نظام وصف لونى بإستيحاء منحنى الحساسية الطيفية لمخاريط الألوان فى شبكية العين البشرية
A 3D Color Model Based on the Spectral Response Curves of Cone Cells of Human Retina

د/ مجدى محمد حامد غزل
مدرس بقسم الزخرفة- كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان
د/ طارق بهاء الدين حمد الله
أستاذ مساعد بقسم التصميم لجرافيكى- الكلية العلمية للتصميم- سلطنة عمان

ملخص البحث Abstract:
ظهرت العديد من أنظمة وصف اللون منذ العصور الإغريقية مرورا بدافنشى وجوته إلى أنظمة وصف اللون الحديثة والتى قامت على دراسات نيوتن وماكسويل للضوء مثل أنظمة شيفرولويونج ومنسل وغيرهم. وإنتهاء بأنظمة اللون (CIE xyz) و(CIE Lab) لمنظمة الألوان العالمية حاليا.
ومن خلال دراسة هذه الأنظمة ظهرت مشكلة البحث، حيث أن أنظمة وصف اللون إعتمدتفى بناءها على اللون كمظهر فزيائى فقط، مما أدى لوجود قصور فىتفسيرالعديد من الظواهر اللونية مثل ظاهرة البريق، وتزايد الإدراك البصرى لألوان ثانوية على حساب ألوان أساسية، وعلاقة اللون البنفسجى بالأحمر والأزرق فى الطيف المنظور.وبالتالى فإن هدف البحث هو إبتكار نظام وصف لونى ثلاثى الأبعاد يعتمد فى الأساس على منحنيات الحساسية الطيفية لمخاريط شبكية العين البشرية، بإعتبارها الأداة الفعلية لإدراك اللون وتمييزه.
ولتحقيق ذلك قام الباحثان بإستخدام المنهج الوصفىالتحليلى والمنهج التجريبى، ثم دراسة الظواهر اللونية التى عجزت أنظمة الألوان الأخرى عن تفسيرها، وذلك من خلال النموذج الثلاثى الأبعاد لمنحنيات الحساسية الطيفية لمخاريط العين البشرية، مثل إنتاج كافة الدرجات اللونية التى يمكن للعين البشرية تمييزها، وإيضاح أسباب تزايد الإدراك البصرى لألوان ثانوية على حساب ألوان أساسية حيث يختلف إتساع نطاق حساسية المخاريط لكل لون أساسى وليست بالتساوى، وأيضا تأكيد إستقلالية اللون البنفسجى كطول موجى مستقل، وأيضا تفسير ظاهرة التشبع والبريق فى الألوان المعدنية بالتشارك مع الرؤية الكروماتية للقضبان فى شبكية العين، وهى نتائج تؤكد فروض البحث. ويدفع إلى التوصية بالتوسع فى دراسة تأثير الإدراك البصرىفى علوم اللون وبخاصة تأثير الثوابت اللونية.

الكلمات الدالة Keywords:
نموذج لونى ثلاثى الأبعاد
3D Color Model
الحساسية الطيفية
Spectral Response
الخلايا المخروطية
Cone Cells
شبكية العين البشرية
Human Retina

Paper received 1st March 2016, Accepted 23rd March 2016,Published 1st of April 2016

مقدمة Introduction:

على الرغم مما يمثله اللون من أهمية قصوى فى حياة البشر حتى يكاد أن تحكم بالكثير فيها دون وعى منهم، فعلى سبيل المثال ذلك الأثر الذى يحدثه اللون الأحمر فى إشارة المرور على حركتنا، أو أثر لون الخضروات والفواكه فى قرار شرائها، أو كيفية تشخيص العديد من الأعراض المرضية تبعا للتغير اللونىفى التصوير الصبغالطبى ... إلى غير ذلك من قرارات واستنتاجات ومشاعر يكون للون أثر حاسم فى توجيهها.

إن اللون فى حياتنا ليس مجرد رفاهية للتمتع بالجمال اللونىفى البيئة المحيطة بنا أو تفضيلاتنا الشخصية للون على آخر، بل إن اللون هو إشارة للخطر والأمان، مدلول للجودة والفساد، عنوان للفخامة، مؤشر على وجود الأمراض، متحكم فى قرارات الجمهور الإستهلاكية، دافع لتقبل الطعام أو النفور منه، مثير للعواطف ومثبط لها، محفز للهمم وموجه للجموع.

ومع تطورات الحياة البشرية تطورت أهمية اللون وتطورت الحاجة لوصف اللون بشكل دقيق لا يحتمل اللبس أو الإختلاط ما بين لون وآخر. وقد أدرك المفكرون والمهتمون بالفنون هذه الحقيقة، فأخذوا على عاتقهم البحث فى الألوان وتحديد ظواهرها وأصولها، وكيفية وضع نظم لوصف اللون بما لا يحتمل اللبس، وبالتالى وضع أنماط للعلاقات اللونية. وذلك بهدف وصف وتسمية كل الدرجات اللونية التى تستطيع العين البشرية تمييزها والتى تصل إلى 16777312 درجة لونية (Wriggers, 2005, p. 82; Orna, 2013; Orna, 2013).

وهكذا تتابعت أنظمة وصف اللون من جيل من العلماء إلى آخر، يحاول كل منهم أن يعوض نقص سابقيه، ويجيب عن أسئلة أو ظواهر لونيه لم يستطع سابقيه أن يفسروها. بحيث أصبحت شروط إنتاج نظم الوصف اللونى تقوم على عناصر أساسية

١- أن يستطيع هذا النظام توصيف وإنتاج كافة الدرجات اللونية التى تستطيع العين البشرية تمييزها.
٢- أن يكون هناك تواصلية فى العلاقات اللونية بحيث تكون الإنتقالات اللونية تدريجية وغير حادة.
٣- تحديد الفروق فى الدرجات اللونية من خلال شدة الإستضاءة والبريق و التشبع اللونى.

وبناء عليه فقد تكالبت أنظمة الوصف اللونى على وضع القواعد للإجابة عن العديد من الظواهر التى عجزت عن تفسيرها، إلا أن هذا تم بمعزل دائما ودونما إعتبار للنظام البصرى البشرى وعلى رأسه العين، والتىهى أداة إستقبال الموجات وترجمتها إلى إشارات كهروكميائية تدرك وتفسر فى المخ فيما بعد على أنها ألوان.

فكيف يمكن إهمال أداة إستقبال الألوان وترجمتها فى الكائن الذى يقوم بإدعاء دراسة الألوان وتصنيفها، بينما العنصر الأساسى لعمليات الدراسة تلك مهمل ومغيب أثره تماما، وهو مايخالف كافة قواعد البحث العلمىالمنهجى الذى يؤكد على تثبيت كافة المتغيرات والعمل على دراسة متغير واحد فقط لتدقيق النتائج، وأيضا إستعمال أدوات قياس غير عيارية أو غير ذات صلة أساسا.

مشكلة البحث Statement of the Problem:

نتيجة لوجود العديد من أوجه القصور فى أنظمة وصف اللون حتى الحديثة منها خاصة فى تفسير ظاهرة البريق وعلاقة اللون البنفسجى بالأحمر والأزرق فى الطيف المنظور، ونتيجة لعدم وجود نظام وصف لونى يعتمد الحساسية الطيفية البشرية، والتىهى العضو المسئول عن إستقبال الموجات اللونية بالعين البشرية. فقد أصبح من الأهمية بمكان وجود نظام وصف لونى يعتمد منحنيات الحساسية الطيفية للمخاريط الموجودة فى شبكية

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

العين البشرية.

اهداف البحثObjectives:

يهدف هذا البحث إلى إبتكار نظام وصف لونى يعتمد منحنيات الحساسية الطيفية لمخاريط شبكية العين البشرية كأساس لبناء العلاقات اللونية وتصنيفها.

فروض البحثHypothesis:

- تؤثر منحنيات الحساسية الطيفية لمخاريط العين البشرية على إنتاج العلاقات اللونية.
- العلاقات اللونية هى نتيجة فعلية طبيعية لميكانيكية رؤية العين البشرية، وليست نتاجا لخلط المكونات الملونة الفزيائية.
- نموذج وصف اللون المبنى على الحساسية الطيفية لمخارط العين البشرية سوف يساعد فى تفسير الظواهر اللونية بشكل يتطابق مع آلية الرؤية فى العين البشرية.

منهج البحثMethodology:

ينهج البحث المنهج الوصفىالتحليلىفى دراسة تعريف اللون، وأنظمة إنتاج اللون، وأنظمة وصف اللون، وتطورها. كما ينهج المنهج التجريبىفى دراسة منحنيات الحساسية الطيفية لمخارط العين البشرية، وكيفية تمثيلها ومحاكاتها كنظام وصف لونى.

الاطارالنظرىTheoretical Framework

1 - تعريفاللونColor Definition:

ظل تعريف اللون محل جدل ربما حتى وقتنا الحاضر، وهذا بسبب إختلاف فرع العلم المرتبط به، فاللون عند الفزيائيين، غير اللون عند علماء التشريح، غير اللون عند الفنانين التشكيليين، غير اللون عند مصممى الجرافيك، أو الكميائيين ... وهكذا.

إلا أنه يمكن التعامل مع اللون كظاهرة فزيائية تدرك فيسيولوچيا وتؤثر سيكولوجيا (Holtzschue, 2011, p. 4)وبالتالى فإن اللون: هو ما نراه عندما تقوم الملونات بتعديل الضوء فيزيائيا بحيث تراه العين البشرية (تسمى عملية الاستجابة) ويترجم في الدماغ (تسمى عملية الإدراك).

فاللون هو عبارة عن أثر فسيولوجي ينتج فى شبكية العين البشرية، حيث يمكن للخلايا المخروطية القيام بتحليل ثلاثي للون المرئى، سواء كان هذا اللون ناتجاً عن مادة كميائية ملونة أوعن الألوان الضوئية(Haeberlit & P.U.P.A., 2012, p. 90).

حيث أن إرتباط اللون مع الأشياء في لغتنا، يظهر في عبارات مثل «هذا أحمر اللون»، هو ارتباط مضلل لأنه لا يمكن إنكار أن اللون هو إحساس غير موجود إلا فى الدماغ، أو الجهاز العصبى للكائنات الحية.

إن أشعة الضوء المرئى بالمعنى الدقيق للكلمة ليست ملونة إطلاقا، ولا يوجد في الأشعة الكهرومغناطيسية سوى طاقة محددة وقدرة على تحريض الشعور بهذا اللون أو ذاك، كما قال إسحاق نيوتن(Orna, 2013, p. 12). أما اللون الذي نبصره فى الأجسام المحيطة بنا فهو مجرد إدراك عقلى للإحساس الناتج فى عيوننا بالأشعة الكهرومغناطيسية التي تعكسها هذه الأجسام ،فحيثما تلقت الضوء تمتص أجزاء منه وتعكس الباقى، أى أن الألوان ليست من خواص الأجسام وإنما هي ترتبط بالضوء الساقط عليها كل الارتباط.

