الحالات.

كما يمكن أن يكون أعلى سوية، بالإضافة الى منطقة الرمادي، يوجد مساحة للون الأسود والأبيض. هذه أيضا يجب أن تكون غير ملونة، ويجب أن تكون قيم RGB هي الصفر و 255 على الترتيب ولكن بدون قص (أن تكون أعمق أو أفتح من المجال المقاس الحقيقي للكثيرا). يمكن وضع منحنيات ضبط الألوان الأساسية وذلك بمقارنة نقاط تمثل نهايات اللون ونقطة طبيعية في المنتصف لكل لون لانتاج ألوان واقعية وتوازن لوني في حالات عديدة. يبين الشكل 16 مثال عن عملية ضبط الألوان.

ومن أجل دقة أعلى في ضبط اللون فإنه يجب أخذ بعين الاعتبار ان فلاتر اللون في الكاميرات الرقمية تغطي مجال من طول الموجات، والتي تتداخل فيما بينها (كما هو في عين الانسان (الشكل 18 في الفصل الأول)). تصوير أهداف المعايرة ذات قيم لون (أحمر، أخضر، أزرق) معروفة سوف يعطي مناطق في الصورة يمكن قياس شدات الألوان RGB. مثاليا، يجب أن تكون من لون واحد. منطقة اللون الأحمر ذات قيم  $R=255, G=0, B=0$  أو قريبة منها، وقيم مشابهة لمناطق الأخضر والأزرق.

النتيجة النموذجية هي أن للمناطق شدات لون ذات أهمية في الألوان الأخرى، وذلك ناتج عن تداخل مصدر الضوء مع الهدف وعرض فلاتر الألوان في الكاميرا. يمكن حل المشكلة رياضيا بوضع مصفوفة ثلاثية  $3 \times 3$  القيم، نسبة الشدة العظمي المقاسة لكل لون في كل منطقة. عكس هذه المصفوفة يعطي مجموعة قيم تصحيح ثلاثية يمكن استخدامها لتصحيح الصورة.

ضرب مصفوفة التصحيح بقيم شدة اللون المقاسة RGB لكل بكسل يعطي مجموعة جديدة لقيم RGB المصححة التي تعوض بالقيم الأصلية. قيم مصفوفة التصحيح غير القطرية سلبية، أي يجب طرح جزء من الألوان الأخرى. النتيجة هي لجعل الألوان في مناطق الهدف تماما حمراء وخضراء وزرقاء، ولضبط الألوان في المناطق الأخرى في الصورة أيضا. يبين الشكل 18 مثال نموذجي في تفتيش ضبط الجودة في للبتزا.



الشكل 16 : (a) الصورة الأصلية، (b) الصورة المضبوطة، (c) منحنيات ضبط كل لون

حيث يمثل المحور الأفقي القيم الأصلية، و المحور الشاقولي القيم المصححة. النقاط المرجعية الثلاثة مبينة في نقاط (الأبيض في شريط العلم، الأخضر في سارية العلم، والأسود في ظل الشجرة)

عندما يكون التصحيح كبير، فإن يبقى في الصورة الناتجة تجمع لوني خفيف في المناطق الرمادية الطبيعية. ينشأ هذا بسبب أن الفراغ اللوني ليس متجانس تماما. الخطوط المستقيمة في أنظمة تمثيل الفراغ اللوني لا تمزج الألوان تماما أو تحافظ على الصبغة اللونية. الفراغ اللوني CIE يتجاوز هذه السيئة لذلك يستخدم في التطبيقات مثل البث التلفزيوني، ولكن في الكميرات الرقمية ومعظم برامج المعالجة تتعامل مع أنظمة أبسط وتقبل بعدم الخطية البسيط.

إن وضع خطوة موازنة اللون الرمادي بعد التصحيح الثلاثي المذكور سابقا يعطي عادة نتائج مرضية.

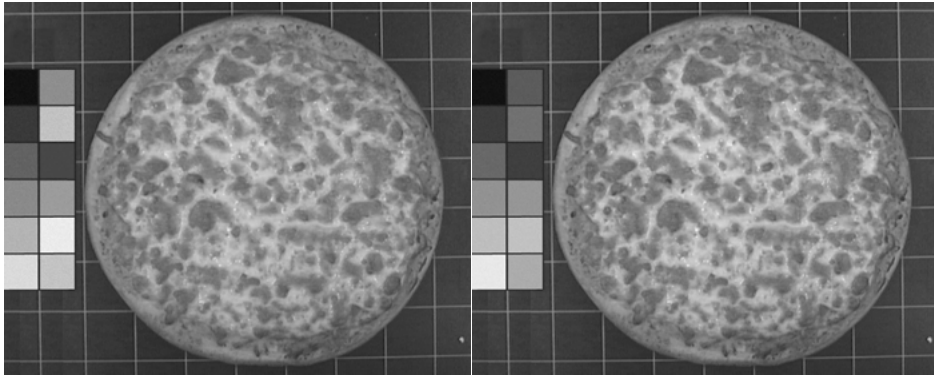
Area	Measured Intensities		
	Red	Green	Blue
Red	132.95	63.34	61.42
Green	63.15	133.56	64.03
Blue	56.54	55.71	128.86

Normalized Intensity Matrix (Divided by 255)

0.52137255	0.24839216	0.24086275
0.24764706	0.52376471	0.25109804
0.22172549	0.21847059	0.50533333

Inverse Matrix (Tristimulus Coefficients)

Result	Channel		
	Red	Green	Blue
Red	2.717942	-0.9443239	-0.8262528
Green	-0.8998933	2.72109353	-0.9231738
Blue	-0.8035029	-0.7620677	2.7405428



(a)

(b)

الشكل 18: ضبط الألوان بمعاملات ثلاثية. (a) الصورة الأصلية متضمنة مخطط الألوان، (b) نتيجة التصحيح باستخدام المعاملات الثلاثية، يبين الجدول الشدات المقاسة لمناطق الاحمر والاخضر والأزرق في مخطط الألوان، نتيجة قسمتها على 255، ومعكوس المصفوفة التي تمثل المعاملات المستخدمة في توليد القيم المصححة عند تطبيقها على الصورة.

على الرغم من أن هذا الاجراء ليس معقد جدا، إلا أنه يتطلب استعمال ألوان قياسية. العملية بسيطة للغاية للصور الكبيرة، ومخططات الألوان مشابهة للمبينة في الصورة متوفرة من الشركات مثل GretagMacbeth التي تعمل على تأمين أفلام ملونة صحيحة، وتأمين تطابق مظهر الصورة على الورق والكمبيوتر. يصبح استخدام الالوان القياسية أصعب في استخدام الميكروسكوب، على الرغم أنه بحاجة اكبر لاستخدامه بسبب لون درجة حرارة مصدر الاضاءة وسماكة العنصر المصور تختلف بشكل كبير من صورة الى اخرى. يمكن صنع أو شراء الوان قياسية، ولكن لحسن الحظ إنها غير ضرورية في العديد من الحالات. غالبا لا نحتاج حفظ الصور مع ألوان حقيقية من اللقطات الميكروسكوبية. تنشأ الالوان غالبا من صبغات كيميائية المعروفة اللون والتي يتم اختيارها من قدرتها على المساعدة في تمييز بنية ما عن أخرى. الألوان الحقيقية أقل أهمية من حقيقة أنها تختلف في ملامح مختلفة. في هذه الحالة، لا يوجد حاجة لتقييس الالوان.

أعتبر اللون حتى الان هو مزيج من الأحمر والأخضر والأزرق. تعمل معظم الكاميرات بهذه الطريقة، والطريقة التي تخزن فيها المعطيات في الكمبيوتر، والطريقة التي تظهر الصورة على شاشات الكمبيوتر. تأكد العدسة المكبرة أن الألوان مؤلفة من نقاط صغيرة من الأحمر والأخضر والأزرق- إما فوسفورية في شاشات التي تعتمد على أنبوب الأشعة المهبطية أو فلاتر الملونة في شاشات LCD. في شاشات الإظهار الضخمة كما في الملاعب يستخدم لمبات إضاءة حمراء وخضراء وزرقاء. لا يمكن لطريقة الاظهار باستخدام نظام RGB جميع الألوان التي يمكن رؤيتها من قبل الإنسان، ولكنها تقوم بذلك كفاية في معظم التطبيقات. تقنيا، يشكل الفوسفور ثلاثي الألوان فراغ لوني على شكل مثلث الذي يتضمن جميع الألوان المرئية، ولكن ألوان مشبعة جدا، وخاصة الخضراء والبنفسجي والتي تقع خارج النطاق .gamut

لا يدرك الإنسان اللون كمزيج من الأحمر والأخضر والأزرق، على الرغم من وجود المخاريط الحساسة للألوان الثلاثة في عين الإنسان التي تستجيب بشكل أقل أو أكثر لأطوال موجات الأحمر والأخضر والأزرق. إذا نظرت حولك على الوان الكتاب أو الثياب أو الأبنية أو بشرة الإنسان فإنك لا تفكر بكمية الأحمر والأخضر والأزرق المتواجدة. الفراغ اللوني RGB رياضيا مناسب جدا إلا أنه غير مناسب لمعالجة الصور، لأن اختلاف بسيط في نسب هذه

الألوان الأساسية تؤدي الى اختلافات كبيرة في اللون المدرك. معظم عمليات معالجة الصور تستخدم أنظمة فراغات لونية أخرى.

### طرائق تحويل الصور الملونة إلى رمادية

يوجد العديد من طرق تحويل الصور الملونة في الفراغ اللوني RGB الى رمادية، من هذه الطرق:

#### المتوسط Averaging

شدة اللون Intensity متناسبة مع الاضاءة النسبية، الحالة الحدية هي  $I=0$  تمثل اللون الأسود. تعرف شدة اللون الرمادي كما يلي:

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

#### اللمعان Luminosity

طريقة الاضاءة أكثر تعقيدا من طريقة التوسيط. على الرغم من انها تأخذ متوسط القيم إلا انها بعد وضع قيم تنقيح لأخذ إدراك الانسان بعين الاعتبار. عين الانسان أكثر حساسية للون الاخضر، لذلك يتقل اللون الأخضر بشكل أكبر. يوجد العديد من الصيغ لحساب قيم التدرج الرمادي.

الصيغة المقترحة لنظام ITU-R وخاصة (BT.709)

$$\text{Gray} = 0.2215 \cdot R + 0.7154 \cdot G + 0.0721 \cdot B$$

الصيغة المقترحة لنظام SMPTE-240M Y'PbPr

$$\text{Gray} = 0.2122 \cdot R + 0.7013 \cdot G + 0.0865 \cdot B$$

$$\text{Gray} = 0.25 \cdot R + 0.65 \cdot G + 0.10 \cdot B$$

$$\text{Gray} = 0.11 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.30 \cdot B$$

$$\text{Gray} = 0.50 \cdot R + 0.419 \cdot G + 0.081 \cdot B$$

قيم التنقيح لنظام YIQ/NTSC وهي التي يستخدمها برنامج فوتوشوب والمقترحة في (BT.601).

$$\text{Gray} = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$



## نزع الاشباع Desaturation

يوصف اللون بواسطة الفراغ اللوني HSL الذي يعتبر أقرب لفهم الانسان. كما ذكر سابقا يتم وصف اللون في الفراغ اللوني HSL من خلال تحديد الصبغة hue والاشباع saturation والاضاءة lightness. تعتبر الصبغة هي سمة اللون، أحمر أو أخضر أو أصفر.. توصف الصبغة رياضياً كزاوية على قرص (0-360 درجة) حيث الدرجة 0 تمثل الاحمر النقي والدرجة 120 الاخضر النقي والدرجة 240 الازرق النقي ومن ثم تعود الى الدرجة 360 الاحمر النقي. يصف الاشباع درجة شدة اللون، اللون المشبع بشكل كامل هو لون حاد vivid. في حين اللون الرمادي ليس مشبعاً. تصف الاضاءة بريق اللون، اللون الابيض لون كامل الاضاءة في حين اللون الاسود ذو اضاءة معدومة.

لذلك تعتمد طريقة نزع الاشباع على تحويل الثلاثي RGB الى HSL أو  $L*a*b*$  أو hcv ومن ثم جعل الاشباع صفراً. هذا التحويل في الحقيقة يحول اللون إلى البديل الاقل اشباعاً. العملية الحسابية لهذا التحويل معقدة، لذلك يمكن تبسيطها بحساب قيمة النقطة الوسيطة بين القيمة العظمى لقيم RGB والقيمة الدنيا لقيم RGB.

$$Gray = \frac{\min(R, G, B) + \max(R, G, B)}{2}$$

## التفكيك الأدنى والأعظمي Minimal and maximal decomposition

عملية التفكيك هي أخذ أعلى قيمة أو أدنى قيمة من قيم RGB كقيمة التدرج الرمادي. ينتج التفكيك الاعظمي صور فاتحة التدرج الرمادي في حين ينتج التفكيك الأدنى صور غامقة التدرج الرمادي.

التفكيك الاعظمي

$$Gray = \text{Max}(R, G, B)$$

التفكيك الأدنى

$$Gray = \text{Min}(R, G, B)$$

### طريقة قناة اللون الوحيد The “single color channel” method

هذه أبسط طريقة لتوليد صورة سوداء وبيضاء. يتم إنشاء الصورة الناتجة بوضع قيم لون واحد، فعلى سبيل المثال عند اختيار اللون الاحمر فإن قيم اللون الاحمر توضع كقيم تدرج رمادي.

## تحسين الصور Image Enhancement

تعني إزالة الضجيج من الصورة لإبراز الجزء المطلوب، ويتم تحسين الصورة بشكل عام إما لتحسين رؤية التفاصيل المهمة في الصورة أو لفصل التفاصيل المهمة عن الخلفية Background لتسهيل قياسها، ولا بد أن ندرك أن جعل التفاصيل المهمة في الصورة أكثر وضوحاً يتم من خلال جعل المعلومات الأخرى في الصورة أقل وضوحاً. ويتم ذلك من خلال عملية معالجة تجرى على بيانات الصور الرقمية يتم فيها استبدالها ببيانات جديدة مما يسهل عملية تفسير محتويات الصورة والتعرف على الأهداف التي تغطيها بدقة أكبر. وتتضمن هذه العملية تقنيات تهدف إلى زيادة الفوارق البصرية بين المعالم في الصورة. إن الهدف الرئيسي من تقنيات التحسين هو معالجة صورة معينة بحيث تكون النتيجة أكثر ملائمة من الصورة الأصلية في تطبيق محدد. إن كلمة " محدد " مهمة لأنها تؤكد منذ البداية على أن تقنيات المناقشة تعتمد إلى حد كبير على المسألة التي تعالج الصورة من أجلها. وهكذا فإن الطريقة المفيدة لتحسين صورة الأشعة السينية ليست بالضرورة أفضل أسلوب لتحسين صور المريخ المرسله بواسطة مجس فضائي. يمكن تقسيم تقنيات التحسين إلى صنفين رئيسيين هما طرائق المجال الحيزي Spatial domain وطرائق المجال الترددي Frequency domain.

