التمثيل الرياضي والتقني لأنظمة و فضاءات الألوان

م. رياض متعب محمود
كلية الهندسة / جامعة سامراء
alsaleem1962@yahoo.com

الخلاصة:

التطور في الاجهزة المرئية بجميع اشكالها ، صاحبه نمو في مجالات : الاتصالات، ضغط الصورة، بث الاقمار الصناعية، البث الارضي التلفازي وكذلك انظمة الالوان العاملة ، والتي نمت باستمرار منذ ظهور المخطط اللوني الاول البسيط عام 1931 الى يومنا هذا مع ظهور كثير من الانظمة الحديثة ذات الاداء المتميز كنظام الالوان التكيفي التلفازي عام 2002 والنظام العالي الجوده المنتشر حاليا على نطاق واسع . في بحثنا هذا تم التركيز على بعض انظمة الالوان ذات انماط مختلفة مستنبطه من الالوان الاساسية (RGB) ومن الفضاءات اللونية المستوحاة منها والتي يمكن التعامل معها بصورة رياضية ومن ثم تمثيلها بصورة تقنية لتوفر لنا امكانية التحويل والنقل واجراء المعالجات الاساسية عليها، وذلك باستخدام الصيغ الرياضية الملائمة لكل نظام او فضاء لوني مع ادراج المعادلات الضرورية لعمليات التحويل فيما بينها والدوائر الالكترونية اللازمة لعملها .

تم اختيار صور اختبار مختلفة لمعالم معروفة من بغداد ، واستخدام برنامج الماتلاب لتحليلها لبعض الفضاءات ذات الاستخدام الشائع مثل الفضاء اللوني (Y',Cr,Cb) والفضاء (Y',I,Q)، وكانت نتائج الاختبار متوافقة ، حيث اثبت تقييم تغير نمط الألوان صحة نواتج التطبيق في تحليلات اللون المقدّمة والتي انطبقت على صور الاختبار المختارة.

الكلمات الدالة: الالوان الاساسية (RGB)، الفضاء اللوني (CIE)، انظمة البث التلفازي، النظام اللوني التكيفي (CIE- CAT02) .

Mathematical & Technical Representation for Color Spaces Systems

Lecturer Riyadh Mitieb Mahmood
Engineering College / University of Samarra
alsaleem1962@yahoo.com

Abstract :

Evolution in visual devices in all its forms, has led to the development of a compatible in the areas of communications, image compression, broadcast satellite , terrestrial broadcasting.. etc., as well as color systems, which has grown consistently since the advent of the first simple color space in 1931 to this day with the advent of many modern systems with outstanding performance as a system of adaptive colors in 2002 and the system of higher quality now widespread.

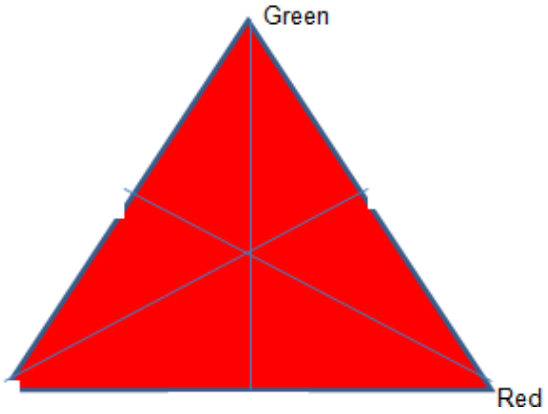
In this research has been to focus on some of the color schemes with different patterns derived from the primary colors (RGB) and spaces of color inspired ones, which can be

dealt with in mathematics and then represented in a technique to provide us with the possibility of conversion, transport and a core processors them, using mathematical formulas appropriate each system or chromatic space with the inclusion of equations necessary for the conversion processes between them and the electronic circuitry needed for their work. We selected different known test images from Baghdad, and the use of the program MATLAB for analysis of some spaces of common use, such as color space(Y ',Cr, Cb) and space (Y', I, Q), the test results are compatible ,as proved assess the changing colors outcomes in the application analyzes the foreground color , which applied to the image of the selected test.

Keywords: primary colors (RGB), color space (CIE), television broadcasts Systems, Adaptive chromatography system (CIE-CAT02).