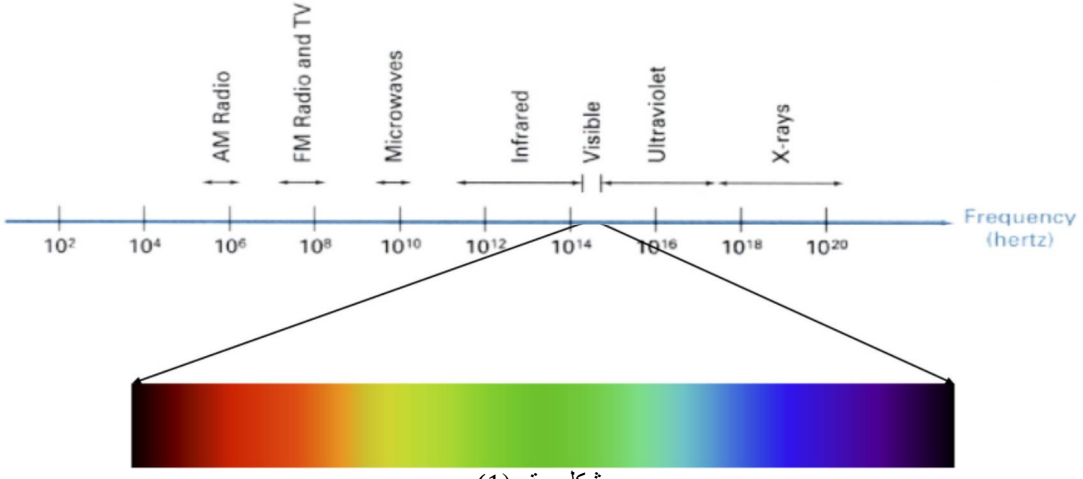
إن الإحساس اللوني يتأثر بمفهوم تاريخي طويل المدى وفق طبيعة وثقافة المشاهد، وأيضا مفهوم قصير المدى وهو الألوان المجاورة.

عامة يعرف اللون بأنه : تلك الإستثارةالتى تحدث فى مخاريط شبكية العين البشرية تبعا لإختلاف الأطوال الموجية من الطيف الكهرومغناطيسى الساقطة عليها.

وعلم اللون يسمى أحيانا لونيات ويتضمن المقدرة على الإدراك الحسي للون بالعين البشرية، وأصل الألوان في المواد، ونظرية اللون فى الفن وأيضا فيزياء اللون في الطيف الكهرومغناطيسى.

1 -1 - اللون فزيائيا :

يوصف الإشعاع الكهرمغناطيسى بطول موجته وشدته. وعندما يقع طول موجة هذا الإشعاع ضمن المنطقة المرئية من الطيف (تقريبا من 380 نانومتر إلى 740 نانومتر)، يطلق عليه بالطيف المرئى. حيث تستطيع العين البشرية أن تتحسس فتميز ألوان التي يكون طول موجتها بين (400-700) نانومتر، أما الأشعة التى يكون طول موجتها خارج هذا المجال فإنها تكون غير مرئية للعين البشرية(Homann, 2009, p. 18) كما فى شكل رقم (1).



شكل رقم (1)

تصدر معظم المصادر الضوئية أشعتها بأطوال موجية متنوعة، وطيف المصدر الضوئى هو عبارة عن توزيع لشدة هذا المصدر عند كل طول موجى. ومع أن طيف الضوء الواصل إلى العين من إتجاه ما يحدد الإحساس اللونى في ذلك الاتجاه، فإنه يوجد العديد من ظواهر الاندماج الطيفالتى تغير هذا الإحساس اللونى. وقد يعرّف أحدنا اللون على أنه كل مدى من الطيف الذي يزيد من الإحساس اللونى نفسه، مع أن هذا المدى الطيفى يمكن أن يتغير كثيرا بين الأجسام المختلفة، وبنحو أقل بين المراقبين المختلفين. وتسمى أعضاء كل مدى طيفي بمتلاونات (Cons) اللون المنظور.

إن سقوط الأشعة الضوئية على مادة ما فإن هذه المادة ستمتص أو تمرر جزء من هذا الشعاع الضوئي وتعكس ما تبقى

منه فإن كان طول هذا الشعاع المنعكس عنها يقع في المجال بين 400-700 نانومتر فإننا سوف نراها ملونة وإن اختلاف امتصاص مادة ما عن مادة أخرى هو قدرة الكتروناتها على التهيج والانتقال خلال مستويات طاقة عالية.

عند سقوط الضوء على مادة ما فإنها ستكتسب طاقة تبعا للقانون التالى:

$$hv = E$$

بحيث أن E : طاقة الموجة الكهرومغناطيسية

h : ثابت بلانك

V : التواتر ويساوى :

$$S/C - V$$

بحيث أن C : سرعة انتشار الضوء في الخلاء

S : طول موجة الشعاع الضوئى

إن هذه المادة ستتهيج الكتروناتها وتنتقل من مستوى طاقة E1 إلى مستوى طاقة أعلى E2 وسوف تمتص جزءاً من هذه الطاقة والمرافقة للتواتر Vوالذى سوف ينقص من الشعاع الضوئى الأبيض فإذا كان التواتر الممتص يكافئ الشعاع الأزرق مثلاً فسنرى هذه المادة باللون الأصفر

كذلك نحصل على اللونين الأبيض والأسود عندما يتم إما امتصاص كامل للأشعة المرئية (أسود) أو انعكاس كامل للأشعة المرئية (أبيض) وذلك عندما لا يوجد الكترونات قادرة على الإنتقال بمستويات طاقة أعلى فى المجال المرئى.

ومما سبق نجد أن هناك علاقة وثيقة بين لون المادة وتركيبها الكيميائى حيث أنأى مادة تظهر على أنها ملونة يجب أن يكون جزيئاتها مصحوبة بطاقة داخلية معينة من شأنها أن تمتص جزء من الأشعة الواردة عليها ويكون هذا الإمتصاصفمنطقة الطيف المرئى، وبالتالى فإن كل جزئ ملون يملك خاصية الصبغ يجب أن يتوافر فيه:

1 - وجود هيكل تركيبى معقد نوعاً ما مكون من أسس حلقية منسجمة أو مختلفة الذرات يطلق على هذا التركيب حامل الصبغ أوالكروموجينChromogen.بحيث أن الأسس الحلقية المذكورة هىفى الغالب حلقات البنزين أو النفتلين أو الأنتراسين، ويجب أن لا يكون لجميع هذه الأسس أى لون، بمعنى أنها تمتص الأشعة الضوئية في المنطقة غير المرئية مثل الأشعة فوق البنفسجية .

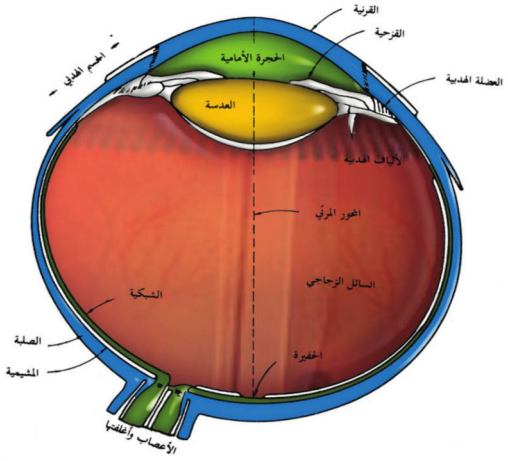
2 - وجود مجموعات كيميائية يعود لها التحكم في كمية الطاقة المصاحبة للجزئوبالتالىفى نوع ودرجة اللون وهذه المجموعات هى:

أ- مجموعات يعود لها وجود اللون ويطلق عليها مكون اللون أو الكروموفور Chromophore، وتكون عبارة عن مواد غير مشبعة ثنائية أو ثلاثية وأهمها:نترو ...، آزو... ، كربونيل... ، نتريل ....، نيترون...،كبريتوز

حيث تعمل هذه المجموعات على أن يصبح الجزئ مادة ملونة بوجود ذرة أو ذرتين غير مشبعتين (فيها روابط ثنائية) ينتج عنها الكترونات غير ثابتة وقابلة لإمتصاص الطاقة الضوئية لتصعد إلى مستويات الكترونية أعلى.

ب- وجود مجموعات تساعد على ظهور اللون وزيادته والتى تسمى بالاوكسوكروموAuxochrome أو مساعدات اللون، والتى تساعد على زيادة عمق اللون وظهوره وكثيرا ما تلعب دورا فى ربط وتثبيت المادة الصبغية مع الألياف عبر تفاعل كيميائى معها من أشهر هذه المجموعات هى:الهيدروكسيل ...، الأمينات...(Orna, 2013, p. 37)

وخلاصة ذلك أنه فزيائيا لا يوجد ما يوصف بأنه لون وإنما هى مجرد مجموعة من الأطوال الموجية من الطيف الكهرومغناطيسىإصطلح على تعريف جزء منها بإسم الضوء المرئى، بحيث تؤثر الأطوال الموجية فى هذا الحيز على الأجسام بإمتصاصوإنعكاس بعض منها، مما يؤثر فى الخلايا المخروطية (Cons) الموجودة فى شبكية العين البشرية لترسل إشارات عصبية مختلفة للمخ لإدراك اللون.



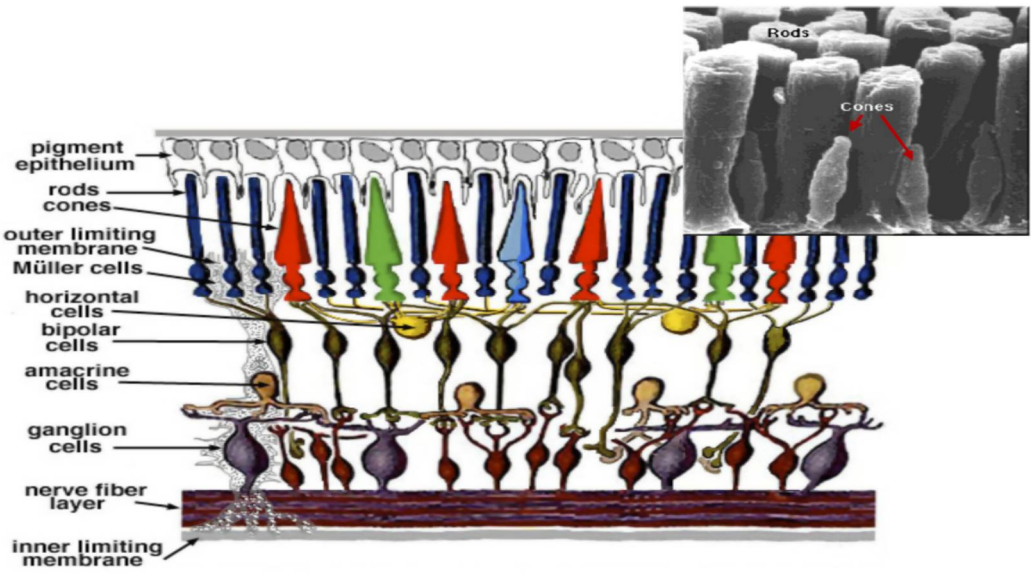
شكل رقم (2)

1 -2 - اللون فسيولوجيا

إذا كان اللون هو ظاهرة فزيائية فإنه يتم إدراكه فسيولوجيا وذلك عبر العين البشرية حيث يبدأ إستقبال الأشعة الضوئية بسقوطها على عدسة العين، التى تستقبل هذه الأشعة الضوئية وتقوم بتجميعها فى المستوى البؤرى ألا وهو سطح شبكية العين ثم تقوم الخلايا العصبية بنقل الإشارة عن طريق العصب البصرى إلى المخ الذى يترجم هذه الاشارات إلى الصورة، وتقوم عدسة العين البشرية بتكوين صورة حقيقية مقلوبة مصغرة للجسم على شبكية العين «Retina» والتى تحتوى على الخلايا العصبية «الأهداب» الحساسة للضوء، وتنقسم هذه الاهداب إلى نوعين هما المخاريط أو الخلايا المخروطية «Cones» والقضبان أو الخلايا العصوية «Rods»، وذلك كما فى شكل رقم (2).