إن الأساليب الموجودة ضمن الصنف الأول تعتمد على معالجة مباشرة لعناصر الصورة. أما الأساليب التي يتضمنها الصنف الثاني فإنها مبنية على تعديل فورير للصورة المطلوب معالجتها.

سوف نقوم بشرح طرق تحسين الصور باستخدام تعديل المخطط التكراري للصور الرقمية الرمادية.

## تعديل المخطط التكراري Histogram Modification

قبل شرح طرق تحسين الصورة الرقمية من خلال تعديل المخطط التكراري (الهيستوغرام) لا بد لنا من شرح ما هو الهيستوغرام. يمثل الهيستوغرام عدد مرات تكرار قيمة لونية معينة في الصورة، ويمثل احتمال ظهور هذه القيمة اللونية وفي الصور الرمادية تمثل احتمال ظهور قيمة الاضاءه. فالهيستوغرام يمثل تابع الكثافة الاحتمالية Probability Distribution للمتحول العشوائي المتقطع Random Discreet وهو المركبة اللونية. من خلال الهيستوغرام

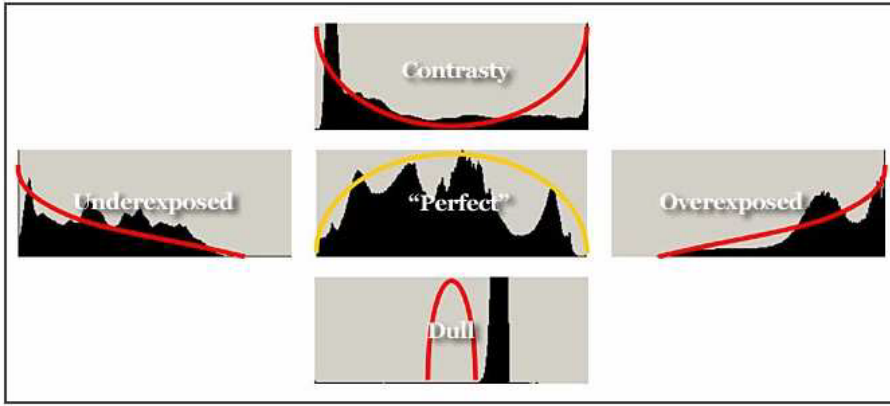
يمكن معرفة معلومات مهمة عن الصورة الرقمية مثل التباين في الصورة (نقصد بالتباين المجال الذي تأخذه القيم اللونية). ويبين الشكلين (1 و 2) بعض المخططات التكرارية، وهي:

1- المخطط التكراري مع انتشار صغير للمستويات المتباينة (الرمادية) Low Contrast Image.

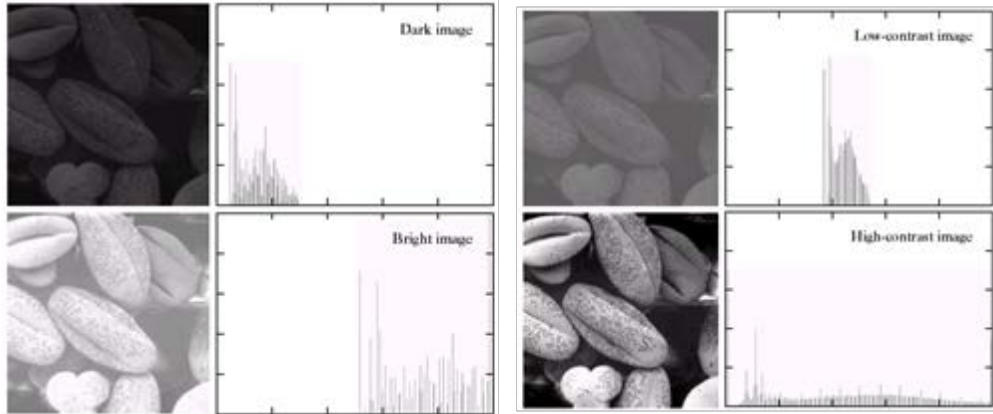
2- المخطط التكراري مع انتشار كبير للمستويات الرمادية المتباينة High Contrast Image.

3- المخطط التكراري المتجمع عند النهاية الدنيا Dark Slide Image.

4- المخطط التكراري المتجمع عند النهاية العليا White Slide Image.



شكل 1: بعض أنواع المخططات التكرارية للصورة الرقمية.



شكل 2: بعض أنواع المخططات التكرارية لصورة.

إن الطرق المناقشة في هذا القسم تتجز التحسين بتعديل هيستوغرام صورة معينة بطريقة محددة. إن نوع ودرجة التحسين اللذين نحصل عليها يعتمدان على طبيعة الهيستوغرام الذي نتعامل معه.

### توسيع المدرج التكراري Histogram Stretching

تتضمن هذه العملية توسيع مجال قيم الرمادي لجميع البكسلات ليتراوح من قيمة رمادية صغيرة Min حتى قيمة رمادي عظمى Max وغالباً ماتأخذ القيمة الصغيرة صفراً والقيمة العظمى 255. يبين الشكل 3 صورة والمدرج التكراري قبل وبعد توسيع المدرج التكراري. يمكن توسيع المدرج التكراري وفق المعادلة التالية:

$$I(r, c) = \left[ \frac{I(r, c) - I(r, c)_{min}}{I(r, c)_{max} - I(r, c)_{min}} \right] [Max - Min] + Min$$

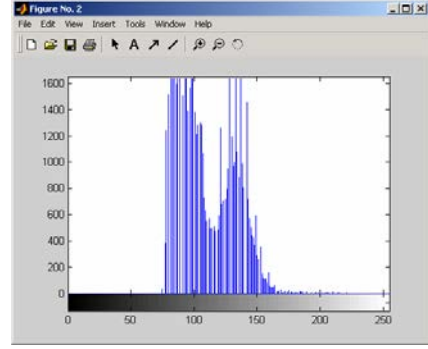
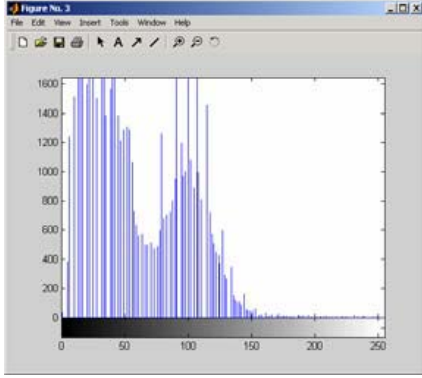
حيث :

$I(r, c)_{max}$  هي قيمة المستوى الرمادي العظمى في الصورة.

$I(r, c)_{min}$  هي قيمة المستوى الرمادي الصغير في الصورة.

Max, Min هي قيمة المرادي العظمى والصغرى في الصورة الناتجة (عادة تكون 0 و 255).

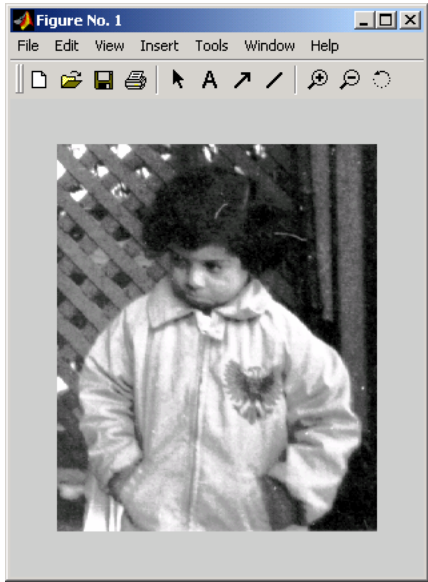
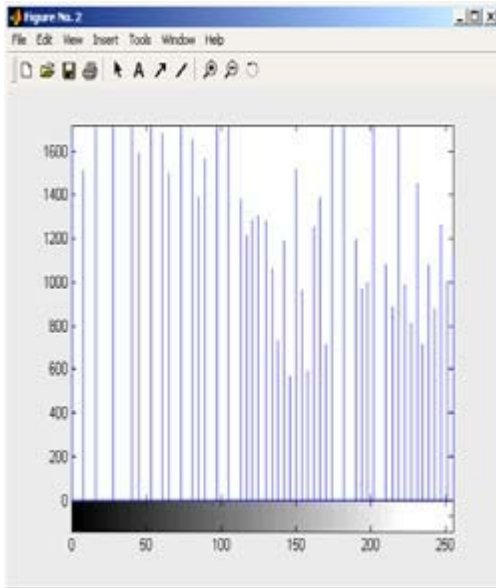




الشكل (3) توسيع المدرج التكراري.

### تسوية المدرج التكراري (Histogram Equalization (Linearization))

لقد تبين أن توزيع المدرج التكراري بشكل متساوي له أثر مهم على تباين الصورة. إن زيادة التباين في الصور قليلة التباين يؤدي إلى تحسين الصورة بشكل ملحوظ. الهدف من عملية التحسين توزيع الإضاءة بشكل منتظم بالصورة، أي جعل الهستوغرام مستويًا Flat تقريباً. يبين الشكل (4) تأثير عملية تسوية الهستوغرام على الصورة.



الشكل 4: تسوية المدرج التكراري.

## الأساس الرياضي

ليكن المتحول  $r$  يمثل السوية الرمادية للعناصر الموجودة في الصورة والتي نريد تحسينها. وللتبسيط، سنفترض في المناقشة التالية أن قيم العناصر قد قيست بحيث تقع جميعها في المجال:

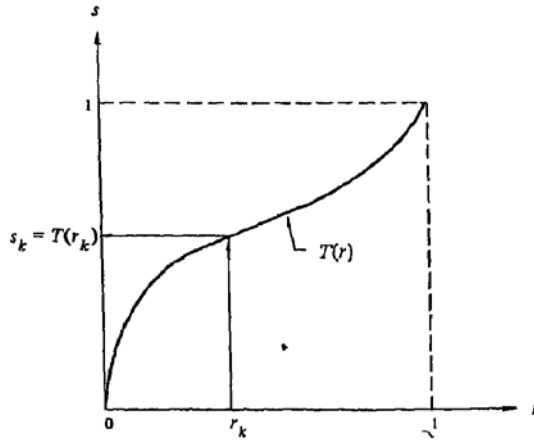
$$0 \leq r \leq 1$$

حيث  $r=0$  تمثل الأسود و  $r=1$  تمثل الأبيض على السلم الرمادي.

لنفترض أولاً أن قيم الكثافة الضوئية في الصورة تأخذ قيمة مستمرة (ونستنتج حالة القيم المتقطعة منها). كما أشرنا سابقاً، فإن الهستوغرام يمثل تابع الكثافة الاحتمالية للمتحول العشوائي (المركبة اللونية). سنركز على تابع تحويل من الشكل التالي:

$$s=T(r)$$

تابع التحويل ينتج سوية  $s$  لكل قيمة عنصر  $r$  في الصورة الأصلية. يبين الشكل (5) شكل تابع تحويل.



الشكل 5: دالة تحويل لسويات رمادية.

خواص هذا التحويل هي:

- يجب أن يكون هذا التابع متزايداً، وذلك للمحافظة على المناطق العاتمة والمضيئة في الصورة.

- يجب أن يكون مستقره المجال  $[0,1]$ ، وذلك للمحافظة على مجال تغيرات قيم الإضاءة.

المسألة من وجهة نظر رياضية هي كما يلي:

### الفرضيات

ليكن  $P(r)$  و  $P(s)$  توابع الكثافة الاحتمالية للسويات الرمادية للصورة الأصلية والمحولة.

### المطلوب

إيجاد تحويل ما (نقصد بالتحويل تابع) وليكن  $T$  بحيث يكون  $P(T(r))=Constant$  ، أي جعل الكثافة الاحتمالية ثابتة للسويات الرمادية للصورة الناتجة.

### الحل

بالاعتماد على نظرية الاحتمالات فإن:

$$P(s) = P(r) \frac{dr}{ds}$$

كما نعلم من نظرية الاحتمالات أن تابع كثافة احتمالية يقع في المجال  $[0,1]$ ، ونريده أن يكون ثابتاً ويساوي الواحد فإن:

$$P(s) = P(r) \frac{dr}{ds} = 1$$

أي

$$ds = P(r)dr$$

من العلاقة السابقة نكون قد برهنا وجود التحويل المطلوب وكذلك أوجدنا صيغته الرياضية وهي :

$$s = \int_0^r P(r)dr$$

أي أن التحويل المطلوب هو تكامل التابع الأصلي لتابع الكثافة الاحتمالية للمتحول العشوائي  $r$  (التوزيع التراكمي لتابع الكثافة) .



ونلاحظ أن هذا التحويل يحقق الخاصتين السابقتين حيث إنه تابع متزايد تماماً (هذا ناتج من كون تابع الكثافة الاحتمالية تابعاً موجباً)، كما أن مستقره هو المجال  $[0,1]$ . بهذا نكون قد حققنا المطلوب في حالة كون القيم مستمرة، لكن ماذا من أجل القيم المتقطعة؟

في الحالة المتقطعة نحتاج لتقدير التكامل، ومن أبسط صيغ تقدير التكامل هي المجموع. لنفرض أن الصورة ذات  $L$  مستوى تدرج رمادي  $0, 1, 2, \dots, L-1$ ، وتكرار المستوى الرمادي  $i$  هو  $n_i$ ، في الصورة. لنفرض أن عدد بكسلات الصورة هو  $n$ ، أي  $n_0+n_1+n_2+\dots+n_{L-1}=n$ . يتم الحصول على تابع التحويل للمستوى الرمادي  $i$  باستخدام المعادلة:

$$S_i = \sum_{j=1}^i \frac{n_j}{n} \quad i = 0, 1, \dots, L - 1$$

ويتم تقريب الناتج الى اقرب رقم صحيح.

أي قيمة التحويل للقيمة رقم  $i$  هي نتيجة مجموع قيم تابع الكثافة الاحتمالية لجميع القيم السابقة لـ  $i$ .

بعد هذا التقديم الرياضي نقترح الخوارزمية التالية لتنفيذ العملية المطلوبة:

حساب الهيستوغرام للصورة.

حساب الهيستوغرام التجميعي.

وضع قيم الهيستوغرام التجميعي في جدول.

تبديل كل قيمة كثافة لونية بالقيمة المقابلة لها في الجدول.

**مثل**

لنفترض أنه لدينا صورة أبعادها  $64 \times 64$  وفيها من 8 سويات رمادية ولها توزيع السويات الرمادية الآتي:

$r_k$	$n_k$	$P_r(r_k)=n_k/n$
$r_0=0$	790	0.19
$r_1=1/7$	1023	0.25
$r_2=2/7$	850	0.21
$r_3=3/7$	656	0.16
$r_4=4/7$	329	0.08
$r_5=5/7$	245	0.06
$r_6=6/7$	122	0.03
$r_7=7/7$	81	0.02

إن المخطط التدريجي لهذه السويات مبين في الشكل (6-a).