١. المقدمة

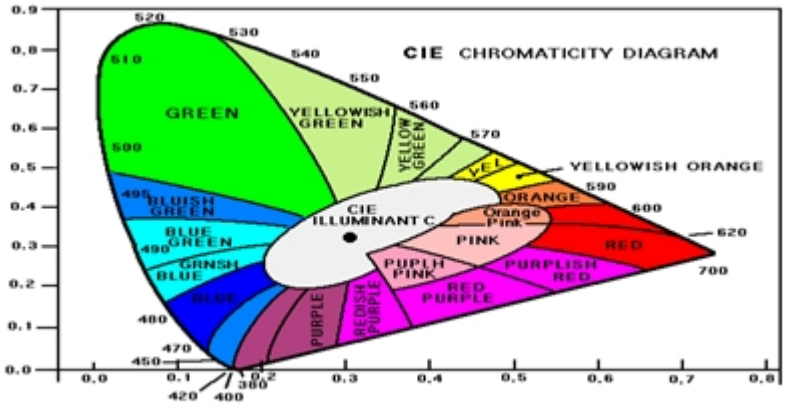
المحفل الدولي الخاص بلجنه الاضاءة الدولية (CIE)(International Commission on Illumination or (Commission Internationale de l'Eclairage) هي بالواقع تطوير لمثلث ماكسويل المبين في **الشكل رقم (١)**، ذو الرؤوس المكونة من الالوان الرئيسيه الاحمر والخضر والازرق (RGB) [١]،حيث تقوم هذه اللجنة بتحديد توزيع الالوان وخلطها لغرض التعامل معها بالتمثيل الرياضي والتقني المناسب وكذلك امكانية التحويل بين الانظمة العاملة المختلفة القياسات كأنظمة النواسخ الضوئية الملونة والطابعات والكامرات وانظمة التلفاز المختلفة (NTSC PAL , SECAM)...الخ ، حيث ان لكل من هذه الأنظمة تحليل خاص بها يتلاءم مع خاصية النظام فمثلا يستعمل نظام NTSC- National Television System Committee)) في الولايات المتحدة الأمريكية واليابان ، ونظام (PAL - Phase Alternation Line) في اكثر انحاء اوربا ، ونظام (SECAM -Sequential Color with Memory) في فرنسا وبعض الدول الافريقية .



شكل رقم (١) مثلث ماكسويل[١]

بالرغم من أن مثلثِ ماكسويل يبين نوعية سماتالألوانِ المعروفة (chromaticity) لكنه لا يُشيرُ إلى سماتِ كمية اللونِ في الشروطِ الكميةِ الفعّالةِ للضوءِ ويَفتقرُ إلى تَزويد متطابق لنمط اللون في منتصف الخط الواصل بين لونين رئيسيين يُظلّبُ تخفيفَ طيفيِ بواسطة اللون الثالث الأساسي الموجود في رأس المثلث المقابل وهذا ما يوفره النمط الطيفي للالوان بمخطط لجنة الاضاءة الدولية والذي وضع معايير قياس اللون عن طريق موقع اللون ضمن رسم المخطط اللوني كما في

الشكل رقم (٢)، حيث تم تحديثه بأستمرار نسبة الى العام الذي تم اقراره ابتداءا من عام 1931 وتباعا (CIE, CIE 1960, CIE 1964 CIE 1976, CIE 2000).. وهكذا[٢] .



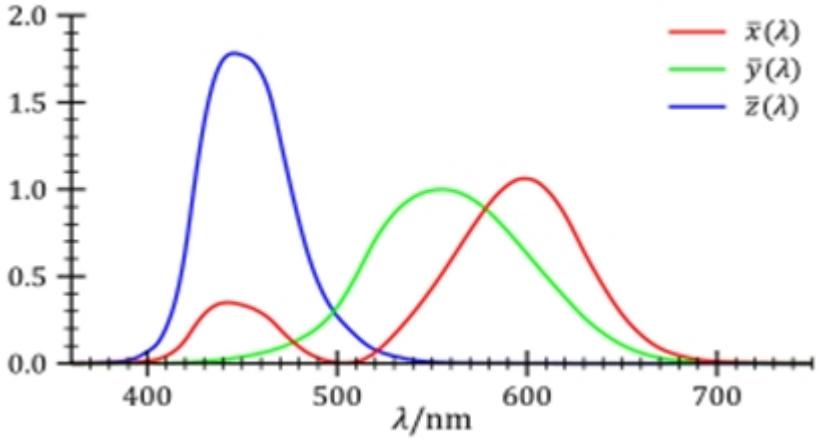
شكل رقم (٢) مخطط لجنة الاضاءة الدولية (CIE)[٢]