وتتمركز المخاريط أو الخلايا المخروطية فى نقطة صغيرة على الشبكية هى المعروفة بالبقعة الصفراء «Fovea» وهى تقع فى مواجهة عدسة العين وهى مركز الرؤية الحادة، بينما تختلط الخلايا المخروطية والعصوية خارج البقعة الصفراء وتكون نسبة الخلايا العصوية قليلة جدا حول البقعة الصفراء وتزيد نسبتها كلما بعدت عنها، وبالعكس تزيد كثافة الخلايا المخروطية حول البقعة الصفراء وتقل كلما بعدت عنها, والخلايا المخروطية تعمل فى مستويات إلاضاءة العالية وهى المسؤلة عن تمييز الألوان، حيث توجد خلايا مخروطية تحس بالموجات الضوئية لموجات الضوء الأحمر والذى له طول موجى يتراوح حول 700 نانومتر (الخلايا المخروطية من هذا النوع يطلق عليها أحيانا خلايا الطول الموجى الطويل،أوخلايا مخروطية من نوع L أو الخلايا المخروطية الحمراء) وأخرى لموجات الضوء الأخضر والذى له طول موجى يتراوح حول 560 نانومتر (الخلايا المخروطية من هذا النوع يطلق عليها أحيانا خلايا الطول الموجى المتوسط, أوخلايا مخروطية من النوع M أو الخلايا المخروطية الخضراء) وأخرى لموجات الضوء الأزرق والذى له طول موجي يتراوح حول 420 نانومتر (الخلايا المخروطية من هذا النوع يطلق عليها أحيانا خلايا الطول الموجي القصير, أوخلايا مخروطية من نوع S أو الخلايا المخروطية الزقاء) (Backhaus, Kliegl, & Werner, 1998, p. 159).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل رقم (3)

ومنحنيات الإحساس للخلايا المخروطية تقريبا تشبه شكل الجرس وتتداخل إلى حد معقول، كما فى شكل رقم (3)، وعلى هذا فإن الإشارة الضوئية القادمة يتم تحليلها بالعين إلى ثلاث قيم, ويسمى ذلك أحيانا قيم الحفز الثلاثية وتمثل شدة الاستجابة لكل نوع من أنواع الخلايا المخروطية.

بسبب التداخل بين مدى الحساسية المختلفة للخلايا المخروطية, فإن بعض تداخلات الاستجابة للثلاث أنواع من الخلايا لا يمكن أن تحدث, بغض النظر عن نوع تحفيز الضوء. فمثلا لا يمكن تحفيز الخلايا متوسطة الطول الموجى الحساسة للضوء الأخضر» فقط, بل يتم تحفيز الخلايا المخروطية للأطياف الأخرى لدرجة ما في نفس الوقت, حتى لو تم استخدام ضوء له طول موجي واحد(متضمنا الطول الموجي الأقصى الذي يمكن أن تحس به أي من الخلايا). عامة إن مجموع كل قيم الحفز الثلاثية الممكنة تحدد الفراغ اللونى «ColorSpace» للعين البشرية. وقد تم حساب أن قدرة العين البشرية على تمييز الألوان تصل إلى «16 777 216» درجة لون مختلفة, وذلك على الرغم من صعوبة تعريف لون معين للغاية, حيث ان كل عين بل وفى نفس الشخص يمكن أن تستقبل اللون باختلاف بسيط.

أما الخلايا العصوية فهى تعمل فى مستويات الاضاءة المنخفضة وهى لا ترى الألوان مطلقا فهى تميز فقط بين الكثافات الرمادية فقط، لذا تفقد العين البشرية فى مستويات الاضاءة المنخفضة القدرة على تميز الالوان .

إذا فكل ما نراه هو مركب من تلك الألوان الثلاثة «RGB»، فحين نشاهد تلك الألوان الثلاثة معا وضمن مقادير متساوية نشاهد الضوء الأبيض، وكلما زاد مقدار الضوء كلما إشتدت إضاءته، وكلما إنخفض مقدار الضوء كلما إنخفضت شدته وزادت عتمته (Acharya U, Y. k. Ng, & S. Sur, 2008, pp. 8-9).

تلى هذه المرحلة مرحلة تفسير اللون فى المخ، فمع أن آلية رؤية اللون عند مستوى الشبكية قد فسرت جيدا بقيم الحفز الثلاثى، إلا أن الإحساس باللون وتمييزه بعد هذا المستوى الأساسي يكون منظما بطريقة مختلفة. النظرية الغالبة لرؤية اللون تفترض أن المعلومات اللونية تنتقل من العين بعملية ثلاثية متعاكسة، أو قنوات متعاكسة، كل منها ناتج عن الإشارة الصادرة عن الخلايا المخروطية وقد دعمت البيولوجيا العصبية هذه النظرية، وفسرت تركيب خبرة اللون عند الإنسان. إلا أن الطبيعة الدقيقة للإحساس اللونى (سيكولوچية اللون) بعد هذه العملية هى مسألة معقدة ومحط جدل فلسفي مستمر.

من ناحية أخرى فقد يعانى بعض الأشخاص من نقصان أو قلة حساسية نوع واحد أو أكثر من الخلايا المخروطية فى الشبكية، وهذا بدوره يؤدى بالشخص إلى عدم القدرة على تمييز بعض الألوان، وتحدث بعض أنواع العجز اللونى بسبب الشذوذ فى عدد أو طبيعة الخلايا المخروطية بالشبكية عن الظروف الطبيعية، وهناك أسباب أخرى كما فى حالة عمى الألوان المركزى أو القشرى قد تنتج بسبب الشذوذ العصبى في بعض أجزاء المخ المسؤولة عن عملية الرؤية.

1-3 - اللونسيكولوچيا

علم النفس اللونى (Color psychology) أوبعبارة أخرى الرمزية اللونية (Color symbolism) يشير إلى تأثير اللون على المشاعر والسلوك البشرى، حيث أن الألوان تؤثر على النفس البشرية فتثير فيها إنفعالات نفسية مرتبطة بأثر اللون من نواحى ثقافية وزمانية ومكانية بل وترتبط بالشخص الواحد ومنطقة الذاكرة الخاصة به فتثير فيه إنفعالات قد لا تكون مرتبطة باللون ذاته قدر إرتباطها بذكرى ما حزينة أو سعيدة ... إلى غير ذلك من الأحاسيس.

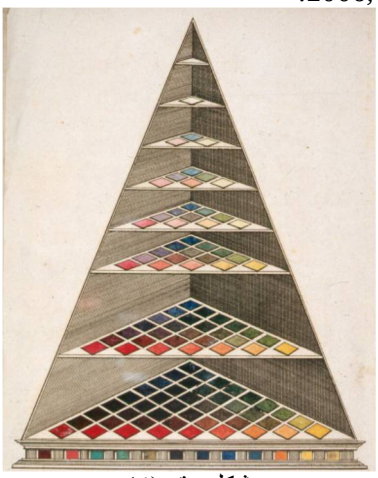
والإرتباطالسيكولوچى للألوان فى حالات عدة قد يخالف طبيعة اللون نفسه فى العديد من الحالات، ففى عام 1900 لاحظ فيزيائي ألماني يدعى ماكس بلانك Max Planck أن الجسم الأسود يعطى درجات لونية مختلفة عند تسخينه، فعند تسخين الحديد مثلا يأخذ في الاحمرار أولا، ثم باستمرار التسخين يصفر لونه، ثم باستمرار التسخين يتحول إلى الأزرق. درجة الحرارة اللونية Color temperatureهى مقياس لونى يحدد درجة اللون عبر قياس درجة الحرارة المئوية لجسم أسود أكمل مشع عند تسخينه ليصبح لونه مشابها لدرجة لونية ما ، مضافا إليها درجة حرارة الصفر المطلق (173-) درجة مئوية . لتكون هذه الأرقام مميزة بمقياس الكلفن KelvinDgreeهى درجة الحرارة اللونية لدرجة لون الضوء المشع من الجسم الأسود عند هذه الدرجة

وبذلك فإنه إذا كنا نصف اللون الأحمر بأنه لون ساخن، والأزرق بأنه لون بارد، فإنه على العكس من ذلك عند تفسير اللونعبر درجة الحرارة اللونية، حيث يكون الأحمر لون بارد من حيث درجة الحرارة اللونية، فإنه ينتج عند درجة حرارة منخفضة، بينما اللون الأزرق يعتبر الأكثر سخونة حيث أنه ينتج عند درجات الحرارة العالية. وبالتالى فإن الإحساس الحرارى للون قد

يخالف واقعه الحرارى فعليا.
كما أن الإرتباطالسيكولوچى للألوان قد يتغير بتغير الثقافات والأماكن، فيعطى اللون دلالة فى ثقافة أو بلد ما مغايرة تماما لمدلوله فى ثقافة أخرى ، على سبيل المثال، يستخدم اللون الأصفر للتعبير عن الزهاد الهندوس والبوذيون في الهند ، إلا أنه لون غير مستحب في ثقافة المسلمين، أما عند الإغريق فكان يمثل لون النار. أيضا نجد أن اللون الأبيض هو لون العرس و الزفافي المجتمعات الغربية، بينما هو لون الطقوس الجنائزية عند الصينيين.
هذا بالإضافة إلى تأثيرات بيولوجية للألوان تستخدم فى العلاج الطبى، فهناك مثلا دراسات تؤكد على أن اللون الأحمر على الأرجح ينتج نوبات صرع أكثر من اللون الأزرق. علاوة على ذلك، عند قياس ضغط الدم المرتفع و نبضات القلب فإن اللون الأحمر يكون فى هذه الحالة أكثر تأثيرا ثم الأبيض ثم الأزرق.
ويمكن تصنيف التأثيرات السيكولوچية للألوان إلى تأثيرات مباشرة و أخرى غير مباشرة. فالتأثيرات المباشرة تكون فى المظهر أو التكوين العام للألوان مثل المساحة والعمق والوزن الحسى, وأيضا التأثير الحرارى من حيث البرودة والسخونة. أما التأثيرات الغير مباشرة فهى تتغير تبعا للثقافات, ويرجع مصدرها للترابطات العاطفية و الانطباعات الموضوعية و غير الموضوعية المتولدة تلقائيا من تأثير اللون.فاللون البرتقالى مثلا يؤثر سيكولوچيا بالحرارة والدفء،و يمثل موضوعيا النار وغروب الشمس، التى منها هذه التأثيرات السيكولوجية المعبرة عن التأجج والاحتدام المشتعل. أما الأزرق الفاتحفيذكرنا بالسماء و البحر ويوحى لنا سيكولوچيا بالهدوء والسكينة (Feisner, 2006, p. 120).