نحصل على تابع التحويل كما يلي :

$$s_0 = T(r_0) = \sum_{j=0}^0 p_r(r_j) = p_r(r_0) = 0.19$$

$$s_1 = T(r_1) = \sum_{j=0}^1 p_r(r_j) = p_r(r_0) + p_r(r_1) = 0.44$$

$$s_2 = 0.65 \quad s_3 = 0.81$$

$$s_4 = 0.89 \quad s_5 = 0.95$$

$$s_6 = 0.98 \quad s_7 = 1.00$$

إن تابع التحويل مبينة في الشكل 6-b.

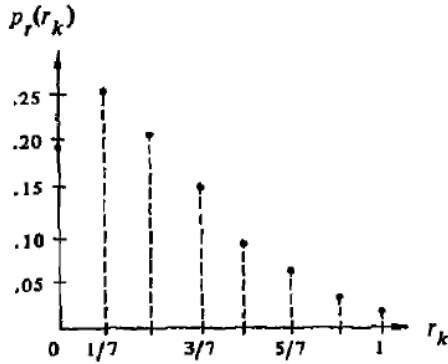
بما أنه لدينا ثماني سويات رمادية فقط يجب أن ننسب كل قيمة من القيم المحولة لأقرب سوية صحيحة وذلك كمايلي :

$$s_0 \cong 1/7 \quad s_1 \cong 3/7$$

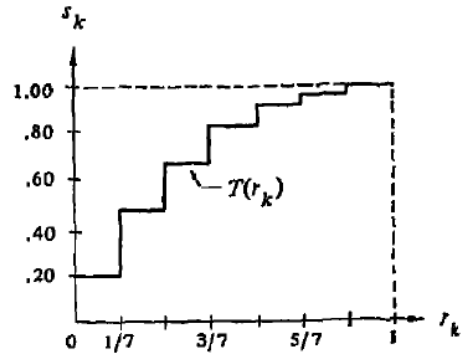
$$s_2 \cong 5/7 \quad s_3 \cong 6/7$$

$$s_4 \cong 6/7 \quad s_5 \cong 1$$

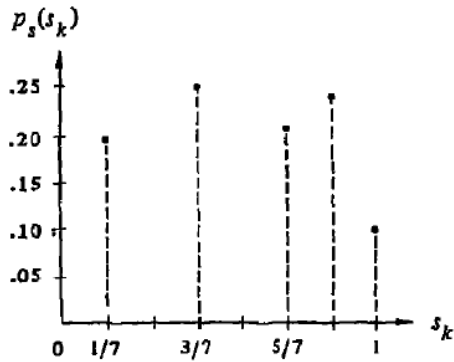
$$s_6 \cong 1 \quad s_7 \cong 1$$



(a)



(b)



(c)

الشكل 6: توضيح طريقة تسوية الهيستوغرام، a الهيستوغرام الاصلي، b دالة التحويل، c الهيستوغرام المسوى.

نلاحظ أنه أصبح لدينا 5 سويات رمادية مميزة في الهيستوغرام - المسوى. وبالتالي تنتج السويات الآتية :

$$s_0 \cong 1/7$$

$$s_1 \cong 3/7$$

$$s_2 \cong 5/7$$

$$s_3 \cong 6/7$$

$$s_4 \cong 1$$

بما أن  $r_0=0$  حُوت إلى  $s_0=1/7$  يوجد 790 عنصراً محولاً إلى هذه القيمة الجديدة. يوجد أيضاً 1023 عنصراً بالقيمة  $s_1=3/7$  ويوجد أيضاً 850 عنصراً بالقيمة  $s_2=5/7$ . ولكن بما أن كلا من السويتين  $r_3$  و  $r_4$  قد حُوت إلى  $s_3=6/7$  يوجد  $985 = 329 + 656$  بهذه القيمة الجديدة. وبشكل مشابه يوجد  $448 = 81 + 122 + 245$  عنصراً بالقيمة  $s_4=1$ . إن تقسيم الأعداد السابقة على  $64 \times 64 = 4096$  يعطي الهستوغرام المبين في الشكل 5-c. ولأن الهستوغرام تقريب لدالة كثافة الاحتمال، ينذر الحصول على نتائج مسطحة تماماً عند التعامل مع السويات المتقطعة.

## تجزئ الصورة Image Segmentation

عند تحليل الأغراض Objects في الصورة يعتبر من الأساسي التمييز بين الغرض Object وباقي الصورة أي الخلفية Background، ويطلق على التقنيات المستخدمة لتحديد الأغراض بما يسمى تقنيات التجزئ Segmentation أي فصل الخلفية عن الأغراض، تقسيم الصورة إلى قطاعات هو الخطوة الأولى للتحليل الآلي للصورة automated image analysis، لأن الأشياء أو المكونات الأخرى التي هي موضع الاهتمام تستخلص من الصورة في هذه الخطوة من أجل المعالجة اللاحقة، مثل الوصف description، والتعرف recognition.

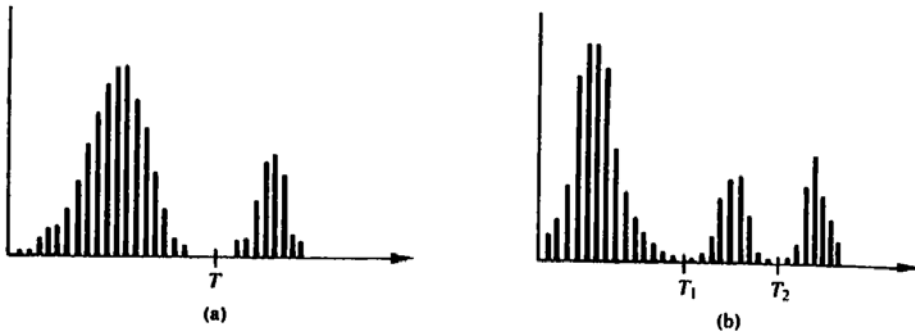
تبنى خوارزميات تجزئ الصورة عادة على إحدى خاصيتين أساسيتين لقيم السويات الرمادية: الانقطاع discontinuity والتشابه similarity. في الفئة الأولى من هذه الخوارزميات، تجزئ صورة ما بناءً على تغيرات حادة في السوية الرمادية. إن المجالات الرئيسية التي هي موضع اهتمام ضمن هذه الفئة هي كشف النقاط المعزولة isolated points وكشف الخطوط lines والحواف edges في صورة ما. إن الطرق الرئيسية في الفئة الثانية من هذه الخوارزميات مبنية على التعتيب thresholding وتوسيع المناطق region growing وشرط ودمج المناطق region splitting and merging.

## تقنيات التعتيب Thresholding Techniques

تقنية التعتيب التي تستخلص هدف معين من الصورة أحد طرق تجزئ الصورة التي هي جزء من التطبيقات الشائعة في تحليل الصورة.

افترض أن هيستوغرام السويات الرمادية المبين في الشكل (1-a) هو هيستوغرام صورة معينة  $f(x,y)$ ، مؤلفة من أجسام فاتحة light objects على خلفية عاتمة dark background بحيث تكون عناصر الأجسام والخلفية ذات سويات رمادية مجمعة في نمطين modes مهمين. إن إحدى الطرق الواضحة لاستخلاص الأجسام من الخلفية هي اختيار عتبة T تفصل بين هذين النمطين. بعدئذ، تسمى أية نقطة  $(x,y)$ ، والتي تكون من أجلها  $f(x,y) > T$  "نقطة جسم" object point، وخلاف ذلك تسمى المنطقة "نقطة خلفية" background point. ويبين الشكل (1-b) حالة أكثر عمومية لهذه الطريقة، في هذه الحالة يتميز الهيستوغرام بثلاثة أنماط مهمة (مثال، نوعان من الأجسام الفاتحة على خلفية عاتمة). نستطيع استخدام نفس

الطريقة الأساسية وتصنيف نقطة ما  $(x,y)$  بأنها تتبع لصف أحد الجسمين إذا كانت،  $T_1 < f(x,y) \leq T_2$  ونصنف الجسم الآخر إذا كانت،  $f(x,y) > T_2$  وإلى الخلفية إذا كانت  $f(x,y) \leq T_1$ . إن هذا النوع من التعييب متعدد السويات multilevel thresholding أقل وثوقية من مثيله وحيد العتبة single threshold بسبب صعوبة تأسيس عتبات متعددة تفصل بشكل فعال بين المناطق موضع الاهتمام، خصيصا عندما يكون عدد أنماط الهستوغرام histogram modes كبيرا.



الشكل 1: هيستوغرام سويات رمادية يمكن أن يجرء بـ (a) عتبة وحيدة، (b) عتبات متعددة. بناء على المفاهيم السابقة، يمكن أن ننظر إلى التعييب كعملية تتضمن اختبرات مقابل دالة ما  $T$  من الشكل التالي:

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)]$$

حيث أن  $f(x, y)$  هي السوية الرمادية للنقطة  $(x, y)$  و  $p(x, y)$  تشير إلى خاصية موضعية ما للنقطة ، مثلا متوسط السوية الرمادية لجوار يقع مركزه في  $(x, y)$ . نكون صورة معتبة thresholding image,  $g(x, y)$  بتعريف ما يلي:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

وهكذا فبتفحص  $g(x, y)$ ، نجد أن جميع العناصر ذات القيمة 1 (أو أية سوية شدة أخرى ملائمة) تابعة للأجسام، في حين أن جميع العناصر ذات القيمة 0 تتبع للخلفية.

عندتمتعند  $T$  على  $f(x, y)$  فقط تسمى العتبة عتبة اجمالية global، وإذا كانت  $T$  تعتمد على كل من  $f(x, y)$  و  $p(x, y)$  تسمى العتبة عندئذ عتبة موضعية local threshold، أما إذا

كانت تعتمد بالاضافة الى ذلك على الاحداثيين الحيزيين  $x$  و  $y$  فتسمى عندئذ عتبة ديناميكية dynamic threshold.

تظهر المشكلة في الصور ذات توزيع تكراري لا يحتوي على قيمتين واضحتين أو ذو قمة وحيدة كما في صور شرائح الخبز. لذلك تعتبر قيمة العتبة ذات تأثير كبير على الهدف المستخلص وبالتالي على جودة تحليل هذه الصورة.

ينتج عن تطبيق تقنية العتبة على الصور الرمادية صور بيضاء وسوداء، حيث أنه تطبق تقنية العتبة على الصورة  $f(x,y)$  على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} \text{If } f(x,y) \geq t \text{ then } f(x,y) &= \text{object} = 1 \\ \text{Else } f(x,y) &= \text{background} = 0 \end{aligned}$$

في الحالة السابقة الهدف هو ذو بكسلات فاتحة أي ذات إضاءة كبيرة، أما في حال كان الهدف ذو إضاءة منخفضة والخلفية ذات إضاءة كبيرة يصبح التطبيق على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} \text{If } f(x,y) < t \text{ then } f(x,y) &= \text{object} = 1 \\ \text{Else } f(x,y) &= \text{background} = 0 \end{aligned}$$

استخدام العتبة Thresholding عبارة عن عملية فصل المناطق الفاتحة عن المناطق الساطعة في الصورة، وتندرج هذه العملية ضمن المعالجة على مستوى النقطة (البكسل)، وينتج عن تطبيق العتبة صور ثنائية Binary.

تسمى هذه التقنية بالعتبة المفردة Single Threshold حيث يتم تحويل قيمة كل البكسلات التي سطوعها أقل من العتبة إلى القيمة صفر، بينما كل البكسلات التي سطوعها أكبر من العتبة يتم تحويل قيمتها إلى الواحد، أما عند تطبيق العتبة المزدوجة Double Threshold فيتم تحديد العتبة بقيمتين تمثلان العتبة الدنيا والعتبة العليا، حيث يأخذ البكسل القيمة واحد (اللون الأبيض) عندما تكون قيمته ضمن هاتين العتبتين، أما بقية البكسلات فتأخذ القيمة صفر (اللون الأسود).

توجد عدة طرائق لتحديد العتبة مثل طريقة العتبة الثابتة حيث يتم اختيار العتبة بشكل مستقل عن بيانات الصورة، وتكون هذه الطريقة دقيقة بشكل كافٍ عند التعامل مع صور عالية التباين حيثما تكون الأغراض Objects داكنة جداً والخلفية متجانسة اللون وفاتحة جداً، أو يتم اختيار العتبة من المدرج التكراري لسطوع المنطقة أو الصورة التي نريد تجزئتها، وهناك

مجموعة من التقنيات المستخدمة للتحديد الأوتوماتيكي للعتبة بالاعتماد على المدرج التكراري، أو بطريقة تماثل الخلفية التي تفترض وجود قمة مميزة وغالبية لخلفية الصورة. تصنف طرائق العتبة الأربعة وفقاً لمحتويات الصورة إلى ستة أصناف:

- طرائق تعتمد على شكل تابع التوزيع (Histogram)،
- طرائق تعتمد على التجميع Clustering،
- طرائق تعتمد على الانتروبي Entropy،
- طرائق تعتمد على ميزات الهدف
- طرائق الموقع العام وطرائق الموقع المحلي التي تعتمد على خصائص كل نقطة (بيكسل).

سوف نبين في هذا القسم عدداً من تقنيات التعتيب وناقش جدارة ومحدودية هذه الطرق.

### التعتيب الأمثل optimal thresholding

افتراض أنه معروف مسبقاً أن صورة ما تحتوي على منطقتي لمعان رئيسيتين. يمكن أن يعتبر هيستوغرام صورة كهذه كتقدير لدالة كثافة احتمال اللمعان  $p(x)$ . ان دالة الكثافة الاجمالية هذه ستكون مجموع مزيج من كثافتين أحاديتي النمط unimodal، احدهما للمناطق الفاتحة light regions والآخرى للمناطق العاتمة في الصورة. وأكثر من ذلك، فان معلمات المزيج ستكون متناسبة مع مساحات الصورة لكل لمعان brightness. اذا كان شكل الكثافتين معروفاً أو مفروضاً، يمكن عندئذ تحديد عتبة مثلى (بدلالة الخطأ الأدنى minimum error) لتجزئ الصورة إلى مناطق سويتية لمعان.

تعطى دالة كثافة احتمال المزيج بالعلاقة

$$P(x) = P_1 p_1(x) + P_2 p_2(x)$$

التي تكون من أجل الحالة الغوصية

$$p(x) = \frac{P_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left[-\frac{(x - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] + \frac{P_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left[-\frac{(x - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right]$$



حيث ان  $\mu_1$  و  $\mu_2$  هما القيمتان الوسطيتان mean values لسويتي المعان، و  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  هما الانحرافان المعياريان حول القيمتين الوسطيتين، و  $P_1$  و  $P_2$  هما الاحتمالان المعروفان مسبقا للسويتين. ولأن الشرط

$$P_1 + P_2 = 1$$

يجب أن يكون محققا، فان لكثافة المزيج خمس معلمات مجهولة. فإذا كانت جميع المعلمات معروفة يمكن بسهولة تحديد العتبة.