٢. انظمة الالوان

منذ انعقاد المحفل الدولي الاول للالوان والاضاءة عام 1931 والذي انبثق عنه اول نظام وهو (CIE 1931) تطورت انظمة الالوان شأنها كباقي منظومات الاتصالات المرئية والصوتية، اضافة الى تطوير انظمة النواسخ الضوئية و الكامرات ومعالجات الصور الثابته والمتحركه، حتى اتسعت الانظمة لتشمل انواع كثيرة جدا بناءا على التطبيقات التي تستخدم فيها، لذا اصبح التطور في حالة استمرارية وتشعب وظهور انظمة جديده ضمن مواصفات خاصة تبعا لتكوينها ومجال استعمالها، لكن مهما كثرت الانظمة لابد من تمثيل رياضي لها يلائم صيغتها ومن ثم امكانية استخدام المعدات التقنية اللازمة وخاصة التقنيات الالكترونية لمحاكاة عمل تلك الصيغ، وسوف نستعرض بعض الانظمة ذات الاستخدام الشائع وحسب حداثتها مع التمثيل الرياضي لكل منها مما يتيح لنا امكانية التحويل فيما بينها بصورة رياضية وفقا للمعادلات الاساسية لها.

١.٢ المخطط الاول للفضاء اللوني لعام 1931 (CIE-1931) .

يعد الفضاء اللوني (CIE-1931) من أوائل التعريفات الرياضية للإحساس اللوني، وقد وضعته هيئة الإضاءة الدولية في عام 1931، وإن قيم الحفز الثلاثي المسماة X، Y وZ التي لا ترى فيزيائيا كألوان حمراء وخضراء وزرقاء، وإنما تعتبر كمتغيرات مستمدة من الألوان الحمراء والخضراء والزرقاء[٣]، وذلك بسبب طبيعة توزع المخاريط في شبكية العين، لذا فان تلك القيم تعتمد على حقل الرؤية (field of view) للمراقب، ولتجاوز هذه العقبة عرفت هيئة الإضاءة الدولية المراقب المعياري (Standard observer) بأنها الاستجابة اللونية لمتوسط الرؤية البشرية بحقل رؤية بزاوية (2°)، بسبب الاعتقاد السائد بأن حساسية المخاريط اللونية تكمن ضمن قوس درجتان من اللطخة الصفراء (fovea) من الشبكية. ولهذا يعرف المراقب المعياري CIE 1931 باسم المراقب المعياري (CIE 1931 °2)، ويوصف بتوابع المضاهاة اللونية الثلاث (functions color matching) وكما **في الشكل رقم (٣)**[٤] .



شكل رقم (٣) دوال المضاهاة اللونية للمراقب المعياري وفق هيئة الإضاءة الدولية [٤]

عرفت هيئة الإضاءة الدولية مجموعة ثلاثية من دوال المضاهاة اللونية سمّتها $\bar{x}(\lambda)$، $\bar{y}(\lambda)$ و$\bar{z}(\lambda)$ والتي يمكن اعتبارها كمنحنيات الحساسية الطيفية لمستقبلات الضوء الثلاث التي تعطي قيم الحفز الثلاثي X، Y وZ وتعرف القيم الرقمية المجدولة لهذه التوابع بـ المراقب المعياري CIE. تعطى قيم الحفز الثلاثي للون ما ذو توزيع قدرة طيفية $I(\lambda)$ بدلالة المراقب المعياري بدلالة طول موجة الضوء (λ) أحادي اللون المكافئ (مقاسا بالنانومتر) بالعلاقات التالية:

$$X = \int_0^\infty I(\lambda)\, \bar{x}\,(\lambda)\, d\lambda \qquad \text{.....(١)}$$

$$Y = \int_0^\infty I(\lambda)\, \bar{y}\,(\lambda)\, d\lambda \qquad \text{..... (٢)}$$

$$\mathbf{Z = \int_0^\infty I(\lambda)\, \bar{z}\,(\lambda)\, d\lambda} \qquad \text{..... (٣)}$$