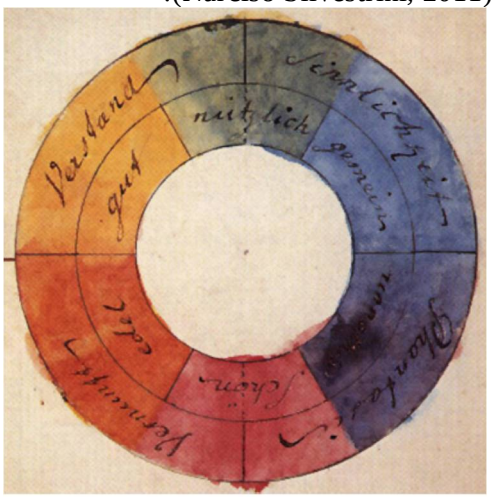
2 - تاريخ دراسة اللون Color Science History

كان هناك العديد من النظريات المبكرة لإبصار الألوان، حيث طور عدد كبير من المفكرين فى قديم الزمان نظريات حول طبيعة الألوان، ومنذ ذاك الزمن، أيدت التجارب العلمية بعض أفكارهم ودحضت أفكارًا أخرى.
فقد إعتقد فلاسفة الإغريق فى القرن الخامس قبل الميلاد أن إبصار الألوان يحدث بوساطة جسيمات صغيرة جدًا، تبعث بها الأجسام وتمر خلال العين. وظن أن العينين إما أن تُنتجا ردّ فعل لونيًا للجسيمات، أو تدركاها ملونة. ورأى الفيلسوف الإغريقى أفلاطون، فى القرن الرابع قبل الميلاد، أن إبصار الألوان يحدث بوساطة أشعة ترسل من العينين نحو الجسم.
ويحتمل أن يكون أرسطو (Aristotle) وهو فيلسوف إغريقي (322 - 348) ق.م هو أول من يدرك وجود علاقة بين اللون والضوء. ومع ذلك، فلقد اعتقد هو أيضًا أن اللون يحدث بواسطةكيان شفاف يوجد بين الجسم والعين. وحدد الألوان على الترتيب: (الأبيض، الأصفر، الأحمر، البنفسجى، الأخضر، الأزرق، الأسود)(Kuehni, 2012, p. 190).
وفى العصور الوسطى، توصل الفيزيائىالعربى أبو على الحسن بن الهيثم إلى حقيقة الرؤية، وأدرك أن الإبصار يحدث نتيجة انعكاس الضوء من الأجسام إلى أعيننا. وقرر أن هذا الضوء المنعكس يكوّن صورًا بصرية فى العينين. كما أدرك أبو الحسن أن الألوان التى نراها فى الأجسام تعتمد على الضوء الذى يسقط على هذه الأجسام، وعلى بعض خواص هذه الأجسام نفسها(Crone, 1999 , p. 42).
أما ما يعرف بمبادئ نظرية اللون، فقد ظهرت أول ما ظهرت فى كتابات ليون باتيستاألبيرتى (LeonBattistaAlberti) عام (1435)، وفى مفكرة ليوناردو دافنشى (LeonardodaVinci) فى الفترة (1452 - 1519)، والذى توصل فى عام 1510 إلى نظام خطى يتكون من ستة ألوان هى على الترتيب: (الأبيض، الأصفر، الأخضر، الأزرق، الأحمر، الأسود) (Feisner & Reed, Color Studies , 2014, p. 17).
إلا أن بداية نظرية اللون بشكل علمى بدأت فى عام 1671 على يد العالم الإنجليزى إسحق نيوتن (IsaacNewton)، حيث أثبت عمليا بإستخدام منشور زجاجى أن الضوء الأبيض مركب من كل ألوان قوس قزح (الأحمر، البرتقالى، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلى، البنفسجى)، ووجد أن طرفى النظام يمكن المزج بينهما على هيئة (أحمر - بنفسجى)، مما يجعل دائرة الألوان لهذه المجموعة ممكنة. وأدرك نيوتن أن الأشعة الضوئية ذاتها ليست ملونة ولكن الإحساس باللون ينتج فى الدماغ (Feisner, Colour: How to Use Colour in Art and Design , 2006, pp. 13-14).



شكل رقم (4)

وفى عام 1760 وضع الفزيائي الرياضىالفلكىالسويسرى يوهان هنريكلامبرت (JohannHeinrichLambert) أول نظام لونى ثلاثى الأبعاد ولذى يعرف بإسم هرم لامبرت كما فى شكل رقم (4)، وهو هرم ثلاثى الأضلاع مكون من سبع طبقات فوق بعضها، بحيث يقع الأسود فى منتصف القاعدة المثلثة، وفى الزوايا تقع الألوان (الأحمر، الأصفر، الأزرق)، وتقل كثافة الألوان تدريجيا صعودا إلى قمة الهرم حتى نصل إلى الأبيض(Narciso Silvestrini, 2011).

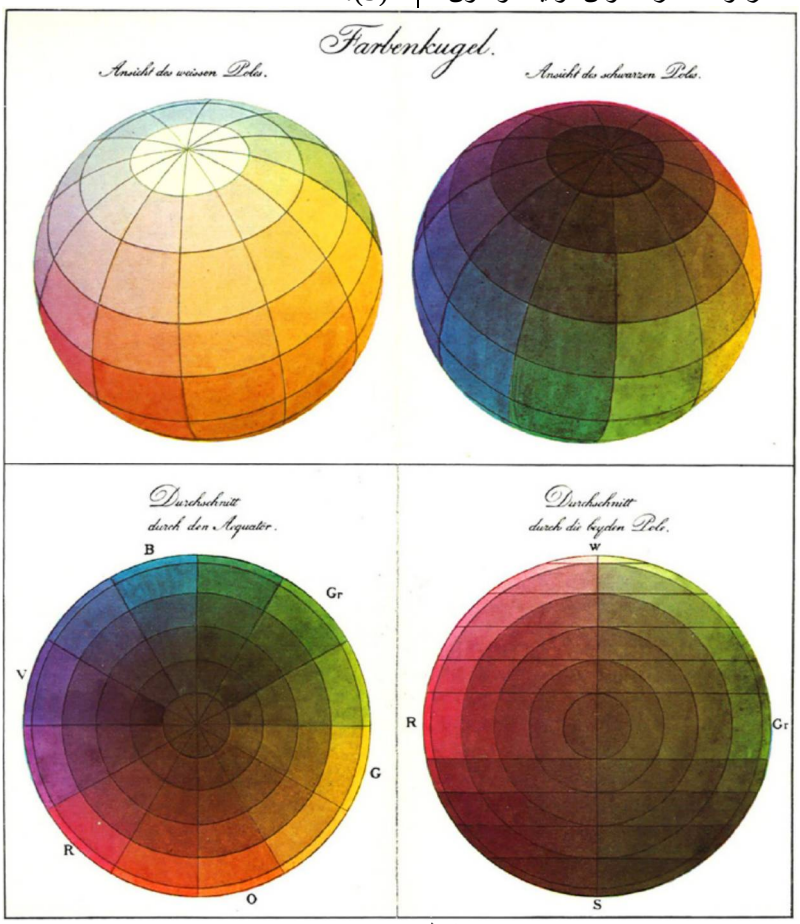


شكل رقم (5)

وفى عام 1810 أصدر الشاعر والمفكر الألمانى يوهان فولفغانج فون جوته (JohannWolfgangvonGoethe) كتابا بعنوان نظرية الألوان (Theory ofColors)،والذى قدم فيه دراسة للون من خلال نظرية المعرفة التى تقول: أن الأشياء لا تكتسب حقيقة وجودها إلا من خلال تفكيرنا، وبالتالى لم تكن الألوان من وجهة نظر جوته عملا فزيائيا، ولكن فهم اللون من خلال مايتركه من أثر فىالرائى، جاعلا منه ظاهرة بصرية شخصية،

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

مناقضا بذلك إكتشافات نيوتن ودراساته الفزيائية وكانت نظريته تتضمن اللون الأزرق و الأحمر والأصفر كألوان أولية، وتكون الألوان السيان والبنفسجوالبرتقالى ألوانا ثانوية كما فى شكل رقم (5).



شكل رقم (6)

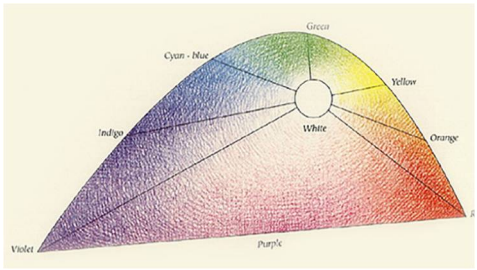
وفى عام 1810 إبتكر الرسام الألمانى فيليب أتو رونج (PhilippOttoRunge) ما يعرف بإسم كرة اللون (Colorsphere) كما فى شكل رقم (6)، حيث كان إهتمامرونج بالألوان نتيجة طبيعية لعمله كرسام،ومثل أقرانه كان يعتقد أن هناك ثلاثة ألوان فقط (الأصفر والأحمر والأزرق). وكان هدفه تأسيس عالم كامل من الألوان الناتجة عن خلط الثلاثة فيما بينها وجنبا إلى جنب مع الأبيض والأسود.

حيث إعتبررونج مجال الألوان النقية حول خط منتصف محيط الكرة، بدءا من الألوان الثلاثة الأحمر والأصفر والأزرق. ثم ثلاثة ألوان مختلطة تأخذ مكانها في كل من المساحات المتوسطة متساوية بين الألوان الأولية، في حين يكون الإتقال بين الأبيض والأسود على عمود منتصف الكرة (Gage, 2000, pp. 169-174).

وفى عام 1839 إبتكرالكميائىالفرنسىشيفرول (Chevreul) مخططا لونيا متأثرا بنظريات نيوتن، إشتهربإسم(التناقض المتزامن آنيا فى الألوان)، وهو عبارة عن مخطط دائرى مقسم إلى 72 جزء كما فى شكل رقم (7)، مكون من الألوان الأحمر والأصفر والأزرق، ثم ثلاثة ألوان من خلطهم معا (البرتقالي والأخضر والبنفسجى)،ثم ستة ألوان من خلط الستة السابقينوهكذا ..، ثم تم تقسيم القطاعات الناتجة كل واحد إلى خمس مناطق وأيضا فصل كل المساحات النصف قطريةإلى 20 تدرجلإستيعاب مستويات سطوع مختلفة. وهذه هي المرة الأولى التي يكونللإدراك العقلى دورفىوصف الألوان، حيث أن أى درجة لون تتأثر بصريا بالتضاد عند تجاورها مع أى لون آخر (Feisner, Colour: How to Use Colour in Art and Design , 2006, p. 16).

شكل رقم (7)

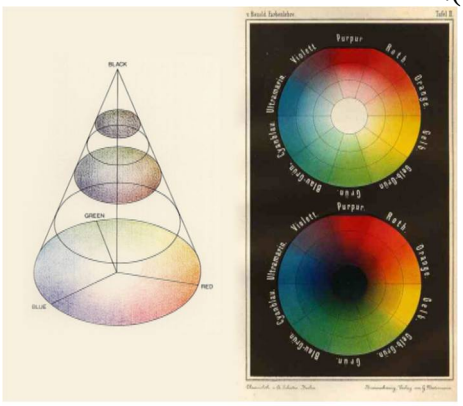
لم يصدق جوته أن الضوء الملون يمكن توليفه ليكون ضوءًا أبيض. فقد ظن أن كل الضوء الملون كان فى الحقيقة خليطًا من الضوء والظلام. وكانت تجارب جوته مفيدة فى توضيح كثير من جوانب الإبصار اللونى عمليًا (Narciso Silvestrini, Wolfgang von Goethe , 2011) . وعلى كلّ فلم تعد نظريات جوته لإبصار الألوان والمبنية على هذه التجارب، مقبولة عند العلماء، فقد تجاهل علماء القرن التاسع عشر أراء جوته بإعتبارها أفكار أدبية وفنية ترتبط بالفلسفة وعلم الجمال، إلا أنها أثرت فى كتابات هيجل (Hegel) وشيلر (Schiller)



شكل رقم (8)

نظرية المكونات الثلاثة. افتُرضت في عام 1801م بوساطة الفيزيائىالإنجليزى توماس يونج (ThomasYoung) وطورت فى عام 1860م بوساطة الفيزيائىالألمانى هيرمان فون هيلمولتز(HermannvonHelmholtz). وتعرف نظرية المكونات الثلاثة، أيضًا بنظرية يونج ـ هيلمولتز أو النظرية اللونية الثلاثية.