افرض أن المنطقة العاتمة تتبع للخلفية وأن المناطق اللامعة تتبع للأجسام. في هذه الحالة  $\mu_1 < \mu_2$  ويمكن أن نحدد عتبة  $T$  بحيث تعتبر جميع العناصر ذات السويات الرمادية الواقعة تحت العتبة  $T$  نقاط خلفية وجميع النقاط ذات سويات رمادية فوق  $T$  تعتبر نقاط أجسام. ان احتمال تصنيف نقطة جسم بشكل خاطئ كنقطة خلفية يكون

$$E_1(T) = \int_{-\infty}^T p_2(x) dx$$

بشكل مشابه، فان احتمال تصنيف نقطة خلفية كنقطة جسم يكون

$$E_2(T) = \int_T^{-\infty} p_1(x) dx$$

ولذلك فان الاحتمال الاجمالي للخطأ يعطى بالمعادلة

$$E(T) = P_2 E_1(T) + P_1 E_2(T)$$

لايجاد قيمة العتبة التي يكون الخطأ من أجلها أصغريا، يمكن أن نفاضل  $E(T)$  بالنسبة لـ  $T$  (باستعمال قانون ليبينيز) ونساوي النتيجة بالصفر فتكون النتيجة

$$P_1 p_1(T) = P_2 p_2(T)$$

ان تطبيق هذه النتيجة على الحالة الغوصية يعطي بعد أخذ اللوغاريتمات والتبسيط معادلة من الدرجة الثانية

$$AT^2 + BT + C = 0$$

حيث

$$A = \sigma_1^2 - \sigma_2^2$$

$$B = 2(\mu_1 \sigma_2^2 - \mu_2 \sigma_1^2)$$

$$C = \sigma_1^2 \mu_2^2 - \sigma_2^2 \mu_1^2 + 2\sigma_1^2 \sigma_2^2 \ln\left(\frac{\sigma_2 P_1}{\sigma_1 P_2}\right)$$

ان امكانية وجود حلين يشير الى أنه يمكن أن يلزم قيمتا عتبتين للحصول على الحل الأمثل.

إذا كانت الفاوتات variances متساوي  $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  فان عتبة واحدة تكفي:

$$T = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

إذا كان الاحتمالان المعروفان مسبقا متساويين، فإن  $P_1 = P_2$  فإن العتبة المثلى هي بالضبط متوسط القيمتين الوسطيتين average of the means ويسري نفس الشيء إذا كان  $\sigma = 0$ . يمكن تحديد العتبة المثلى بسهولة من الكثافات أحادية النمط unimodal ذات شكل معروف مثل كثافتي Raleigh و longnormal. لتقدير المعلمات من هيستوغرام صورة ما يمكن ان نستعمل طريقة الاحتمال الاعظمي maximum likelihood أو طريقة متوسط تربيع الأخطاء mean square error فمثلا إن متوسط تربيع الاخطاء بين كثافة المزيج  $p(x)$  والهيستوغرام التجريبي  $h(x_i)$  هو

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [p(x_i) - h(x_i)]^2$$

حيث يفترض وجود هيستوغرام من N نقطة.

بشكل عام، ان تحديد المعلمات التي تخفض متوسط تربيع الاخطاء هذا الى حد ادنى تحليليا ليس مسألة بسيطة. حتى في الحالة الغوصية، يؤدي الحساب المباشر لمساواة المشتقات الجزئية بالصفر الى مجموعة من المعادلات الأنية الغامضة transcendental التي يمكن ان تحل عادة باستخدام الاجراءات العددية numerical procedure. ولأن التدرج يمكن ان يحسب بسهولة، يمكن استعمال طريقة تدرج المترافق conjugate gradient أو طريقة نيوتن Newton's method للمعادلات الأنية غير الخطية لتصغير M إلى الحد الأدنى. عند استخدام أي من هاتين الطريقتين التكراريتين، يجب تحديد قيم البداية. ان تحدد قيمتا البداية للوسطي والتفاوت بكشف النمطين modes في الهيستوغرام أو ببساطة بتقسيم الهيستوغرام إلى جزأين حول قيمته المتوسطة mean value، وحساب المتوسط والتفاوت لكل من الجزأين ليستعمل كقيم بداية.

## تقنية Isodata algorithm

طورت هذه الطريقة التكرارية البسيطة لتحديد العتبة من قبل Ridler and Calvard عام 1978. يتم في البداية وضع قيمة عتبة تخمينية. يحسب متوسطات بكسلات الهدف والخلفية (objects and background) الناتجة عن العتبة المفترضة. يتم تحديد العتبة الجديدة كمتوسط لمتوسطي القطاعين هدف والخلفية. تحسب متوسطات الخلفية والهدف مرة أخرى ونحصل على قيمة عتبة جديدة، وهكذا حتى نصل إلى قيمة عتبة ثابتة.

لنفرض أن توزع قيم البكسلات في المخطط التكراري هي  $h(0), h(1), \dots, h(L-1)$  حيث  $h(i)$  عدد بكسلات في الصورة التي قيمة لونها الرمادي  $i$  و  $L-1$  قيم اللون الرمادي العظمي (255). يتم افتراض العتبة البدائية مساوية للوسط. ثم يحسب متوسط قيم البكسلات  $\mu_1$  التي هي أقل أو مساوية لـ  $t$  كما يلي:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=0}^t i \cdot h(i)}{\sum_{i=0}^t h(i)}$$

ويتم حساب متوسط البكسلات  $\mu_2$  التي هي أكبر من العتبة  $t$  كما يلي:

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot h(i)}{\sum_{i=t+1}^{L-1} h(i)}$$

ثم يتم حساب العتبة  $t$  كمتوسط لـ  $\mu_1$  و  $\mu_2$  إلا أن نصل لقيمة ثابتة.

$$t = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$$

## خوارزمية الخطأ الأصغري Minimum Error

تم تطويرها من قبل Kittler and Illingworth عام 1986 ، وفيها يتم عرض المدرج التكراري لمستويات الرمادي لتابع كثافة الاحتمالية لمجتمع خليط يتكون من مستويات الرمادي للخلفية وللغرض ( $j=1,2$ ) وكل مكون يكون ذو توزيع طبيعي بمتوسط  $m(j)$  وانحراف معياري  $\sigma(j)$  واحتمالية  $p(j)$ ، ولكن هذه المتغيرات غير معروفة جداً لذلك يتم استخدام تابع قياسي بديل، ويتم الحساب بالمعادلات التالية.

$$J(t) = 1 + 2[P_1(t) Ln\sigma_1(t) + P_2(t) Ln\sigma_2(t)] - 2[P_1(t) LnP_1(t) + P_2(t) LnP_2(t)]$$

$$P_1(t) = \sum_{i=0}^t p(i)$$

$$P_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p(i) = 1 - P_1(t) \quad m_1(t) = \frac{1}{P_1(t)} \sum_{i=0}^t i \cdot p(i)$$

$$m_2(t) = \frac{1}{P_2(t)} \sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot p(i)$$

$$\sigma_1(t) = \frac{1}{P_1(t)} \sum_{i=0}^t [i - m_1(t)]^2 \cdot p(i)$$

$$\sigma_2(t) = \frac{1}{P_2(t)} \sum_{i=t+1}^{L-1} [i - m_2(t)]^2 \cdot p(i)$$

$$J(t^*) = \min_{t \in GL} J(t)$$

### خوارزمية K-means clustering

تم تطويرها من قبل Hartigan عام 1975 وتقتضض هذه الخوارزمية قيم بكسلات الخلفية والغرض في الهستوغرام كعنقودين، ويكون الهدف هو تحديد العتبة حيث يكون كل بكسل في كل جهة حول العتبة ذو كثافة أقرب إلى متوسط البكسلات في تلك الجهة بالمقارنة مع متوسط البكسلات بالجهة الأخرى.

بفرض  $\mu_1(t)$  متوسط البكسلات الأقل من العتبة و  $\mu_2(t)$  متوسط البكسلات الأكبر من العتبة، يكون الهدف هو الحصول على قيمة مستوى الرمادي الذي يحقق المعيارين:

$$\forall i \geq t : |i - \mu_1(t)| > |i - \mu_2(t)|$$

$$\forall i < t : |i - \mu_1(t)| < |i - \mu_2(t)|$$

من أجل كل حدّ ممكن يتم تحديد خطأ التقسيم PE الذي يحدد كفاءة التجميع بالمعادلة التالية:

$$PE(t) = \sum_{i=0}^{L-1} [h(i)(i - \mu(t))]$$

وأخيراً تكون قيمة العتبة المثلى هي قيمة العتبة التي تعطي أقل خطأ للتقسيم.

### خوارزمية العتبة الضبابية Fuzzy Thresholding Algorithm

استخدم الباحثان Hung and Wang في عام 1995 فرضية الضبابية لتقسيم الصورة من خلال تصغير ضبابية الصورة التي يعبر عنها بالأنثروبي أو دليل الضبابية أو دليل اللاضبابية حيث يعبر عن الصورة  $I = f(x, y)$  of Size  $M \times N$  بالمعادلة التالية:

$$I = \{(f(x, y), \mu_1(f(x, y)))\}$$

يمكن تمثيل تابع الارتباط بالتابع المميز الذي يمثل ضبابية البكسل  $a(x, y)$  بالمعادلة التالية:

$$\mu_1(f(x, y)) = \begin{cases} \frac{1}{1 + |f(x, y) - \mu_0(t)|/C} & \text{if } f(x, y) \leq t \\ \frac{1}{1 + |f(x, y) - \mu_1(t)|/C} & \text{if } f(x, y) > t \end{cases}$$

يمكن إهمال متوسط مستويات الرمادي  $\mu_0(t)$  و  $\mu_1(t)$  باعتبارهم قيم الهدف للخلفية والغرض وذلك من أجل قيمة عتبة ثابتة معطاة C و t مثل:

$$0.5 \leq \mu_1(f(x, y)) \leq 1$$

$$\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^t i \cdot h(i)}{\sum_{i=0}^t h(i)}$$

$$\mu_1(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot h(i)}{\sum_{i=t+1}^{L-1} h(i)}$$

عند قياس الضبابية باستخدام الأنثروبي مثلاً يمكن تحديد العتبة المثلى بتصغير قياس الضبابية إلى الحد الأدنى.

$$S(\mu_1(i)) = -\mu_1(i) \ln[\mu_1(i)] - [1 - \mu_1(i)] \ln[1 - \mu_1(i)]$$

$$E(I) = \frac{1}{MN \ln 2} \sum_{i=0}^{L-1} S(\mu_1(i)) h(i)$$



$$t^* = \arg \min_{t \in GL} E(X)$$

## تسمية المكونات Component Labeling

تستخدم هذه العملية عندما نريد توصيف المكونات المتصلة من حيث الحجم والموقع و...، حيث أن البكسلات في المكونات المتصلة تمثل الـ Object، وتهدف هذه العملية إلى إرفاق كل Object في الصورة بتسمية فريدة (رقم صحيح)، وينتج عن هذه العملية صورة أخرى تكون فيها كل البكسلات المحتواة في المنطقة المتصلة الأولى تحمل التسمية 1 وكل البكسلات في المنطقة المتصلة الثانية تحمل التسمية 2 وهكذا.... الشكل (2).

1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	0	1
0	0	0	1	0	1	0	1
1	1	0	1	0	0	0	1
1	1	0	1	0	1	1	1

1	1	0	1	1	1	0	2
1	1	0	1	0	1	0	2
1	1	1	1	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	0	2
3	3	3	3	0	4	0	2
0	0	0	3	0	4	0	2
5	5	0	3	0	0	0	2
5	5	0	3	0	2	2	2

الشكل 2: تسمية المكونات في الصورة

تتم هذه العملية بإحدى الخوارزميتين التاليتين:

أولاً: خوارزمية التكرار : Recursive Algorithm

- I. امسح الصورة وعندما تجد أول بكسل غير مسمى قم بتسميته باسم جديد L.
- II. بشكل متكرر قم بتسمية جميع جيران البكسل الأول بالاسم L.
- III. توقف عند عدم وجود المزيد من البكسلات المجاورة للبكسل الأول والغير مسماة.
- IV. انتقل إلى الخطوة الأولى

ثانياً: خوارزمية التعاقب (التتالي): Sequential Algorithm

تعمل هذه الخوارزمية فقط على سطرين بالصورة، لذلك ليس هناك حاجة إلى جلب كامل الصورة إلى الذاكرة وتتم وفق الخطوات التالية:

I. امسح الصورة من اليسار إلى اليمين ومن الأعلى إلى الأسفل.

II. اذا كان البكسل منفرد:

➤ بحال كان أحد جيران البكسل سواء العلوي أو اليساري يحمل تسمية ما قم بنسخ التسمية.

➤ بحال كان كلاهما مسمى بنفس التسمية قم بنسخ الاسم.

➤ بحال كانا يتميزان باسمين مختلفين، قم بنسخ اسم البكسل المجاور العلوي ومن ثم ادخل التسمية في جدول المسميات، وإلا قم بتسمية البكسل باسم جديد وأدخل التسمية في جدول المسميات.

III. بحال وجود أكثر من بكسل انتقل إلى الخطوة II.

IV. ابحث عن أقل قيمة في جدول المسميات.

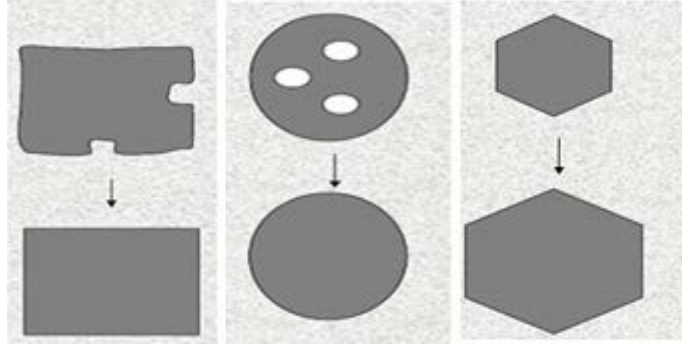
V. امسح الصورة واستبدل كل تسمية بأقل قيمة تسمية في جدول المسميات

### المعالجة المورفولوجية (التشكيلية) الحسابية Mathematical Morphology

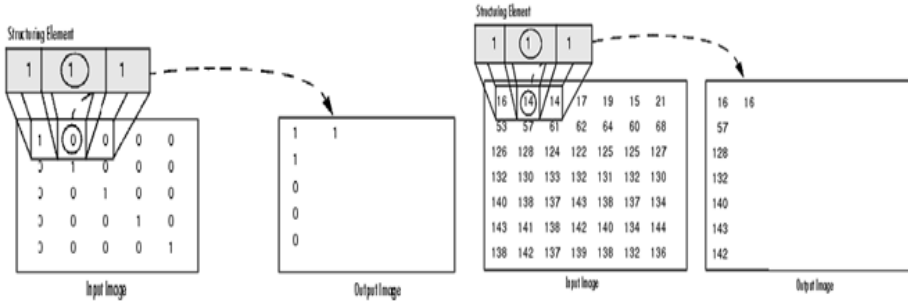
يعتبر قسم منفصل نسبياً في تحليل الصورة، ويعتمد على العمليات الجبرية غير الخطية على شكل الـ Object مثل:

#### التوسيع Dilation

وهي عملية توسيع المجموعات المتصلة من البكسلات ذات القيمة 1 في الصور الثنائية، وتستخدم بهدف توسيع الشكل أو ملئ الثقوب والفراغات في الصورة (شكل 3)، تكون قيمة بكسل الخرج هي القيمة العظمى لكل قيم جيران بكسل الدخل (القيم 1 في العنصر الباني) وفي الصور الثنائية بحال كان لأي بكسل القيمة 1 فإن بكسل الخرج سيأخذ القيمة 1 (شكل 4).