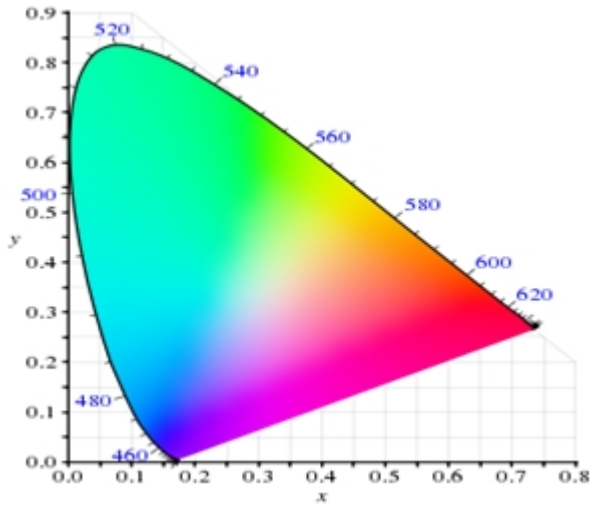
يمكن تقسيم مفهوم اللون إلى جزئين وهما السطوع (Luminance) والصفة اللونية (Chrominance)، اي ان اللون الأبيض هو لون ساطع، في حين يعد اللون الرمادي هو نسخة أقل سطوعا من ذلك اللون الأبيض. وبكلمات أخرى، لونية اللون الأبيض والرمادي هي واحدة على حين أن سطوعهما مختلف، لذا صمم الفضاء اللوني بحيث يكون المتغير Y هو قياس لسطوع اللون، اما لونية اللون تحدد بمتغيرين مشتقين x وy وهما قيمتان من القيم الثلاث والتي هي دوال قيم الحفز الثلاثي X، وY، وZ:

$$\mathbf{x = \frac{X}{X+Y+Z}} \qquad \text{..... (٤)}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \qquad \text{..... (٥)}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y \qquad \text{..... (٦)}$$

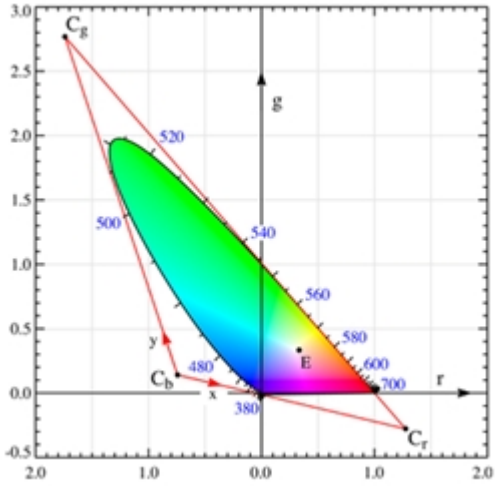
يعرف الفضاء اللوني المعرف بالمتغيرات x ، y وY بالفضاء اللوني (color space CIE x y Y). يظهر مخطط(CIE-1931) **في الشكل (٤)** جميع اللونيات المرئية للشخص العادي، حيث تظهر هذه اللونيات في المنطقة المسماة السلسلة اللونية للرؤية البشرية، وتكون ذات شكل حدوة الفرس، وتسمى الحافة المنحنية لهذه السلسلة اللونية بالمحل الهندسي الطيفي (spectral locus) للضوء أحادي اللون(الأطوال الموجية مقاسة بالنانومتر)، ويسمى الخط المستقيم في الجزء السفلي بخط الألوان القرمزية، وتقع الألوان الأقل إشباعا مع اللون الأبيض في المركز، حيث ان جميع اللونيات المرئية تتوافق مع القيم غير السلبية x ، وy، وz (والقيم غير السلبية لـ X، وY، وZ)[٥] .



شكل رقم (٤) مخطط لجنة الاضاءة الدولية(CIE-1931) [٥]

٢.٢ تمثيل فضاء الالوان الاساسية (RGB) وفق للفضاء اللوني (CIE-1931).

ان تمثيل الالوان الاساسية وهي الاحمر، الاخضر والازرق (RGB) وفقا لمقياس اساسي وهو مخطط الفضاء اللوني، له اهمية بالغة لانشاء اللبنى الاولي لالية التلوين للصور او الافلام وكذلك التلفاز الملون لاحقا وكيفية الاستفادة من تلك الالوان الاساسية في الحصول على باقي الالوان وتمثيل ذلك رياضيا وبالتالي استخدام التقنيات الالكترونية لاخراج التمثيل الرياضي ، لذا في البدء يجب حساب الاطوال الموجية للالوان الاساسية وفقا لتسقيطها على المخطط، ويتضح بأن اللون الاحمر يتوافق مع الطول الموجي الذي مقداره 700 نانومتر، الاخضر 546.1 نانومتر و الازرق 435.8 نانومتر، ومن ثم انشاء فضاء خاص ل (RGB) يمكن حسابه بواسطة تسقيط مثلث على محورين (x,y) كما **في الشكل (٥)**[٥] .