تفترض هذه النظرية أن للعين ثلاثة أنواع من الألياف حساسة لأطوال موجية مختلفة من الضوء. وعندما يسقط الضوء على هذه الألياف تتولد إشارات كهربائية تنتقل مباشرة إلى الدماغ. وطبقًا لنظرية المكونات الثلاثة، تتقابل الأحاسيس اللونية التي تنشأ فى الدماغ مع هذه الإشارات الكهربائية بطريقة بسيطة ومباشرة. وقد أكدت التجارب العلمية وجود الأنواع الثلاثة من الألياف، والتى يُطلق عليها الآن لفظ مخاريط، وكل نوع من المخاريط حساس بصفة خاصة لإحدى ثلاث مجموعات من الأطوال الموجية للضوء، تمثل الألوان: الأحمر والأخضر والأزرق(Kuehn & Schwarz, 2008) وذلك كما فى شكل رقم (8).



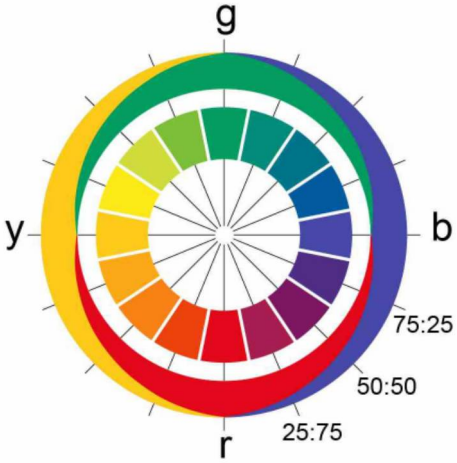
شكل رقم (9)

وفى عام (1874) وضع الفزيائىالألمانىويلهام فون بيزولد (Wilhelm von Bezold) نظاما لونيا على شكل مخروط دائرى لدراسة دناميكية اللون، أطلق عليه إسم الوهم البصرى المتزامن آنيا، حيث توضح أن الألوان تبدو مختلفة تبعا لإختلاف الألوان المجاورة.

ويعتمد مخروط بيزولد على العلاقة فى المقطع الدائرى بين ثلاثة ألوان أساسية (الأحمر والأخضر والأزرق المائل نحو البنفسجى) وتميل الألوان إلى أن تكون غامقة كلما توجهنا إلى أعلى المخروط كما فى شكل رقم (9)، وكانت أراء بيزولد ذات تأثير فعال خاصة فى مجال التصميم الجرافيكى (Narciso Silvestrini, Wilhelm von Bezold, 2011).

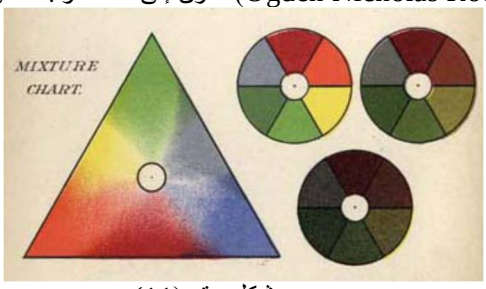
نظرية اللون المضاد. اقتُرحت في عام 1878م بوساطة عالم وظائف الأعضاء الألمانى، إيفالدهيرينغ (Ewald Hering)، حيث افترض هيرنغ أنه يوجد في مكان ما في أعصاب العينين والدماغ آليتان للاستجابة، تحتوى كل منهما على زوج من الألوان المتضادة.

وهذا يعنى أن آليتى الاستجابة يمكنهما إرسال إشارة بأحد اللونين فقط في وقت ما. وترسل إحدى آليتى الاستجابة إشارة إما باللون الأحمر أو الأخضر، وترسل الأخرى إشارة إما باللون الأصفر أو الأزرق. وتوجد آلية ثالثة ترسل إشارة بمستوى الإضاءة. ويفسر الدماغ هذه الإشارات وينتج إحساسنا باللون. تفسر نظرية اللون المضاد كثيرًا من جوانب إبصار الألوان أحسن مما تفعل نظرية المكونات الثلاثة. فعلى سبيل المثال، تقدم نظرية اللون المضاد تفسيرًا لحقيقة عدم استطاعتنا رؤية ألوان مثل الأخضر المائل إلى الأحمر أو الأزرق المائل إلى الأصفر (Hardin & Maffi, 1997, pp. 165-166) كما فى شكل رقم (10).



شكل رقم (10)

وفى عام 1879 قسمالفزيائىالأمريكى أودن نيكولاس رود (Ogden Nicholas Rood) اللون إلى ثلاثة ثوابت هى:



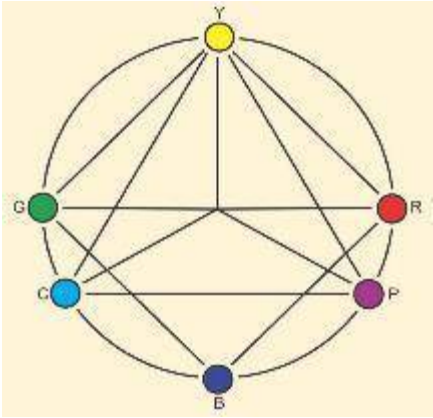
شكل رقم (11)

النقاء واللمعان، وكنه اللون، وذلك كما قسمها جيمس كلارك ماكسويل، كانت نظرية رود من الألوان المتناقضة كما فى شكل رقم (11)والتى نشرها فى كتابه (اللونيات الحديثة) مؤثرة بشكل خاص على جورج بيير سورا، مؤسس التنقيطية، حيث اقترح رود أن هناك نقاطا صغيرة أو خطوط من ألوان مختلفة، عندما ينظر اليها من مسافة بعيدة، فإنها تذوب فى لون جديد (Feisner & Reed, Color Studies , 2014, pp. 21-22).

وفى الفترة بين الأعوام (1883 - 1897) قام الفيلسوف النمساوىهوفلر (AloisHöfler) بوضع أنظمة مماثلة لبحث العلاقة البصرية والسيكولوجية بين الألوان.

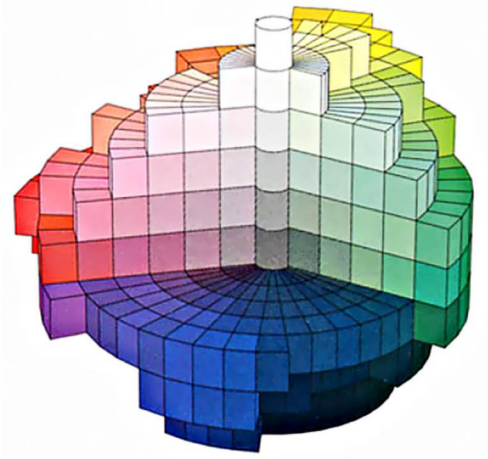
وقد تبنت العديد من كتب علم النفس نظام هرم اللون المزدوج لتفسير الإدراك اللونى، حيث قام هوفلر بوضع مخطط من هرمين مزدوجين أحدهما ذو قاعدة مثلثة وقد إحتلت زواياه الألوان (الأصفر والسيانوالأرجوانى)، والآخر ذو قاعدة مربعة وقد إحتلتزوياه الألوان (الأصفر والأحمر والأزرق والأخضر)(Kuehn & Schwarz, 2008, pp. 101-102) ويتضح ذلك كما فى شكل رقم (12).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل رقم (12)

فى عام 1905م وضع الرسام الأمريكى ألبرت هنرى منسل (AlbertHenryMunsell) نظاما لونيا يعتمد على مبدأ (إدراك تساوى البعد perceivedequidistance) بإستخدام ثلاث أبعاد لونية هى : كنه اللون (Hue)، قيمة اللون (Value)، وصفاء اللون(Croma).



شكل رقم (13)

حقيقة إن العديد من أنظمة وصف الألوان التى سبقت نظام منسل وضعت الألوان في مجسم للألوان ثلاثى الأبعاد وبأشكال مختلفة، ولكن منسل كان أول من فصل كنه وقيمة وصفاء اللون فإتساقإدراكى (Perceptual Uniformity) وأبعاد مستقلة، وكان أول من وضح الألوان في فضاء ثلاثى الأبعاد. حيث أنه يعتمد على قياسات صارمة للاستجابة البصرية البشرية للون، واضعا إياها فى إطار علمىتجريبى، وبسبب اعتماد النظام على الإدراك البصرى البشرى، فقد صمد في وجه أنظمة الألوان الحديثة، ومع أنه إستبدلفى بعض الاستخدامات بأنظمة ألوان أخرى مثل (CIE Lab) فإنه بقى واسع الاستخدام حتى وقتنا الحاضر(Nassau, 1998, p. 52).

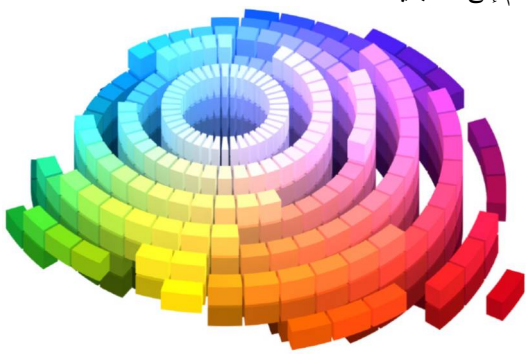
يتألف النظام من ثلاثة أبعاد مستقلة يمكن تمثيلها اسطوانيا بمجسم ألوان ثلاثى الأبعاد غير منتظم كما فى شكل رقم (13)، بحيث تكون الألوان القاتمة فى قاعدتها والساطعة فى أعلاها، من خلال الأبعاد التالية:

كنه اللون (Hue)، وتقاس بالدرجات في الدوائر الأفقية، وهى لتمييز لون عن آخر.

صفاء اللون(Croma)، وتقاس قطريا من المركز إلى الخارج بدءا من المحور العمودى ذا اللون الرماديالحيادى، وهى لتمييز اللون فى حالة النقاء عن إختلاطه مع الظل الرمادى.

قيمة اللون (Value)، تقاس عموديا من 0 (الأسود) إلى 10 (الأبيض)، وهى لتمييز اللون فى حالات الإضاءة والإظلام.

حيث حدد منسل طريقة توزيع الألوان على طول الأبعاد السابقة بأخذ أبعاد قياسات الاستجابة البصرية البشرية فى كل من هذه الأبعاد، كانت ألوان منسل التي صنعها قريبة من الإتساقالإدراكى (Perceptual Uniformity) بحيث جعلت الشكل الناتج غير منتظم إلى حد بعيد.



شكل رقم (14)

فإنه تقسم كل دائرة في نظام منسل إلى خمسة صبغات أساسية: الأحمر Red، والأصفر Yellow، الأخضر Green، الأزرق Blue، الأرجواني Purple، مع خمسة صبغات متوسطة بين الصبغات الأساسية المجاورة، وتقسم هذه الدرجات العشرة إلى 10 درجات فرعية، إذن يصبح لدينا 100 صبغة كعدد صحيح. اللونان الموجودان على طرفى دائرة الصبغة يكون لهما نفس قيمة وصفاء اللون وتسمى بالألوان المتتامة، وتمزج وفق نظام اللون الجمعى مع الرماديالحيادى ذو القيمة اللونية نفسها، كما فى شكل رقم (14).

وتتفاوت قيمة اللون (Value) أو إشراق اللون (lightness) على طول مجسم الألوان، من الأسود (قيمة 0) فى الأسفل إلى الأبيض (قيمة 10) فى الأعلى، وبالتالى تتواجد الألوان الرمادية الحيادية على طول المحور العمودى بين الأسود والأبيض.