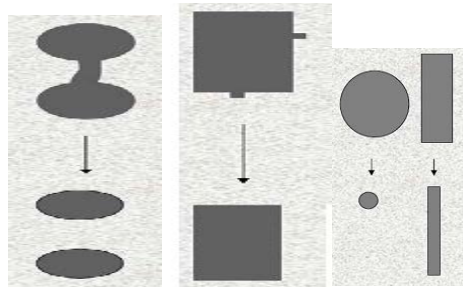
الشكل 3: عملية التوسيع



الشكل 5: عملية التوسيع لصور ثنائية وصور رمادية.

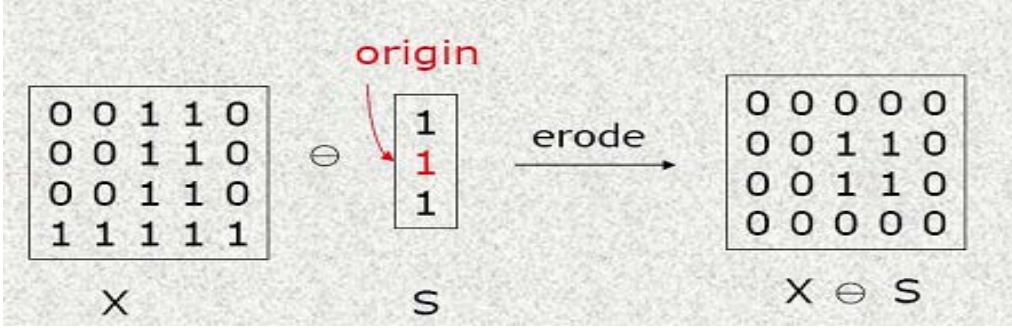
### الحت Erosion

هي عملية تصغير المجموعات المتصلة من البكسلات ذات القيمة 1 في الصور الثنائية، بهدف تصغير الأشكال أو إزالة الجسور بين غرضين في الصورة ومناطق الاتصال (الشكل 6) ، تكون قيمة الخرج هي القيمة الصغرى لكل قيم جيران البكسل (القيم 1 في العنصر الباني Structuring Element)، وفي الصور الثنائية بحال كانت قيمة أي بكسل تساوي صفر فإن بكسل الخرج سيأخذ القيمة 0 (الشكل 7).



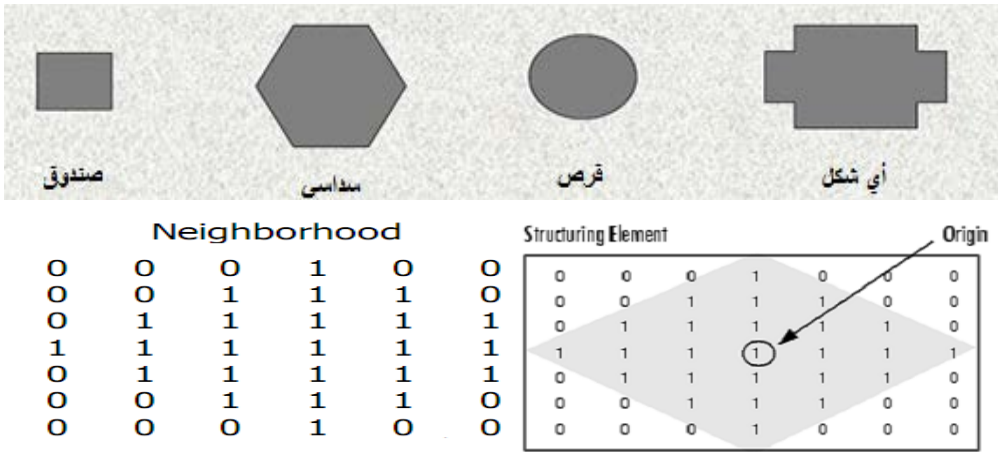
الشكل 6: عملية الحت.





الشكل 7: عملية الحت لصورة ثنائية.

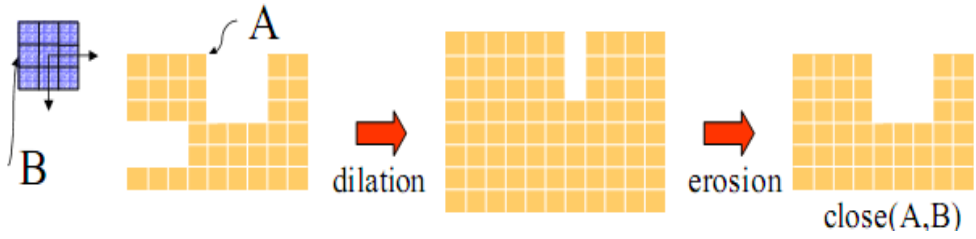
تعتمد كلتا العمليتين على استخدام العنصر الباني Structuring Element الذي يعرف بأنه قناع له شكل معين يستخدم في العمليات المورفولوجية (التشكيلية) الأساسية، وقد يكون له أي شكل أو حجم ويتم تمثيله رقمياً بمصفوفة عناصرها 0 أو 1 (الشكل 8).



شكل 8: عنصر البناء Structuring Element

### الإغلاق Closing

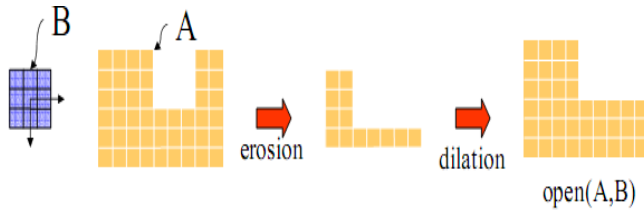
تتضمن عملية الإغلاق إجراء توسيع Dilation ومن ثم إجراء حت Erosion باستخدام نفس العنصر الباني Structuring Element، ولهذه العملية نفس تأثير عملية التوسيع ولكنها تحافظ على الشكل العام أي أنها فقط تملئ الثقوب والفتحات (الشكل 9).



الشكل 9: الإغلاق Closing.

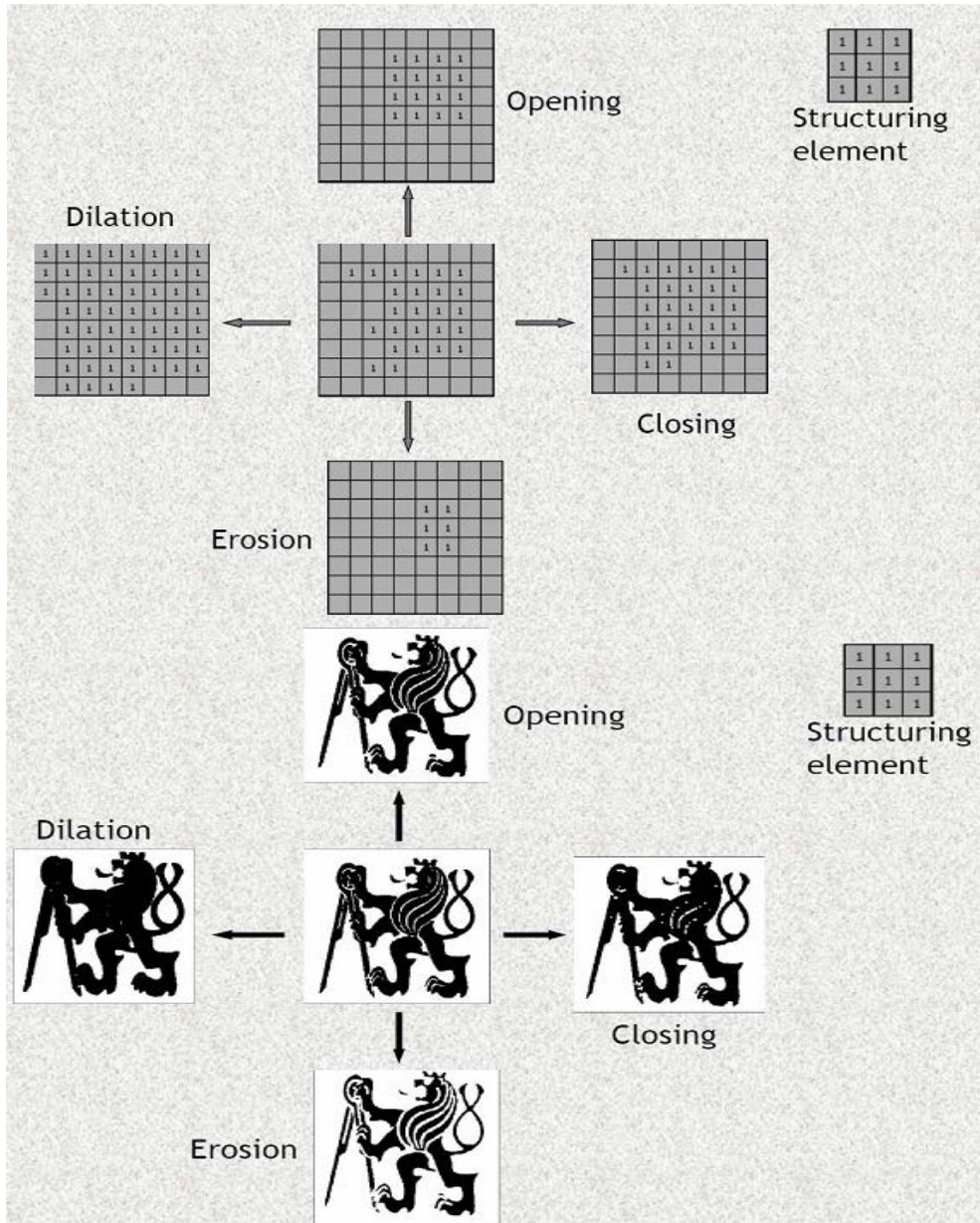
### الفتح Opening

تتضمن عملية الفتح إجراء حت Erosion ومن ثم إجراء توسيع Dilation باستخدام نفس العنصر الباني، ولهذا العملية نفس تأثير الحت Erosion ولكنها تحافظ على الشكل العام أي فقط تزيل الجسور والتفرعات (الشكل 10).



الشكل 10: الفتح Opening.

يوضح الشكل (11) الفرق بين هذه العمليات.



الشكل (11) يبين الفرق بين الحت والتوسيع والفتح والإغلاق

## تحليل الصورة الرقمي لضمان الجودة في السلسلة من القمح إلى الخبز

### مقدمة

تقنية الـ DIA قد توسعت بشكل ملموس ووجدت إمكانية تطبيق واسعة وقبول متزايد في صناعات الحبوب من أجل الكثير من مهام تأكيد الجودة وذلك يتضمن استعمالها كأداة للبحث أو كمساعد داخل محطة (مصنع) الإنتاج. إن الـ DIA كتقنية مؤتمتة (تعتمد على الكمبيوتر) بشكل كبير لها فوائد كثيرة بالمقارنة مع المعاينة البصرية الذاتية (غير الموضوعية)، إن هذه التقنية: كمية ودقيقة وصحيحة وموضوعية وغير متعبة وهي أيضاً تقنية سريعة. بالإضافة لذلك فإن التسارع المتواصل للقوة الحاسبة يسمح باستعمال الخوارزميات المعقدة بشكل متزايد من أجل تحويل المعلومات المصورة (تصويرية) ضمن الصورة إلى نتائج مفهومة بسهولة. عندئذ يمكن استعمال هذه النتائج من قبل مسوقي القمح والطحان والخباز من أجل تحديد نوعية القمح أو من أجل تقييم نوعية المنتجات المشتقة (المستمدة) منها. إن عدد الباحثين العاملين بهذه التقنية يوضح لنا تزايد تطبيقات الـ DIA، ففي عام 1986 إن البحث عن مصطلح (تحليل الصورة) في قاعدة بيانات علوم وتكنولوجيا الأغذية سوف يطابق فقط 6 مقالات بالمجلة لذلك العام، أما في عام 2000 فإن نفس البحث يعطي 65 مقالاً بالمجلة و 2 براءة اختراع.

الهدف من هذا الفصل هو إعطاء نبذة (نظرة عامة) للاستعمالات المتنوعة لـ DIA في عملية تحويل القمح إلى منتجات نهائية مع التأكيد على عملية تحويل القمح إلى خبز.

### نوعية القمح

بما ان نوعية المنتج النهائي تعتمد بشكل كبير على نوعية القمح، يظهر سؤال واحد هو هل تستطيع الـ DIA تأكيد لمشتري القمح أن نوعية القمح ملائمة لاستخدامات المستهلك النهائي. إنه سؤال فيه تحد كبير كون جودة القمح تابعة لعوامل وراثية وبيئية. وفقاً لذلك فإن الجواب ليس واضح، رغم أن دراسات عديدة أظهرت أن الـ DIA قادرة على تأمين المساعدة في مسائل الجودة (النوعية) التي لها علاقة (تخص) بالحالة الفيزيائية للقمح، مع المقدرة في بعض الحالات على تجاوز تلك التي نحصل عليها بالمعاينة البصرية فقط. إمكانية النجاح بهذا الخصوص تتطلب أن يكون تحليل الصورة قادر على عنونة عدد من العوامل:

هل يستطيع DIA أن يحدد عينات القمح ذات ميزات الاستخدام النهائي الجيد بشكل حقيقي؟

كما أن ميزات الاستخدام النهائي الجيد تكون موروثية في حبوب القمح للنوع المعطى فهكذا أيضاً تكون الميزات الفيزيائية للحبوب. الفرضية إذاً إن هذه الميزات الفيزيائية ربما تسمح لـ DIA بتميز النوع أو النموذج الجيني. لعمل هذا فإن عملية الـ DIA سوف تستخرج الميزات البصرية التي تخص فريد النوع أو مجموع الأنواع من صورة عينة القمح لكي نصنف ميزات عينة القمح. يمكن أن تطبيق ميزات الحبوب المتنوعة مثل شكل وبنية الحبوب لون الحبوب (معامل الإنعكاس) الحبوب، وأيضاً ميزات بنية الحبوب. أجريت هذه الدراسات عموماً في سياق تجمع أصناف محدودة وفي هذه الظروف فإن الميزات الفيزيائية المحددة كان يمكن تمييزها بشكل كاف لتحديد النوعية أو محددة بشكل أساسي. على أية حال في حالات أخرى تحديد انتماء العينة لمجموعة من النماذج الجينية (genotypes) ضمن class قمح يملك خصائص استخدام نهائي شائعة مثل قمح CWRS يعتبر كاف ليقع للزبون بنوعية عينة القمح، على ان يكون التمييز في الخصائص الفيزيائية بين الأنواع التي تعود إلى Classes قمح مختلفة.