أما صفاء اللون (Chroma) فهو يمثل نقاء اللون، ويقاس قطريا من مركز كل شريحة، وكلما كانت قيمة صفاء اللون أقل، كان اللون أقل نقاءا (باهتا أكثر) (Plataniotis & Venetsanopoulos, 2000, pp. 39-41).

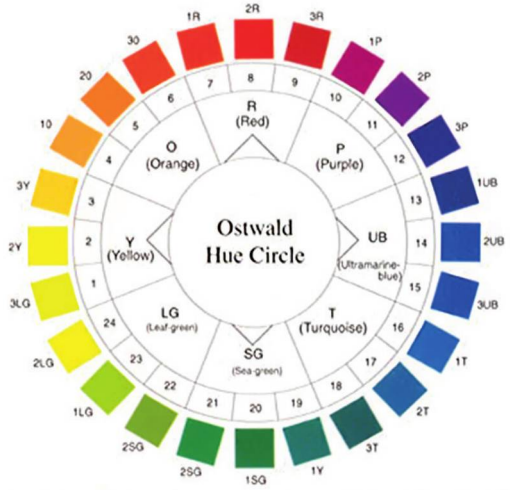
فى عام 1916م حاول الكيميائىالألمانى ويليام أوستوالد (Wilhelm Ostwald) وضع نظام وصف لونى على أساس إدراك التعادل والاختلافات بين كل الألوان الفردية، فى محاولة لبناء نظام إدراك حسى للألوان باستخدام أساليب غير تجريبية، معتمدا على تحقيق التناغم بين الألوان بناء على تحليل منحنيات الإنعكاس، وإختياره لثلاثة متغيرات هى: كنه اللون (Hue)، وتشبعها (Saturation)، وسطوعها (Brightness).

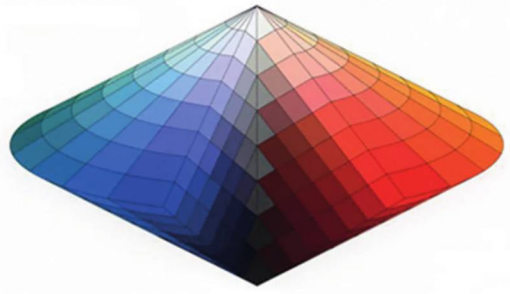
وكما يظهر فى شكل رقم (15) يتم ترتيب الألوان فى بعدين حول دائرة مقسمة إلى 24 درجة لونية فى ثمانية تدرجات لونيه رئيسية تمثل كنه اللون وهى: الأصفر، والبرتقالى، والأحمر، والبنفسجى، والأزرق اللازوردىوالفيروزى، والبحرى الأخضر، والأخضر.

ومن خلال 15 خطوة يتم بناء مخروط مزدوج ثلاثى الأبعاد من خلال أشكال مثلثية لكل لون من المجموعة كما فى شكل رقم (16)، بحيث أن الحركة نحو المنتصف تكون فإتجاه نقص التشبع، أما التحرك نحو الأعلى فيكون فإتجاه السطوع العالى، بينما التحرك نحو الأسفل يكون فإتجاه السطوع المنخفض(Gage, 2000, pp. 257-259).

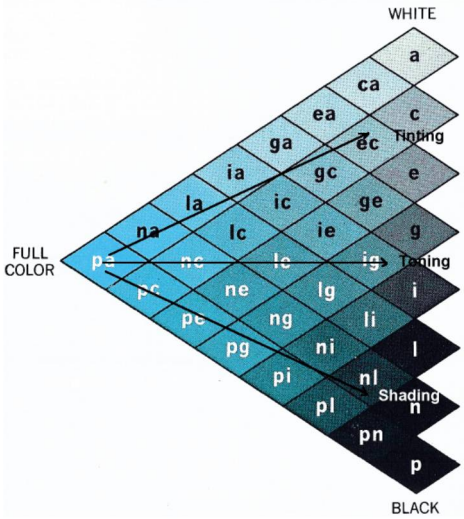
فى أوائل القرن العشرين أصبحت الرغبة فى إيجاد طريقة موضوعية لتحديد وصف الألوان واضحة على نحو متزايد. مع توفرالحاجة إلىإبتكار نظام للألوان دون الحاجة إلى نماذج غير

عيارية. وهنا ظهر نظام وصف الألوان المسمى «CIE» والذى هو عبارة عن إختصارلإسم اللجنة الدولية للمعايرة (Commission Internationale de L'Eclairage)،





شكل رقم (15)



شكل رقم (16)

‘

ويستند نظام CIE على القياسات الفسيولوجية الحسية ويمثل طريقة متفق عليها دوليا لتحديد اللون على أساس المزج بالإضافة للضوء. حيث قامت فكرة نظام «CIE» عام 1931 على فكرة مظهر اللون عند الشخص الطبيعى «العامل القياسى» وذلك من وجهة نظرية.

وقد تم تعريف نظام «CIE» بعد تتبع الخبرات والنتائج التى سجلت عبر ملاحظة 17 شخص، ورغم صغر حجم العينة إلا أنه قد تم إعتمادهافى العديد من التجارب والتطبيقات، وتوالت التحسينات بعد ذلك ولكن من خلال الفكرة الرئيسية لهذا النظام وهى «مظهر اللون عند الأشخاص الطبيعيين»، حيث يعتمد تصنيف اللون فى «CIE» على قياس الضوء الداخل إلى العين، وإستجابة النظام البصرى لهذا التأثير، وبالتالى فقد نشأ نظام «CIE» بالإعتماد على إيجاد وسيلة موضوعية ومحايدة لتعريف الألوان تعتمد على :

أ - الإدراك البصرى لدى الإنسان

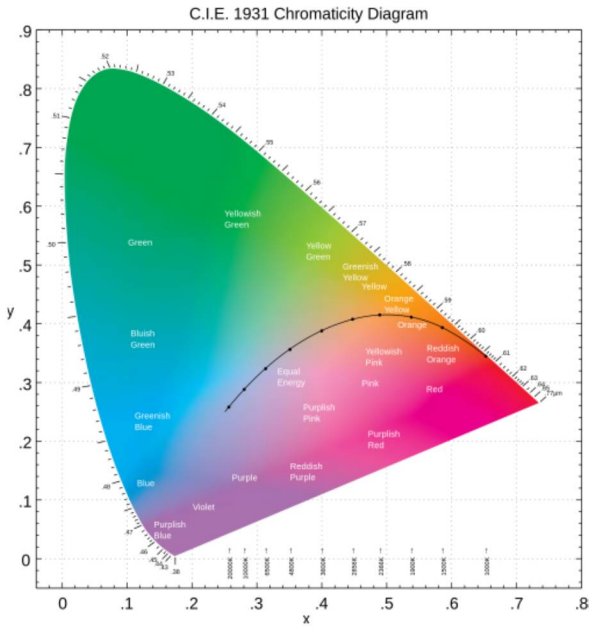
ب - أجهزة الإدخال والإخراج اللونى (Kuehn & Schwarz, 2008, pp. 162-164)

وقد تطورت نظم وصف وتعريف الألوان عبر «CIE» بمرور الوقت حيث تم إعتماد النظام «CIEXYZ» أولا، وهو وكما يظهر فى شكل رقم (17) نظام يقوم على توصيف اللون عبر الألوان الأساسية الثلاثة «RGB» فى تشكيل ثلاثى الجوانب حيث يكون «X» للون الأحمر و «Y» للأخضر و «Z» للأزرق، ويتحركوا جميعا عبر شدة الإستضاءة.

حيث يظهر هذا النظام جميع اللونيات المرئية للشخص العادى وتسمى السلسلة اللونية للرؤية البشرية، والسلسلة اللونية لجميع اللونيات المرئية فى مخطط «CIE XYZ» هى ذات شكل حدوة الفرس، وتسمى الحافة المنحنية لهذه السلسلة اللونية بالمحل الهندسالطيفى (Spectral Locus) للضوء أحادى اللون، بالأطوال الموجية بالنانومتر.

ويسمى الخط المستقيم في الجزء السفلي من السلسلة اللونية بخط الألوان القرمزية (en). هذه الألوان، مع أنها على حدود السلسلة اللونية، ليس لها نظير في الضوء أحادي اللون. تقع الألوان الأقل إشباعا داخل المخطط اللوني مع اللون الأبيض في المركز.

إذا اختارنا أي نقطتين (النقطة تمثل لونا) على المخطط اللوني، فإن جميع الألوان الواقعة على هذا الخط بين النقطتين يمكن تكوينها بمزج هذين اللونين. ويؤدي ذلك إلى أن السلسلة اللونية محدبة الشكل. وبذلك جميع الألوان التي يمكن تشكيلها بمزج ثلاثة منابع تقع ضمن مثلث رؤوسه تلك المنابع، وكذلك الأمر لعدة منابع أيضا.

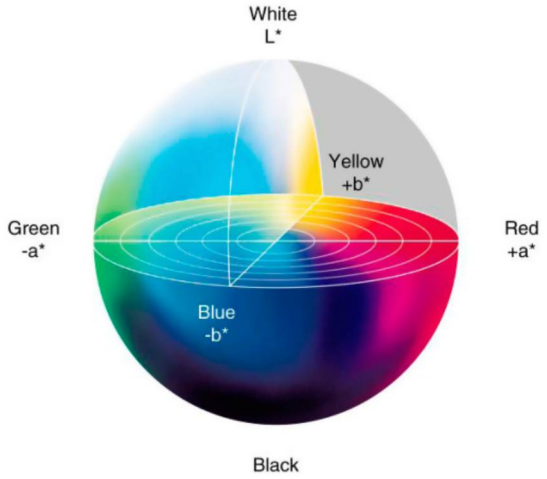


شكل رقم (17)

ويعيب هذا النظام أن كل من «XYZ» من الصعب ترجمتها

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

لأنها لا تنتمى إلى تنظيم محدد للألوان، والمنحنى اللونى غير منتظم، ولايوجدإتصال مع طبيعة رؤية اللون وميكانيكية الإدراك، بالإضافة إلى أنه لا يستطيع تعريف مظهر السطح تحت العديد من مصادر الإضاءة-(Rodney, 2005, pp. 23 .27)



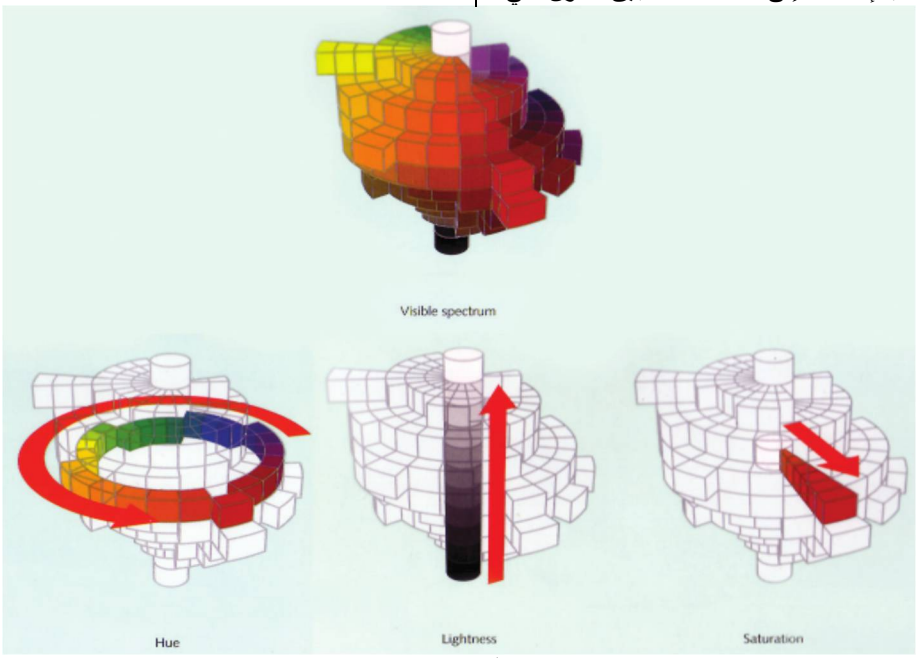
شكل رقم (18)

ونتيجة لذلك وأيضا للتمثيل المفرط للأخضر وحزم كل من الأحمر والبنفسجي والأزرق في زوايا جانبية والتى كانت دائما موضع انتقاد. هذا بالإضافة إلى الحاجة لتطبيق اللون في الصناعة، حيث أنه ليس فقط قياس اللون الذي أمر مهم، ولكن أيضا التحديد الدقيق للاختلافات فى اللون، بدأ منذ عام 1976إستخدام نظام جديد أطلق عليه «CIE Lab»، وهو كما فى شكل رقم (18)، نظام لونى يعتمد نظرية اللون المضاد، يعتمد على ثلاثة محاور إحداثية هي إل (L) يعبر عن إضاءة اللون ومحورين a و b للألوان المتضادة، وهو ناتج عن تحويل غير خطى لإحداثيات الفضاء اللوني «CIE XYZ» أى بمعنى أنه توزيع الألوان فى داخل شكل كروى عبر ثلاثة محاور «L» ، «a» , «b»، دورها كما يلى :

- إنتقال من اللون الأحمر إلى اللون الأخضر عبر محور «a»
- إنتقال من اللون الأزرق إلى اللون الأصفر عبر محور «b»
- إنتقال عبر شدة الإستضاءة من خلال المحور «L».

إن هذا النظام اللوني مناسب أكثر للعديد من تعديلات الصور الرقمية والإستخدامفى برامج معالجة الصور الرقمية، فهو على سبيل المثال مفيد في زيادة حدة الصورة (sharpening) وإزالة التعديلات الاصطناعية (artifact) من صور JPEG أو في الصور الرقمية والماسحات الضوئية (Sharma, 2004 , pp. .93-94)

ثم أخيرا نظام «CIE Yxy» والذى يفترض توزيع الألوان فى نظام ثلاثى الأبعاد، على شكل شرائح متتالية من قطع مكافئ، مشابهة لتلك الموجودة فى شكل



شكل رقم (19)

حيث تتوزع الألوان بنفس نسب الإستضاءة على القطع المكافئ فى الشريحة الواحدة عبر محورى «xy» كما يظهر فى الشكل، بينما تتغير شدة إستضاءة الشرائح المتتالية عبر المحور «Y» من الإعتام الكامل «الأسود» إلى الإستضاءة الكاملة «الأبيض».

فى عام 1970م ظهر نظام آخر لوصف وتعريف اللون يوفر إمكانية تطبيق نظام منسل إلى الألوان التي يتم إنشاؤها على شاشات التلفزيون والكمبيوتر ومعالجة الصور والرسوم بإستخدام الكمبيوتر وهو نظام HSL (كنه وتشبع وإستضاءة اللون)

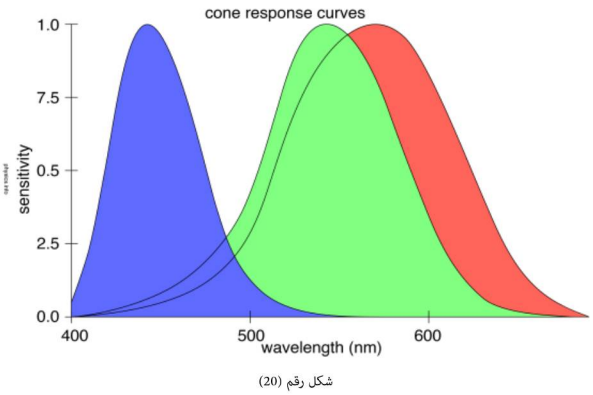
وهو يعتمد على حركة دائرة الألوان عبر ثلاثة أبعاد، كما يظهر فى شكل رقم (19)، بحيث أنه يتغير كنه اللون «Hue» عبر شرائح الدائرة، بينما تتغير الإستضاءة «Lightness» بالزيادة من أسفل إلى أعلى، ويتغير التشبع «Saturation» بالزيادة من مركز الدائرة إلى محيطها الخارجى.

وعلى الرغم من أفضلية نظام HSL فى معالجة الصور والرسوم بإستخدام الكمبيوتر حيث أنه فى كثير من الأحيان أكثر ملاءمة من نظام RGB، ولكنه تم إنتقاده أيضا لعدم تفصيل كافة سمات إنتاج اللون، وأيضا لعدم وجود تجانس الإدراك الحسى (Feisner & Reed, Color Studies , 2014, pp. .45-46)

3 ـ نموذج اللون طبقا لحساسيه مخاريط العين

لقد لاحظنا من خلال استعراضنا لكل أنظمة وصف اللون بما فيها أنظمة اللون الحديثة إهمالا كاملا لحساسية العين البشرية واستجاباتها الطيفية بإستثناء توظيف مظهر اللون عند الشخص

الطبيعفى نظام CIE XYZ والتى هنا تتداخل فيها الكثير من العوامل السيكولوجية والخداع البصرى دون إعتبار فعلى لحساسية مخاريط العين البشرية نفسها، على الرغم من كون اللون في النهاية ليست سوى ظاهرة تدرك بصريا وتفسر من خلال العقل البشرى.



شكل رقم (20)

شكل رقم (20)

وبناء على ذلك قام الباحثان بدراسة منحنى الحساسية الطيفية لمخاريط العين البشرية والذي يظهر في شكل (20) والذي نلاحظ منه ما يلي:

1 - عدم ثبات نسب المسافات بين حساسية مخاريط العين للألوان الثلاثة لها، حيث يلاحظ تقارب قمة حساسية الأحمر والأخضر وتباعد الأزرق عنها.

2 - عدم تساوي المدى الخاص بالحساسية الطيفية لكل لون، حيث نلاحظ زيادة مدى حساسية الأخضر يليه الأحمر ثم يليه بفارق كبير الأزرق.

3 - ونتيجة لذلك فإن الألوان المكملة من الطبيعي ألا تتساوى نسب المسافات بينها، إلا أننا نلاحظ بالإضافة إلى ذلك أن مدى حساسية العين للون الأصفرعالية جدا مقارنة بحساسية العين للون السيان على الرغم من كونهما نتاجا للألوان الأساسية.

4 - إن اللون البنفسجي والذي ظل سببا رئيسيا دافعا لكل من عمل في أنظمة وصف اللون إلى استخدام الشكل الدائري لتكوين نقطة تلاقي بين الأزرق والأحمر خاصة مع تطابق ذلك مع خلط الصبغات المعتمة ليس نتاجا لخلط الأزرق والأحمر وإنما هو طول موجي مستقل يلي الأزرق ويسجل على مخروط العين المسؤول عن الإحساس بالألوان الموجية القصيرة (الأزرق).

5 - ظهور العديد من الألوان الثلاثية بشكل تلاحظه العين بسهولة أكبر من بعضالألوان الثنائية كما في حالة السيان، حيث نلاحظ وكنتيجة لاتساع مدى رؤية العين للأحمر والأخضر اتساع وكبر مسافات الألوان الناتجة بينهما، فيلاحظ البرتقالي والأصفر والأخضر المائل للاصفرار بسهولة تامة، بينما تتضاءل مساحة الألوان الناتجة بين الأخضر والأزرق مما يصعب عملية رؤية لون ثنائي كالسيان بشكل دعا العديد إلى إهماله في ألوان تحليل الطيف (قوس قزح) ليس إلا لصغر الحيز الذي يشغله وانخفاض حساسية العين له.

ونتيجة لذلك فقد تم إبتكار نموذج لوني يقوم على إنتاج نظام ثلاثي الأبعاد باستخدام منحنى حساسية مخاريط العين البشرية، وذلك عبر إدارته حول محور التشبع اللوني وليس عبر محور لخلط الألوان كما هو معتاد، وذلك على أساس أن حساسية مخاريط العين البشرية هى وسيلة إدراك الألوان فعليا فى مفهومها البشرى، وبالتالى فإنه من غير المعقول أن توضع نظريات وتبنى أنظمة لونية بعيدا عن الوسيلة الوحيدة لإدراكها، وكأنه يجب على العين البشرية أن تتصرف وفق هذه الأنظمة، وليس العكس، الذى هو طبيعى، بأن الهدف النهائى لأنظمة الألوان هو محاكاة وتفسير الألوان كيفما نراها فعليا.

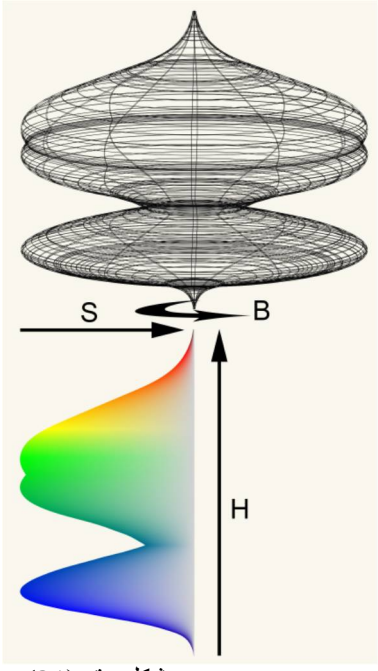
3-1- أدوات التجربة

1 - منحنى حساسية مخاريط العين البشرية القياسى(Fortner & E. Meyer, 1997, p. 93)

2 - جهاز كمبيوتر أبل (ماك بوك برو) :

ميكرو بروسيسور: 2.6GHz IntelCore i7

شاشة عرض: Retina,Mid 2012



شكل رقم (21)

ذاكرة مؤقتة: 16GB RAM

ذاكرة مستديمة: 500GB SolidStateDrive

معالج جرافيك: NVIDIA GeForce GT 650M

3 - برامج معالجة جرافيك:

أدوبىإيلاستريتور AdobeIllustrator CC

أدوبى فوتوشوب AdobePhotoshop CC

مايا للرسوم ثلاثية الأبعاد Maya 3D

أدوبى أكروبات برو AdobeAcrobatPro DC

3-2- إجراءات التجربة

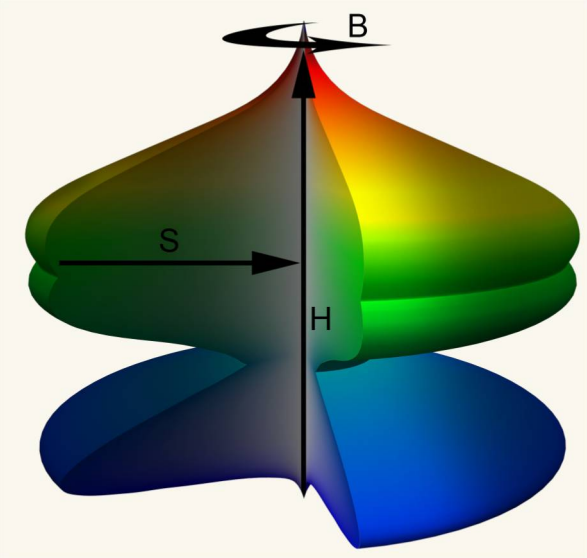
قام الباحثان بالبحث عن منحنى حساسية مخاريط العين البشرية القياسى (الموجود فى شكل رقم 20) عبر المراجع الطبية والمتخصصة فى علوم اللون ومقارنتها للتأكد من عيارية المنحنى المستخدم، وبناء على ذلك قام الباحثان بتطبيق النموذج اللونى المبتكر والذى يقوم على إنتاج نظام ثلاثي الأبعاد باستخدام منحنى حساسية مخاريط العين البشرية، وذلك عبر إدارته حول محور التشبع اللوني وليس عبر محور لخلط الألوان كما هو معتاد كما فى شكل رقم (21)، وذلك على أساس أن حساسية مخاريط العين البشرية هى وسيلة إدراك الألوان فعليا فى مفهومها البشرى، وبالتالى فإنه من غير المعقول أن توضع نظريات وتبنى أنظمة لونية بعيدا عن الوسيلة الوحيدة لإدراكها، وكأنه يجب على العين البشرية أن تتصرف وفق هذه الأنظمة، وليس العكس، الذى هو طبيعى، حيث أنه لا مجال للشك فى أن الهدف النهائى لأنظمة الألوان كافة هو محاولة محاكاة وتفسير الألوان كيفما نراها فعليا.