هل يستطيع الـ DIA ان يقدر (يقيس) تأثيرات البيئة على نوعية القمح ؟

إن قوة وفائدة تقنية الـ DIA في فحص الحبوب تتمثل جيداً بمقدرته على قياس تأثير البيئة على نوعية القمح. على أية حال كلما تزايد تأثير البيئة كلما ازدادت التغيرات في الميزات الفيزيائية لحبة القمح. تبعاً لذلك فعندما يؤثر الجو وشروط النمو الأخرى (كالحرارة والصقيع والأمراض والحشرات) على مظهر الحبوب فإن مقدرة الـ DIA على تحديد العامل الأول تصبح غير ممكنة. مثلاً، إن وجود ميزة واضحة بصرياً كنسبة مظهر الحبة ربما بسهولة يسمح لـ DIA بأن يحدد سلامة عينة القمح وأنها ذات نوعية جيدة في صناعة الخبز ولكن ربما تعمل البيئة تغيرات كافية على متغيرات الصورة بحيث أن تحديد الـ genotype أو wheat class لم تعد ممكنة. يوجد الكثير من الفحوصات التجارية وإجراءات التدرج لإظهار تأثير البيئة على إفساد نوعية الحبوب والتي تعتمد على أساس الميزات التي تحدد بصرياً. ولذلك تستطيع أنظمة آلية بصرية أن تستخدم بشكل مفيد لمساعدة مسوقي الحبوب في تحديد التأثيرات البيئية على نوعية الحبوب.

وفي دراسة تختبر دقة تحليل الصورة من أجل تصنيف القمح الربيعي الأحمر حسب درجات النوعية التجارية فقد أظهر بأن هناك تنوع أكبر في شكل وبنية الحبوب في درجات النوعية المتدنية حيث يكون تأثير المناخ أكبر. وجد أيضاً أن من الممكن تصنيف القمح الربيعي الأحمر بشكل صحيح إما لدرجة الطحن أو ان يكون من درجات نوعية أقل على أساس تشتت المتغير وبيانات المتوسط المحسوبة بواسطة الـ DIA. إن قدرة الـ DIA على تمييز الحبوب التي تخضع إلى إنخفاض تدرجها لأسباب بيئية شديدة كالتبرعم مفيدة بشكل واضح. على أية حال هناك حالات ربما تكون فيها دقة وقوة التمييز لـ DIA جيدة جداً. على سبيل المثال إن الـ DIA يستطيع بسهولة أن يقدر ويميز التغيرات الصغيرة ببلورية حبوب قمح الديوريوم الناتجة عن تغيرات المناخ ولكن هناك جدال فإن تأثير البلورية على جودة ونسبة استخراج السميد بشكل خاص قد بولغ فيه. ومع هذا تبقى البلورية ميزة جودة مهمة في تجارة القمح فإن مقدرة الـ DIA على قياسها للبلورية بدقة تجعل الـ DIA أداة جذابة لأهداف تدرج القمح.

#### هل من الممكن تحديد المادة الغريبة في عينة القمح ؟

تسبب المواد الغريبة انخفاض درجة نوعية القمح، وغالبا ما تشترط حدود دقيقة على قائمة واسعة من الملوثات النباتية والحيوانية ومن الأصول الأخرى كجزء من المواصفات التجارية. وكلما كان التلوث أقرب بشكله إلى حبوب القمح كلما كان من الأصعب تمييز هذا التلوث من قبل DIA. على سبيل المثال يمكن تمييز حبوب الشيلم Rye بنجاح عن حبوب القمح الربيعي الأحمر ولكن لا يمكن فصل قمح الديوريوم وحبوب الشيلم بسهولة.

درس تأثير تقنيات معالجة الصور المختلفة على تقليل عدد النتائج الإيجابية الخاطئة بسبب وجود فضلات القوارض في اختبار عينات القمح. وصفت أيضاً استراتيجية معالجة الصورة لتقليل النتائج الإيجابية الخاطئة لتوجيه مسألة التلوث الحشري. يؤثر التلوث الحشري بشكل واضح على تحديد نوعية القمح المنقول بالسفن أو المخزن. إذا كانت الحشرات مختبئة داخل الحبوب فعندئذ يكون استعمال الطرق التصويرية التي تعمل فوق المجال المرئي ذا فوائد إضافية للفحص بالـ DIA ولكن هذا قد يسبب كلفة إضافية للنظام. دراسة حديثة قد غطت الطرق التصويرية لاكتشاف التلوث في الغذاء (استخدام التقنيات ضمن وفوق الطيف المرئي)

مع أن تركيزها على الحبوب كان محدداً. أظهر التطبيقات التي من الممكن أن تكون أكثر ارتباطاً بالتلوث الحشري في الحبوب.

**في أي مستوى يمكن للملوثات والحبوب ذات جودة الاستخدام النهائي المنخفضة أن تميز من الجيدة في عينة القمح ؟**

إن الإجابة على هذا السؤال هي لدرجة كبيرة مفتاح النجاح لـ DIA كأداة مستقلة لضمان النوعية لزبون القمح بما أنه من المؤكد حدوث بعض التلوث والاختلاطات في الحبوب ما بين نقطة الإنتاج ونقطة البيع. أي انخفاض بدرجة الحبوب لأسباب بيئية سيعمل كعامل إرباك إضافي للأنظمة البصرية. إذا أخذنا بعين الاعتبار مجموعة انواع القمح العالمية الممكنة يظهر أن تحديد نوع واضح باستخدام الـ DIA غير ملائم. بالإضافة إلى ذلك إن أخذ جميع العوامل البيئية المحتملة التي تسبب انخفاض الدرجة التي من الممكن أن تخضع لها عينة القمح فإن الزمن المطلوب لمعالجة الصورة بالكمبيوتر يمكن أن يطيل بشكل غير مقبول عملياته التدريج إذا أردنا تخفيض أو إزالة النتائج الإيجابية الخاطئة للحبوب ذات النوعية المنخفضة أو بسبب تواجد الملوثات.

في بعض الحالات إن مقدرة الـ DIA على تمييز ملوثات محددة يمكن أن يفشل يتعرض للخطأ بسبب وجود ملوثات أخرى مع أن أظهر أن وجود الأجرام كحبات القمح المكسورة لم يقلل من مقدرة الـ DIA على اكتشاف الحشرات. إن أسلوب تقديم العينة للكاميرا (الجهاز ثنائي الشحن CCD) له تأثير واضح على سرعة ودقة النظام البصري، على سبيل المثال يُنصح بأن لا نقدم أكثر من 25 حبة في نفس لوقت للكاميرا. لا يمكن تجنب الأخطاء في الدقة عندما يؤخذ بعين الاعتبار نظام السرعة والكلفة عند اختبار نظام الـ DIA. وعلاوة على ذلك فإن النتيجة المحتملة المرفقة مع أنظمة الـ DIA هو تحديد النسبة الوزنية الدقيقة للملوثات (كما خصص حديثاً في عقود تدريج الحبوب) هو امر صعب عند استخدام تقنية تقيس الكثافات المترافقة مع الميزات الموفولوجية (الشكلية والبيئوية).

## **جودة الطحن**

يلعب الطحان دور محوري بين المزارع والتاجر وبين مستخدم الدقيق. وإن اختيار القمح المناسب والمعاملة المثلى يؤكدان الوصول إلى المواصفات التي يطلبها مستهلكو الدقيق وفي

نفس الوقت المحافظة على استخراج ومردود كافي حيث تحافظ المطحنة على ربح معقول. وقد استخدمت تقنية تحليل الصور او يمكن استخدامها في عدد من المهام (الواجبات) ضمن المطحنة لمساعدة الطحان في إنجاز تلك الأهداف.

### عمليات قسم التنظيف

مع أن تقنية تحليل الصور يستطيع ان يحدد مستوى الأجرام ضمن عينة القمح إلا أنه لا يزال هناك حاجة لتقليل مستوى هذه الأجرام في قسم الغريلة. وإن النجاح بالقيام بهذا (تقليل الأجرام) سوف يقلل من مشاكل التشغيل للمطحنة نفسها وأيضاً سوف يقلل من درجة تلوث منتج المطحنة أي الدقيق. وهناك دور آخر لقسم الغريلة هو ترطيب أمثلي لحبات القمح التي تشكل العناصر المختلفة للجريش بحيث أن القمح يدخل إلى قسم الطحن بحالة ملائمة للطحن.

في دراسة قديمة استنتج انه بالرغم من أن القمح يمكن أن يتميز عن الحجارة والأعشاب بواسطة تقنية تحليل الصور ولكن لا يمكن تمييز الحجارة عن الأعشاب وهذا يمكن أن يؤثر على الاستفادة من الغريلة في صناعة العلف. استخدام تحليل الصور مع اطوال موجة خارج المجال المرئي سيحل المشكلة، ولكن يفضل أن توظف وسيلة أبسط لتحديد اختلافات الكثافة في الغريلة. أظهرت دراسة أن 90% من الحبوب المكسورة في عينات القمح حددت باستخدام عدد من الألوان والميزات المورفولوجية (شكالية بنيوية) المستخرجة من صور الحبوب.

على الرغم أنه من غير المحتمل أن يستفاد منها في التنبؤ المستقبلي في الطاقة الإنتاج فإن الـ NMR تقنيات المكرو تصويرية (التصوير الميكروية) تستطيع ان تزودنا بالمعلومات عن أن إضافة الماء الفعالة أثناء الترطيب يحقق توزيع أمثل للرطوبة ضمن وبين حبات القمح. الهدف من بعض هذه الدراسات هو فصل النخالة وتنعيم الأندوسيرم الأمثل ولذلك يمكن أن يزيد الطحان من نسبة استخراج الدقيق بدون تضرر نوعية الدقيق.

### عمليات قسم الطحن

يعتبر بشكل واضح استخراج القمح النظيف هام جداً للطحان بما ان كمية الدقيق المنتجة من طن القمح المنظف المرطب ترتبط بشكل مباشرة مع إمكانية الريح من المطحنة مع المحافظة على أهداف نقاء الدقيق. ميزتان للحبوب أصبحتا مواصفتين تجاريتين هامتين للحبوب بسبب علاقتهما الوهمية مع نسبة استخراج الدقيقهما: حجم الحبة وبلورية الحبة على الرغم أنه



للمواصفة الأخيرة أكثر أهمية في استخراج السميد في طحن قمح الديوروم من استخراج الدقيق من القمح الخبزي. أظهرت كلا ميزتا الحبوب قابليتها للقياس بواسطة تقنية تحليل الصور .

بما أن تحديد مساحة الحبة بواسطة تقنية تحليل الصور يرتبط بشكل جيد مع وزن الحبة فيجب ان يرتبط مع ما ينبئ باستخراج الدقيق مثل وزن الألف حبة. على كل حال وجد أنه لا يوجد علاقة كهذه للأقمح في مجال جودة الطحن ولكن استخراج 4 ميزات مورفولوجية بواسطة الـ DIA من صور جانب وعلوية لحبوب القمح قد ربطت بشكل جيد جداً مع نسب استخراج الدقيق في عمليات طحن تجريبية.

لم يجد علاقة جيدة لاستخراج الطحن في بعض الدراسات ولكن بالرغم من ذلك فقد دعو لاستخدام الـ DIA كوسيلة للتوقع باستخراج الطحن في برامج التحسين حيثما طبيعتها غير الهدامة مفيدة بشكل خاص. امتدت أيضاً تحليلات الـ DIA لمورفولوجية الحبوب إلى توقع استخراج السميد، مرة أخرى اعتماداً على قياس مورفولوجية الحبوب في المراحل المبكرة في برامج التحسين.

بما أن بلورية الحبوب ذكرت كمحدد لاستخراج السميد في المطحنة فإن طورت طرق الـ DIA لقياس البلورية. تقنية تستخدم الضوء النافذ تعتمد على مبدأ ان الفراغات في الحبة يبعثر الضوء ولذلك يظهر قتامة بشكل نسبي في الصورة. كلما ارتفعت درجة البلورية يؤدي الى عدم تبعثر الضوء .

عندما ترتفع نسب الاستخراج فوق الـ 75% تقريباً تظهر علاقة خطية مباشرة قوية بين استخراج الدقيق وتدهور إداء خبيز الدقيق الأبيض. ولذلك من غير المدهش أن الـ DIA امتكلت معظم التطبيقات التجارية الهامة في قياس نقاء الدقيق بما أن قدرتها على الحكم بشكل موضوعي على الاستخراج مقابل النوعية يمكن أن تقاس بشكل مباشر بتعبير مالي. حديثاً أنظمة الـ DIA لتقدير نقاء الدقيق متوفرة بشكل تجاري وتستعمل إما على خط الانتاج او خارجه. وصف نظام الـ DIA على الرغم من أنه استعمل ضمن المخبر إلا انه صمم للعمل على الخط، لجمع عينة دقيق من تدفق المطحنة وبعد عرضها لكاميرا CCD يتم تحليل الصورة لقياس نقاء الدقيق. تكتشف بقع النخالة كمناطق أعمق (مستوى رمادي أقل) متباين عن لون الدقيق الخلفي الأفتح. يمكن أن تحسب المساحة الكلية للبقع وقد أثبتت علاقة عكسية قوية بين متغير الدقيق هذا وحجم الرغيف الناتج. عُمل على ميزة إضافية أخرى

وأظهر حساسيتها في الكشف عن محتوى النخالة في تيارات المطحنة، أنشأ منحنيات بقع النخالة التراكمية مشابهة إلى منحنيات الرماد التراكمي عند تحليل تيارات الدقيق المنتج من 4 مواسم أوروبية. وبالنتيجة انتقلت هذه التكنولوجيا إلى وسيلة تجارية على الخط.

الإستراتيجية البديلة لقياس الانخفاض في مستوى الرمادية لقياس نقاوة الدقيق هي إثارة المكونات الفلوروسانسية (اللامعة بسبب الاستشعاع) الموجودة بتراكيز أعلى في أنسجة الـ Pericap وطبقة الأليرون. استخدم مرشحات (Fillters) ذات ضوء موجة خاص يسمح بتحديد كمية تلوث الدقيق إما بالأليرون أو بالـ Percicarp بشكل منفصل. ترتبط هذه التقنية بشكل جيد مع قياسات أخرى لنقاوة الدقيق ولكن كما وجد أن الفروقات في نسبة الرماد أو لون الدقيق لا تعزا دائماً إلى التغيرات في نقاوة الدقيق كما هو مقاس بالـ DIA.

يعتبر عدد البقع أيضاً ميزات تجارية هامة لطحاني قمح الديوريوم ولكن بهذه الحالة فإنها تقاس بالسميد. استخدم جهاز تجريبي مشابه لذلك الموصوف سابقاً لتحديد عدد البقع في حبات مضغوطة للسميد. القدرة على تحديد اعتبارات للون الرمادي في نظام رؤية حاسوبي سمحت لتمييز البقع بسبب الملوثات الغريبة مثل الأرغوت والتراب عن تلك البقع الناتجة عن التلوث بالنخالة. تحديد البقع الناتجة من مصادر ناشئة عن قسم الغريلة او من قسم الطحن مفيدة بشكل واضح للطحان للتحديد السريع لسبب الخسارة في نوعية الدقيق المثلى.

في دراسة استخدمت نسخة اصدار تجارية لعداد بقع النخالة في السميد من أجل تحليل نقاوة الدقيق فقد وجد أن العلاقة بين عدد البقع المحددة بواسطة الـ DIA والرماد أفضل من تلك بين الرماد ودرجة اللون المقاسة بواسطة مقياس اللون التقليدي. وقد نسبوا دقة تقنية الـ DIA الأفضل إلى المقدر على تقسيم الصورة إلى بكسلات بحيث أن أحجام النخالة يمكن أن تقاس وليس فقط عد بقع النخالة.

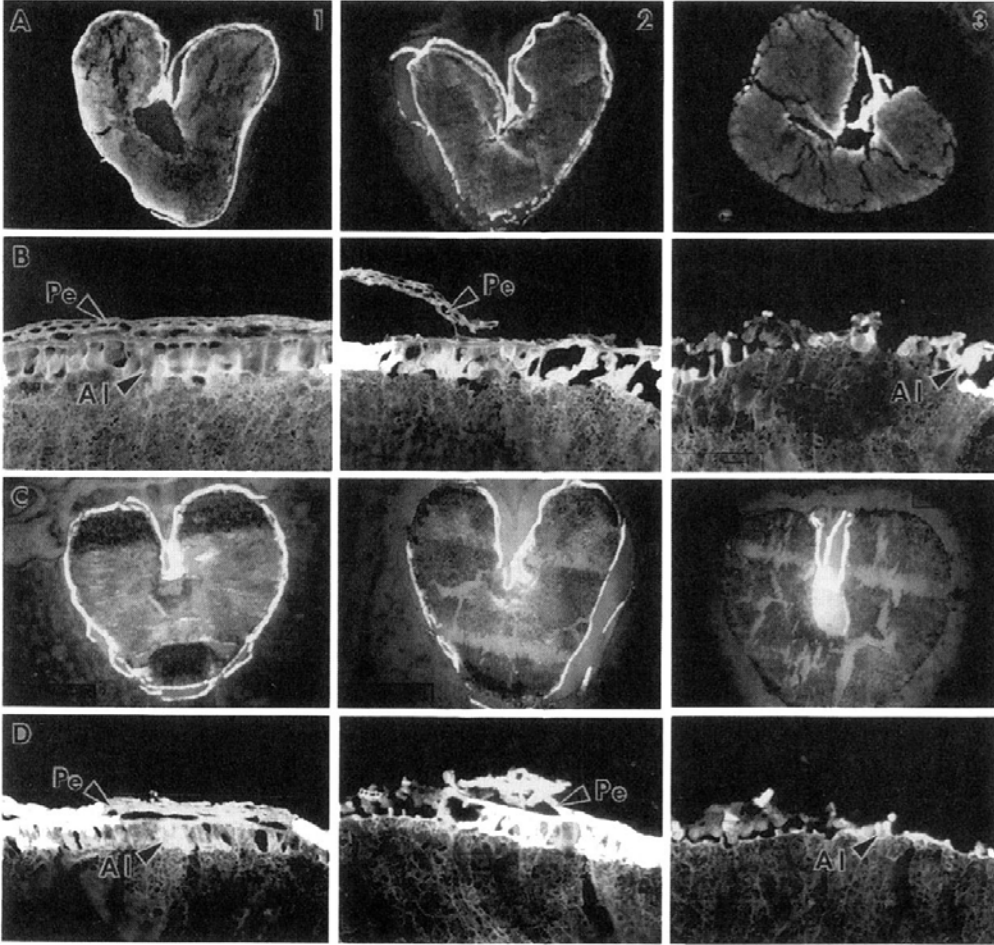
إذا وظف الـ DIA في نقاط أخرى في المطحنة فإنه يتوقع أن يساعد بتوازن تدفق المطحنة عن طريق وصف نقاوة وحجوم حبيبات التيارات الناتجة عن مرحلة طحن محددة. انعكاس هذه المعلومة على آلية ضبط المسافة بين الاسطوانات يمكن من ان تعابير شروط الطحن بشكل مناسب. على الرغم أنه من الممكن استخدام الـ DIA لقياس حجم الجزيئات والشكل بدقة لكن كان من المسلم به أن الطحان المجرب يقرر المسافة الصحيحة بين الاسطوانات ليس فقط بتقدير حجم الجزيئة ولكن بواسطة التقدير البصري الكلي ولذلك عملية أخذ القرار

يمكن أن تعطى لنظام بصري مؤتمت. للتحقق من هذا تم تثبيت نظام أخذ العينات، موصول مع نظام رؤية، بعد اسطوانات الكسرة الأولى. دُرس فعالية 3 تقنيات معالجة للصور من أجل تصنيف صحيح بين لصور التيارات تبعاً للمسافة بين الاسطوانات المستخدمة في إنتاجهم. استخدام التصوير في مجل الأشعة القريبة من الأشعة تحت الحمراء له فائدة واضحة لكونها قادرة على تمييز البروتين من النشاء وهي مستحيلة في الطيف المرئي. يمكن ضبط نسبة تعميم نواتج اسطوانة الكسرات بحسب درجة بروتين الأندوسيرم الخارجي للمنتج المتبقي فوق المنخل.

استعمل تحليل الصورة في عمليات الطحن الأقل تقليدية بنجاح ليدل إلى درجة إزالة الطبقات المتتابة بنجاح من القمح بعملية الفك (الشكل 2). تسمح الـ DIA بقياس كمية الأليرون والد Pericarp في الأجزاء المنتجة بواسطة تقنية المعاملة المسبقة (التقشير الشديد) في كلاً من صناعة الخبز و قمح الديوريوم. النجاح في إزالة الأجزاء المرغوب بإزالتها قد إظهر بواسطة الـ DIA. لوحظ نقصان في لمعان الـ Pericarp وزيادة في لمعان الأليرون مع الإزالة المتتابة لأجزاء من خارج الحبة باتجاه داخلها. ولذلك سوف توجد إمكانية ضبط الـ DIA الأوتوماتيكي لعملية التقشير لاغناء الأجزاء الامثل. لا يبدو تصوير اللمعان أساسي في ضبط الـ DIA لعمليات كهذه، وبما ان الأجزاء المختلفة لنخالة القمح تظهر صور بمستوى رمادية مختلف، فهي تظهر أفتح مع منتجات النخالة مع الأجزاء الأقرب إلى الأندوسيرم.

### جودة (نوعية) الدقيق

بالإضافة إلى قياسات نقاوة الدقيق المناقشة سابقاً، فإن تحليل الصورة يمكن أن يستخدم لقياس خصائص أخرى لنوعية الدقيق. يعتقد بأن توزع حجم حبيبات النشاء هام لخصائص الاستخدام النهائي وخاصة النودلز. لذلك درست العلاقة بين حجم الحبيبات المحددة بواسطة الـ DIA وخصائص تدبق النشاء والعجن. وصفت استراتيجية تحليل الـ DIA السريعة لتوزع حجم حبيبات النشاء، وقورنت توزعات حجم الجزيئات المحددة بواسطة الـ DIA مع تقنيات أخرى لقياس الحجم. بما أن تهتك نشاء الدقيق له دلالة واضحة للخباز فإن واحدة من التطبيقات التجارية الأقدم لـ DIA في صناعة الطحن كانت قياس امتصاص الصبغة في عينات الدقيق. إن نسبة حبيبات النشاء التي تمتص الصبغة كجزء من المساحة الكلية لحبيبات النشاء في الصورة تستخدم لتحديد حجم تهتك النشاء للعينة.



الشكل 1: استخدم تقنية تحليل الصور في دراسة تأثير عملية التقشير.

### جودة الخبز

بشكل نموذجي الدقيق الذي يحصل عليه الخباز من المطحنة يستخدم في تصنيع منتجات لها مظاهر معقد تقريباً من الداخل والخارج مثال : كروسان - فطائر - الكعك - أرغفة - بيتي فور.. الخ. إن حلول الـ DIA التي تضمن مخصائص دقيق المثالية في المطحنة عادة تكون مختلفة عن متطلبات المخبز، حيث تظهر اعتبارات نوعية مختلفة، وحيث تنتوع تقنيات تقييم النوعية بشكل يعتمد على المنتج المخبوز. الهدف المثالي لنظام التحليل البصري على الخط للمنتجات المخبوزة هو اختبار كل منتج وهذا يتطلب ان تكون أنظمة الـ DIA ليست فقط دقيقة إنما يحافظ باستمرار على الدقة في سرعات عالية. بغض النظر عن مثل هذه

التحديات، فإن الـ DIA أثبتت قدرتها على أن تستعمل على الخط on line للكثير من استعمالات المخابز، وأيضاً تستعمل في المخبر off-line في بيئة الأبحاث لاختبار التأثير تغير المكونات وعوامل الإنتاج على نوعية المنتج.

### عمليات الخبز

إن درجة تطور العجين خلال المزج تعتبر حرجة بخصوص الجودة النهائية لمعظم المنتجات المخبوزة. دُرس تحليل الصورة بفحص دقيق لصورة مجهرية الكترونية للعجين لتقدير كمي لتطور البنيات (التركيبات) المشابهة للشبكة ضمن العجين. القيم الأقل أهمية إحصائياً الناتجة من الصور (قيمة بنية البروتين) قد قيست للعجائن المميّه (مضاف لها ماء) وغير متطورة وقد استنتج أن مدى تشوه العجين يعتبر مهم لتشكيل شبكة البروتين في العجين. تحدث ظاهرة هامة خلال العجن هي احتجاز الهواء. باستخدام تقنية الـ DIA تم قياس توزيع حجم خلايا الغاز بأقسام (شرائح) العجين الممزوج، حيث أن توزيعات حجم خلايا الغاز في العجين تحدد بشكل فعال البنية الظاهرة في لب الخبز الناتج. كان الهدف في هذه الدراسات هو الحصول على فهم كمي وموثوق على كيفية تأثير المكونات وشروط العجين على التغيرات في توزيعات حجم الفقاعات (المسامات).

تشريح العجين لقياس تطور وعدم تجانس وتماسك الخلايا الغازية خلال الاستراحة النهائية غير مرئي بسبب هشاشة العجين. تبين أن استعمال تقنيات الصورة المخصص بشكل طبيعي لأهداف تشخيص إنسانية سمح بمراقبة نمو خلايا الغاز خلال الاستراحة النهائية على الرغم أن الدقة فقط 1مم. اختلافات الكثافة التي سمحت لتقنية الـ x-ray tomography بتحديد مكان تمدد خلايا الغاز سهلت أيضاً رؤية تأثيرات استمرارية الرق خلال تمدد الرغيف.

يفضل في عجائن خبز الشليم معرفة عدد جدر الخلايا لكي نتنبأ بخصائص التعامل مع العجين وتقدير بنية الخبز وزمن التخزين. ولذلك فإن قياس الـ DIA للتوهج من جدران الخلايا في الأجزاء الثابتة والمصبوغة استعمل كأداة بحث لكي يقيس محتوى جدر الخلايا. وجد الباحثون أن حجم حقل الرؤية كان متغير حرج يؤثر على دقة التقنية ولتحديد ذلك استخدم التداخل الحاصل بين كمية مادة جدار الخلية بالعجين وحجم العينة المستخدم. تم قياس حجم خلايا الغاز في عجائن الشليم أيضاً بواسطة الـ DIA، فقد وجد اختلاف جوهري عن خلايا عجائن دقيق القمح وتعزاً هذه الحقيقة إلى الافتقار بخواص التماسك للطور السائل.

إن مراقبة حجوم خلايا الغاز وتمدها خلال الإنتاج في المنتجات المخبوزة الأخرى مثل البتي فور Cookies ليس هام للجودة كما هو في الخبز. وعضواً عن ذلك فيجب مراقبة شكل وحجم المنتج النهائي، وهذا يمكن أن يتطلب تحاليل كمية لشكل وحجم قطع العجين التي تشكل المنتج النهائي. أُعطي وصف جيد لتقييم النوعية لـ Cookies المكونة من غطاء شوكولا وطبقات مربى متوضعة على كاتو اسفنجي مدور بواسطة الـ DIA. وقد نوقشت إيجابيات وسلبيات فحص الـ DIA المتعدد النقاط مقارنة مع الوحيدة لخط إنتاج الـ Cookies، المشكلة هي الموازنة بين تكلفة التجهيزات (أجهزة - مكونات الحاسب) المتزايدة بالمقابل مع التكلفة الضائعة (تكلفة الفساد - تخريب) المتزايدة، وهذا يعني في الفحص وحيد النقطة يوجد خسارة المربى والشوكولا المطبقة على الكاتو الأسفنجي والتي طبيعتها المعابة ستكتشف بمرحلة أبكر في معاينة الـ DIA متعدد النقاط.

التغيرات التي تحدث في المظهر الخارجي و/أو الشكل المورفولوجي خلال الخبز يمكن أن يكون لها تأثير حرج على جودة المنتج النهائي. يمكن ان تكون جودة المنتج مثلى إذا أُجري تحكم بشروط تشغيل الفرن بتغذية راجعة من نظام بصري. على سبيل المثال: في شواء الخبز إن تطور شكل رغيف أمثل وحجم رغيف ولون القشرة تعتبر ثلاث خصائص هامة يمكن أن تحلل كل منها بواسطة تقنية الـ DIA. أو يمكن بشكل بديل أن يتم فحص المنتجات الخارجة من الفرن بشكل متناوب مع إزالة المنتج المعاب، لكونها لم تحقق شكل المنتج المطلوب، او لعدم تحقيقها المستوى المناسب من الأداء. خوارزمية تحديد الأشكال المعابة ربما يمكن أن تكون معقدة عندما تصنع أشكال جديدة من البيتي فور أو Snacks و Crackers. هذه القياسات هي بشكل رئيسي من أجل أهداف الجودة ولكن أيضاً يمكن أن تخدم هدف ثاني وهو التأكيد على أن المنتجات التي لا تتمتع بحجوم المواصفة (القياسية) لا تسبب تعطل التجهيزات عند تغليف المنتج. صور في للأشعة في المجال غير المرئي للطيف الكهرومغناطيسي أو صور أشعة X يمكن أن تفحص مسألة الجودة لداخل المنتج.