3-3- نتائج التجربة

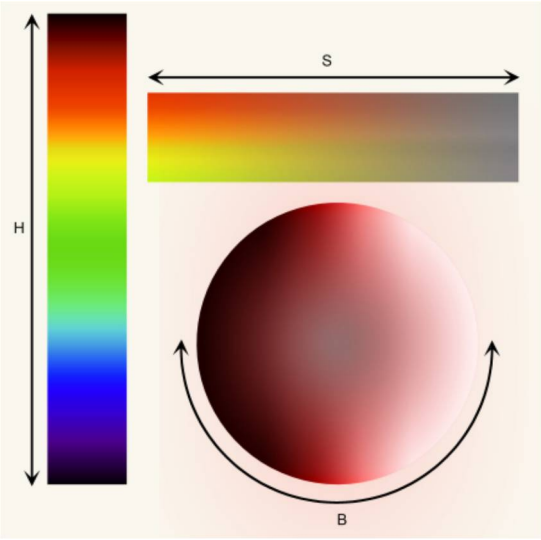
كما فى شكل (22) هو نظام لونى ثلاثى الأبعاد، يكون فيه المحور (H) هو محور التدرج اللوني طبقا لحساسية العين البشرية، أما المحور (S) هو محور انتقال اللون من حالة أقصى

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

حساسية للعين إلى أدنى حساسية وهو ما يعبر عن التشبع، أما المحور (B)والذى هو الإنتقال عبر المحيط الأفقى، فهو يعبر عن الإنتقال اللوني من حالة أقصى إضاءة إلى حالة انعدام الإضاءة، ويعبر كل محور من المحاور عن 256 تدرج لونى ليكون الناتج هو 256×256×256=16777312 درجة لونيه، وهو الحد الفعلى الذي تستطيع العين البشرية تمييزه.



شكل رقم (22)



شكل رقم (23)

بحيث يكون التدرج على المحور (H) والذى يمثل تدرج الإنتقالاللونى تبعا للحساسية الطيفية لمخاريط العين البشرية من 1 فى أسفل النموذج عند الأزرق وإنتهاءً بـ 256 فى أعلى النموذج عند الأحمر.

ويكون التدرج على المحور (S) من 256 فى الخارج على حواف النموذج كأقصى حد للتشبع (Saturation) وإنتهاءً بـ 1 فى المركز العمودى للنموذج فى الداخل كأدنى حد للتشبع.

بينما يكون التدرج على المحور (B) المحيطى من 256 كأقصى حد للسطوع (Brightness) حتى تكاد الألوان جميعها أبيض وحتى 1 كأدنى حد للسطوع حتى تكاد الألوان جميعها أسود. وذلك كما يظهر فى شكل رقم (23)

الخلاصة :Conclusion

عبر دراسة نموذج الوصف اللونى طبقا لحساسية مخاريط العين البشرية فإننا نجد أنه يحقق مايلى:

1. يعطي كافة الدرجات اللونية التي تستطيع العين البشرية تمييزها.
2. العلاقات اللونية الناتجة هي علاقات فعلية لميكانيكية رؤية العين وليست خلطا لأي نوع من الصبغات أو الأحبار أو غيرها من الملونات فهي علاقات طبيعية.
3. عدم وجود مشكلة في العلاقات اللونية الناتجة خاصة البنفسجي، حيث يوجد مكانة الطبيعي في منحنى الحساسية وليس نتاجا لخلط ألوان أخرى.
4. تفسير ظاهرة زيادة الإحساس بألوان ثلاثية وضعف الإحساس بألوان ثنائية وهو ما أهملته تماما الأنظمة الأخرى.
5. تفسير ظاهرة نقص التشبع بمعنى انخفاض حساسية العين تجاه لون ما تدريجيا وليس من منظور - باهت أو معرض للشمس كثيرا- وهو بالطبع تعبير ساذج في منظومة اللون، خاصة مع وضع إعتبار الرؤية الكروماتيه الخاصة بالقضبان البصرية.
6. تفسير ظاهرة الاستضاءة اللونية كظاهرة مرتبطة بشدة الإضاءة الساقطة على اللون وبالتالي زيادة شدة الموجة القادمة للعين على معيار الحساسية وليس على معيار الطول الموجي.
7. تفسير ظاهرة البريق والألوان المعدنية كالذهبي والفضي على أنها تناسب في شده الإنعكاس وليس على أنها لون قائم بذاته، وذلك لعدم وجود أي مخاريط بالعين البشرية مسؤولة عن رؤية هذه الألوان بالخصوص.

إن هذا النموذج هو نموذج إجتهدنا فيه ولا يمكننا القول بأنه هو القول الفصل في قضية الوصف اللوني، إلا أنه محاولة جادة لم تضع نصب عينها الخامة المستخدمة في التلوين سواء ضوء أو صبغات شفافة أو صبغات معتمة، وإنما تجردت من هذا لتضع حساسية العين - والعين فقط - هى المعيار الأساسي للقياس والتنظيم، وحينما نحدد بكلمة العين فقط فهذا للإندهاش من كل من يحاول أن يدرس ظاهرة اللون خارج الأداة الوحيدة المسؤولة عن إدراكه ونقله كإشارة للمخ ليفسرها كلون، فالصبغات والأضواء بأنواعها ماهي إلا مؤثر وليس مفسر، وما اللون إلا تأثير يحدث على مخاريط العين، فكيف يدرس بغير ذلك؟؟!

وهذا الاجتهاد لم يكن محاولة لإرضاء فريق عن أخر، فقد اجتهد فنانين وفلاسفة في وضع أنظمة وصف لونية ترضي معتقداتهم ، واجتهد فيزيائيون في وضع أنظمة أخرى ، إلى غير ذلك...

إلا أن أنظمة اللون تحتاج إلى إدراك أنه فعلا ظاهرة فيزيائية ولا مجال للشك فى ذلك، ولكن الطيف الكهرومغناطيسى كله يخضع لنفس القاعدة فلماذا نرى منه أجزاء ولا نرى أجزاء أخرى؟

ورؤية العين للألوان هي رؤية فسيولوجية وهذا لا شك فيه، ولكن لماذا يتغير الإدراك اللوني بمجرد تغير وجود لون ما بجانب لون آخر؟

ثم يأتي عنصر ثالث مؤثر في كل التجارب والنظم السابقة وهو العنصر السيكولوجي، والذي يدعو العقل إلى الاهتمام بألوان وإهمال أخرى وتأكيد بعضها وعدم التأكيد لأخرى.

إن العنصر الوحيد المؤكد لهذه المنظومة هي حساسية العين ، ولبناء منظومة منضبطة فلابد من الخضوع لهذا المعيار فقط ودون غيره، وهذا ما إلتزمنا به وقمنا بالتجارب من خلاله.

وبالتالى ومن خلال ما سبق فإننا نوصى بالتعمق فى دراسة علوم اللون من خلال رؤية متكاملة مع التوسع فى دراسة الإدراك البصرى والذى هو فى حد ذاته العنصر الفاعل الأول فى تحديد ووصف ما يعرف بأنه لون، ومع وجود العديد من المعايير النسبية فى عملية الإدراك البصرى، فإن إضافتها إلى عوامل دراسة علوم اللون هى من الأهمية بمكان لإثراء بحوث اللون.

ويدفع إلى التوصية بالتوسع فى دراسة تأثير الإدراك البصرىفى علوم اللون وبخاصة الثوابت اللونية.

المراجع References:

1. Acharya U, R., Y. k. Ng, E., & S. Sur, J. (2008). *Image Modeling of the Human Eye* . Norwood, USA: Artech House Inc.
2. Backhaus, W. G., Kliegl, R., & Werner, J. S. (1998). *Color Vision-Perspectives from Different Disciplines* . Berlin, Germany : Walter de Gruyter & Co.
3. Crone, R. A. (1999). *A History of Color: The Evolution of Theories of Light and Color.* Dordrecht, Netherlands : Kluwer Academic publisher .
4. Feisner, E. A. (2006). *Colour: How to Use Colour in Art and Design* . London, UK: King Laurence Publis .
5. Feisner, E. A., & Reed, R. (2014). *Color Studies* . New York, USA: Bloomsbury Publishing Inc.
6. Fortner, B., & E. Meyer, T. (1997). *Number by Colors: A Guide to Using Color to Understand Technical Data.* New York, USA: Springer Scince and Business .
7. Gage, J. (2000). *Color and Meaning: Art, Science, and Symbolism.* Oakland, USA : University of California Press .
8. Haeberlit, W., & P.U.P.A., G. (2012). *Physics in the Arts.* Waltham, USA: Elsevier Inc.
9. Hardin, C. L., & Maffi, L. (1997). *Color Categories in Thought and Language* . Cambridge, UK: Cambridge University Press.
10. Holtzschue, L. (2011). *Understanding Color: An Introduction for Designers.* New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
11. Homann, J.-P. (2009). *Digital Color Management-Principles and Strategies for the Standardized Print Production.* Berlin, Germany : Springer-Verlag .
12. Kuehn, R. G., & Schwarz, A. (2008). *Color Ordered: A Survey of Color Systems from Antiquity to the Present.* Oxford, UK: Oxford University Press .
13. Kuehni, R. G. (2012). *Color: An Introduction to Practice and Principles.* New Jersey, USA: Wiley Publishing, Inc.
14. Narciso Silvestrini, B. (2011). *Johann Heinrich Lambert.* Retrieved 2015, from colorsystem: http://www.colorsystem.com
15. Narciso Silvestrini, B. (2011). *Wilhelm von Bezold*. Retrieved 2015, from colorsystem: http://www.colorsystem.com
16. Narciso Silvestrini, B. (2011). *Wolfgang von Goethe* . Retrieved 2015, from colorsystem: http://www.colorsystem.com
17. Nassau, K. (1998). *Color for Science, Art and Technology.* Amsterdam, Netherlands : Elsevier Inc.
18. Orna, M. V. (2013). *The Chemical History of Color* . New York, USA: Springer-Heidelberg .
19. Plataniotis, K., & Venetsanopoulos, A. (2000). *Color Image Processing and Applications.* Berlin, Germany : Springer-Verlag.
20. Rodney, A. (2005). *Color Management for Photographers: Hands on Techniques for Photoshop Users.* London, UK: Focal Press.
21. Sharma, A. (2004). *Understanding Color Management* . New York, USA : Delmar Learning .
22. Wriggers, W. (2005). *Human Vision and Color.* Houston, USA: The University Of Texas, School of Health Information Sciences.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License