تماماً كما أن صورة الـ NMR يمكن أن تستعمل لقياس دخول الماء إلى داخل حبة القمح خلال الترطيب فإنه أيضاً يمكن أن تستعمل لتعقب خروج الرطوبة من المنتج النهائي خلال الخبز. إن تكاليف الطاقة العالية المترافقة مع الخبز تجعل اندماج تقنيات تصوير NMR المعقدة والعالية الثمن هو نتيجة محتملة، ولكن يبقى قيد النظر فيما إذا كان التوفير واضح

من خلال تخفيض كمية عيوب الإنتاج كفحص البيتي فور ببيزر نظام الصورة. تم توضيح استخدام تصوير NMR للتوزع المكاني للرطوبة لشواء رقائق القمح (حبوب الإفطار) والبسكويت. على كل حال لوحظ أن الشواء هو عملية انتقال حرارة وكتلة معقدة لذا إن تصوير NMR لعملية الشواء مملوء بالصعوبات. تبين أيضاً أنه يمكن اكتشاف تشكل الفراغات خلال الشواء ولكن تطورها يمكن أن يؤثر على قدرة تصوير NMR لتحديد محتوى الرطوبة بدقة.

### جودة المنتج النهائي

سطوح ووجود البقع الغامقة في صفائح الشعيرية Noodles هي متغيرات المظهر الخارجي الأساسية لتقييم جودة الـ Noodles. لذلك تحليل الصورة يمكن أن يخدم وظيفة لا نجدها في مقاييس اللون التقليدية، حيث أنه لا يقيس الإضاءة الكلية فقط ولكن يقيس أيضاً الإضاءة المرتبطة مع المناطق الخاصة. أُجري عدد من الدراسات لاختبار قياس الـ DIA لتأثير عوامل نقاوة الدقيق ونوعية القمح المختلفة على المظهر الخارجي للنودلز وخاصة التأثير الكبير على نوعية النودلز من البقع الغامقة الناشئة من بقع النخالة. تحديد المستوى الرمادي لتمييز البقع في صفائح النودلز عن الخلفية الفاتحة وتحديد أصغر قياس للبقع يمكن كشفه غيرت بشكل رئيسي عدد البقع المكتشفة. وهذا يدعم الاعتقاد بأن إجراءات التحديد عتبة موضوعية يجب ان تطبق في تحاليل نظام الرؤية اذا اردنا الحصول على ارقام دقيقة لضمان الجودة. يملك ايضاً تحليل الصورة إمكانية قياس تأثير المعاملات التكنولوجية كما في النودلز وتأثير الإضافات على درجة غمافة بقع النخالة (توزع مستويات اللون الرمادي في البقع).

تقنيات مشابهة (التي تستخدم التباين في مستوى الرمادي الناشئة في مواقع مختلفة على سطح المنتج) استخدمت لكشف وتحديد كمي لتوزع رقائق الشوكولا والزبيب في الـ Cookies وقد ارتبط هذا العامل بعلاقة مع درجة قبول المستهلك للمنتج.

في دراسات لتركيبة لبابة الخبز الأبيض كان التأكيد على تقييم التباين في مستوى اللون الرمادي من أجل التحري عن بقع النخالة في المنتج النهائي ولكن من أجل الفحص الكمي لتركيبة الفقاعات الغازية، لأن اللبابة تشكل جزء كبير من جودة الرغيف الكلي. يمتلك الـ DIA فوائد كثيرة لتقييم نوعية المنتج النهائي للمنتجات المخبوزة، نوقش الكثير منها. لقد توسع فيما بعد في الإجراءات الضرورية للحصول على قياسات بنيوية موضوعية للبابا الخبز الأبيض. طريقتين رئيسيتين تم إنجازهما لفحص التركيبي البنيوي للخبز بصرياً، تحليل

التركيب بصرياً لصورة اللبابة، أو تجزيء الصور لخلايا غازية وجدار خلايا اللبابة ثم بقياس أحجام وأشكال وتوزيع للطورين. بغض النظر عن خوارزمية معاملة الصورة المستخدمة فإن الـ DIA ظهرت بأنها حساسة بشكل كافي لتقييم الجودة في خبز القالب الأبيض، ويمكنها تحديد الاختلافات في ملامح الصورة التي تنشأ من مصدر القمح، وأيضاً من استخدام المكونات مثل المستحلبات وعوامل الأكسدة، وأيضاً من تأثير شروط عملية الإنتاج المختلفة مثل زمن المزج وزمن الاستراحة النهائية. وبشكل بديل يمكن أن تستخدم الـ DIA للتنبؤ بقبول المستهلك (و/ أو الخباز) للخبز اعتماداً على القياس الموضوعي لبنية خلايا اللبابة. استخدام الـ DIA في التقييم المؤتمت لللبابة الكاتو كان موضوع دراسة تأثير كلورة الدقيق.

بسبب توقع علامة سببية بين التركيب البصري لللبابة الخبز والتركيب الميكانيكي لللبابة فقد أنجزت دراسات لربط المتغيرات المستخرجة من صور رقمية لبنية اللبابة مع الخصائص الفيزيائية والميكانيكية الخاصة لللبابة.

بنفس الطريقة التي يقيس بها الـ DIA غماقة الصور ضمن مناطق خاصة لصورة صفيحة النوديلز يمكن أن يستخدم هذه الإمكانيات لتحديد مكان القشرة في صور الشريحة الكلية وتحديد كثافتها (قتامتها). يمكن ربط هذه الخاصية بدرجة انجاز المنتج والذي يعتبر متغير الجودة الأساسي للمنتجات المخبوزة. يمكن أيضاً تحديد سماكة القشرة من نفس الصورة.

كما في التقدير الكمي للبنية البصرية لخبز القالب ذي البنية الناعمة فإن الـ DIA استخدم لتحديد تركيب الفراغات الغازية للمنتجات المخبوزة ذات بنية مسامات كبيرة مثل الخبز الفرنسي والكرواسان والخبز المسطح و Puff pastry (عجين بشكل طبقات).

وأنجزت دراسات أخرى لفحص جودة المعكرونة المطبوخة. بواسطة الـ DIA. أنجز تحليل صورة البنية على صورة قد تم الحصول عليها بواسطة المسح المجهرى الليزري ( Confocal laser scanning microscopy). اكتشفوا أن بنية شبكة البروتين قد اختلفت بشكل قوي مع مكانها في المعكرونة، ومكان أخذ الصورة. دراسة صورة NMR في إعادة إمامة المعكرونة خلال الطبخ استخدمت لدراسة تأثير مصدر القمح على جودة المعكرونة، حيث قدر انتشار الماء إلى داخل المعكرونة. التقنية نفسها مترافقة مع اختبار ميكانيكي توضح بأن انتشار الماء كان مسؤولاً عن خسارة في البنية في معكرونة اللازانا مع زيادة زمن الاحتجاز. استعمل



أيضاً الـ IA ليُشخص تفتت المعكرونة خلال المضغ حيث أن حجم اللقمة لديه دلالات على كمية المواد المغذية من قبل المستهلك.

### الخلاصة (النتيجة)

أثبت الـ IA نفسها كتقنية مفيدة لضمان الجودة في الكثير من النقاط على طول الإنتاج بشكل متسلسل من فحص الحبوب إلى الطحن ومن تنقية الطحن إلى تخمير العجين ومن عملية الخبيز إلى معاينة المنتج النهائي. استعملت كمساعد لتحديد حبوب القمح ذات الأداء الجيد في الخبيز وقد وظفت ضمن المطحنة والمخبز كوسيلة معاينة على الخط لأهداف ضمان الجودة في الإنتاج السريع. واستعملت أيضاً كأداة بحث لاكتشاف نوعية المنتجات المخبوزة الناشئة عن تغيرات شروط العملية والمكونات. مسائل التحديد الموضوعي لمتغيرات التصوير ما تزال قيد البحث في عدد من المخابر. توظيف تقنيات التصوير التي تعمل خارج المجال المرئي للطيف الكهرومغناطيسي أضاف استطاعات أخرى لفهم تطوير نوعية المنتج خلال عمليات الإنتاج، وبشكل خاص خلال استخدام تقنيات لا تختص بالـ Tomograph. إنه من المؤكد أن دور الـ DIA في السلسلة من القمح إلى المنتجات المخبوزة سيستمر في التزايد في الـ 15 سنة القادمة بالتأكيد كما حصل في الماضي.

## المصطلحات الانكليزية

A	
Alogrithm	خوارزمية
Approach	طريقة
Array	مصفوفة
Average brightness	متوسط اللمعان
Average value	قيمة وسطى/متوسط
Averaging	توسيط
B	
Bimodal histogram	هستوغرام ثنائي النمط
Bit	بت
Brightness	لمعان
Brightness adaptation	تكيف مع اللمعان
Brightness discrimination	تمييز اللمعان
Brightness level	سوية اللمعان
Byte	بايت (ثمانية بتات)
C	
Camera	كميرا
Camera calibration	معايرة الكاميرا
Chromaticity	لونية
Chromaticity diagram	مخطط اللونية
Code	ترميز
Coefficient	معامل
Color	لون
Color enhancement	تحسين اللون
Color fundamental	أساسيات الألوان
Color saturation	تشبع الألوان
Color spectrum	طيف الألوان

Cumulative distribution function		دالة التوزيع التراكمي
Cones		مخاريط
Contour		كفاف
Contour point		نقطة كفاف
Contrast		تباين
Coordinates		احداثيات
	D	
Density		كثافة
Depth		عمق
Device		جهاز
Diameter		قطر
Digital		رقمي
Digital image		صورة رقمية
Digitization		رقمنة
Domain		مجال
Dynamic		ديناميكي
	E	
Edge		حافة
Edge detection		كشف الحواف
Edge pixel		عنصر حافة
Emphasis		تأكيد/ تشديد
Encoding		ترميز
Enhancement		تحسين
Entropy		انتروبيا
Equalization		تسوية
Eye		عين
	F	
Feature		خاصة

Feature extraction		استخلاص الخواص
Filter		مرشاح
Formation		تشكل
Frame		إطار
Frequency		تردد
	G	
Gamma		غامما
Gamut		نطاق، تدرّيج لوني
Gaussian		غوصي
Geometric		هندسي
Global		اجمالي
Gradient		تدرّج
Graph		رسم بياني
Gray		رمادي
Gray scale		سلم رمادي
Grid		شبكة
Growing		توسعة/تتمية
	H	
Histogram		هيستوغرام
Hole		ثقب
Homogeneity		تجانس
Homogeneous		متجانس
Hue		لون (نقبة)
	I	
Illumination		إنارة
Image		صورة
Integral		تكامل
Interactive		تفاعلي

Interference		تداخل
Interpolation		استمداد
Interval		فترة/مدة
Inverse		عكسي
	K	
Kernel		نواة
	L	
Least squares		تربيعات صغرى
Lens		عدسة
Line		خط
Linear		خطي
Local		موضعي
Logarithm		لوغاريتم
Logical		منطقي
	M	
Matrix		مصفوفة
Mean		متوسط
Median		وسط
Minimum		أدنى
Minor		ثانوي
Modification		تعديل
Monochrome		أحادي اللون
Morphological		مورفولوجي
Multilevel		متعدد السويات
Multivariable		متعدد المتحولات
	N	
Neighbor		جار
Noise		ضجيج

One dimensional	أحادي البعد
Operator	عامل مؤثر
Optical	بصري/ضوئي
Optimal	أمثل
Oriented	موجّه

P

Parameter	معلمة
Path	ممر / مسار
Pattern	نمط
Pattern recognition	تعرف على الأنماط
Perception	إدراك
Perimeter	محيط
Picture	صورة
Picture element	عنصر صورة
Pixel	عنصر صورة
Point	نقطة
Position	موضع
Prediction	تنبؤ
Principal component	مركبة رئيسة
Probability	إحتمال
Probability density function	دالة كثافة الاحتمال
Probability of error	احتمال الخطأ
Production	إنتاج
Property	خاصة

R

Ranking	ترتيب
---------	-------

Reflectance	إنعكاسية
Region	منطقة
Relationship	علاقة
Representation	تمثيل
Resolution	ميز
Rods	عصيات

## S

Saturation	تشبع
Scaling	تغيير المقياس
Scroll	حركة شاقولية
Segmentation	تجزئ
Sensitivity	حساسية
Sequency	تتابع
Set	مجموعة
Setting	ضبط
Shape	شكل
Size	قياس / حجم
Spectral	طيفي
Spectrum	طيف
Standard deviation	انحراف معياري
Statistical	إحصائي
Stretching	تمديد
Structure	بنية

## T

Template	طبعة
Texture	تركيب
Thresholding	تعتيب

Topological		تركيب بنيوي / طبولوجيا
Trichromatic		ثلاثي الألوان
Tristimulus		حافز ثلاثي
	V	
Value		قيمة
Variance		تفاوت
Visible		مرئي
Visual		مرئي
	W	
White light		ضوء أبيض
Window		نافذة
	Z	
Zooming		تزويم (تقريب وتبعيد)



## المراجع

- ألفين، فرحان (2002) . التقانات الحديثة لقياس درجة لون المواد الغذائية وأهميتها في الصناعات الغذائية, قسم الهندسة الغذائية, كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية, جامعة البعث.
- ألفين، فرحان (2010)، تقييم طرائق قياس لون الدقيق، قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، جامعة البعث.
- الكاتب، مي (2010)، تحديد البقع الملونة في السميد باستخدام تقنية تحليل الصور، أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، جامعة البعث.

[1] Russ, J. C., 2005, Image Analysis of Food Microstructure, CRC Press,

[2] Sun, Da-Wen, 2008, Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation, Elsevier Science and Technology

[3] Scanlon, M. G. and Sapirstein, H.D. 2002, Digital Image Analysis for Quality Assurance in the Wheat-to-Bread Supply Chain, in: Perry K. W. Ng and Colin W. Wrigley, *Wheat Quality Elucidation*, AACC.

## أنظمة معالجة الصور

المراجع	
	مقدمة
	Type of Images أنواع الصور
	Image Acquisition استحصال الصور
1،	Digital Cameras الكاميرا الرقمية
1، 2	Scanners الماسح الضوئي
	File Formats تخزين الصور الرقمية
2	Illumination الاضاءة
1	<b>COLOR ADJUSTMENT</b> معايرة الالوان
1،	Color Space Coordinates تنسيقات فراغ اللون
1،	Color Channels قنوات اللون

## استخلاص الهدف من الصورة Image Segmentation Techniques

1، 2	Thresholding العتبة
1، 2	Automatic Threshold Settings Using the Histogram
1،	Automatic Thresholding Using the Image
1،	Other Thresholding Approaches
1،	Color Image Thresholding

قياسات الهدف Object Measurement

2	الحجم
2	الشكل
2	قياسات معتمد على الحجم
2	قياسات مستقلة عن الحجم