شكل رقم (٥) انشاء مخطط للالوان الاساسية (RGB) مستنبط من المخطط اللوني (CIE-1931) [٥]

رغم ان فكرة التمثيل الرياضي والتقني لاستخدام الالوان كانت بدائية والحسابات اجريت من قبل علماء الكهرباء والفيزياء يدويا، الا انها كانت البداية الصحيحة لتمثيل اي فضاء لوني بواسطة المصفوفات رياضيا والحصول على صفات الاضاءة والصفة اللونية ومن ثم ايجاد التقنية الالكترونية لتحقيق ذلك . نلاحظ من الشكل (٥) ان المثلث الذي يمثل النقاط (C_b-C_g-C_r) هو بالواقع مستنبط من مثلث الفضاء اللوني الاساسي في المحورين (x,y) في النقاط (0,0) الموافق للطول الموجي (435.8 nm) ، (0,1) الموافق للطول الموجي (546.1nm) (1,0) الموافق للطول الموجي (700nm)، اما موقع اللون الابيض في النقطة (E) فيكون في الاحداثيات { $rg = xy = (1/3,1/3)$ }[٦] . ويمكن تمثيل العلاقة النهائية للالوان الاساسية (RGB) وقيم (X,Y,Z) للمخطط اللوني (CIE-1931) بواسطة المصفوفات وكما يلي:

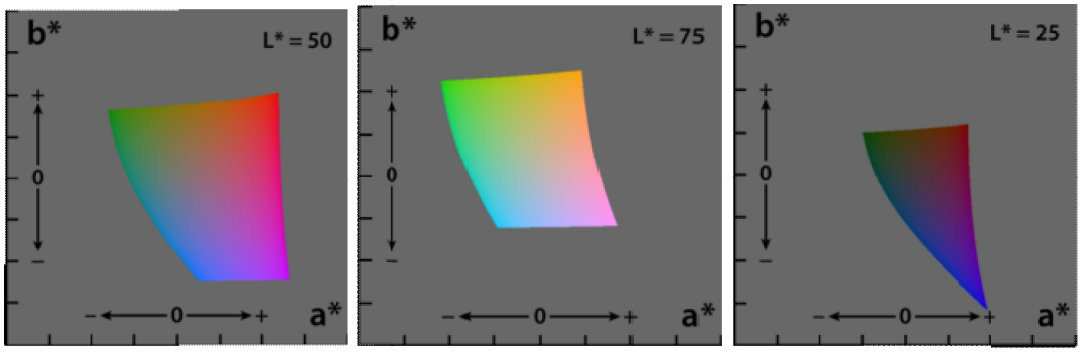
$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} = \frac{1}{b21} * \begin{matrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{matrix} * \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} = \frac{1}{0.17697} * \begin{matrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.0106 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{matrix} * \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \qquad \text{.....(٧)}$$

$$\begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} = \begin{matrix} 0.4184 & -0.15866 & -0.08283 \\ -0.0911 & 0.25243 & 0.015708 \\ 0.00092 & -0.00254 & 0.17860 \end{matrix} * \begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} \qquad \text{.....(٨)}$$

٣.٢. الفضاء اللوني إل آي بي (CIE-LAB) .

الفضاء اللوني إل آي بي (CIE-LAB) هو فضاء لوني تم اعتماده من قبل هيئة الإضاءة الدولية عام 1976،و يعتمد على نظرية اللون المضاد، ويتمركز على ثلاثة محاور إحداثية هي إل (L*) الذي يعبر عن إضاءة اللون ومحورين a* وb* للألوان المتضادة، وهو ناتج عن تحويل غير خطي لإحداثيات الفضاء اللوني لعام 1931. يعتبر عدم انتظام المخطط اللوني مشكلة مهمة من الناحية العملية، حيث أن الفروق اللونية الممثلة بمسافات متساوية في المخطط اللوني (x,y)، لا يمكن إدراكها على أنها متساوية، وقد يعتقد أن الفروق اللونية المدركة بين الألوان ستكون متساوية لأن المسافة بين النقاط متساوية، ولكن في الحقيقة تتفاوت الفروق على وجه كبير، وذلك بحسب موقعها في المخطط، ولأن المخطط اللوني يمثل "خريطة الألوان"، فمن غير المناسب على الإطلاق أن تكون الفروق اللونية المختلفة تنتج عن مسافات متساوية، لذا عالجت هيئة الإضاءة الدولية هذه المشكلة في سنة 1976 وذلك بأقرار (CIE-LAB)، ففي هذا الفضاء تكون الفروق اللونية التي نستطيع إدراكها ترتبط بالمسافات المقاسة على المخطط اللوني، فمثلا يمتد المحور a من الأخضر (-a) إلى الأحمر (+a) ويمتد المحور b من الأزرق (-b) إلى الأصفر (+b)، اما الاضاءة فتزداد من الأسفل إلى الأعلى وذلك في نموذج ثلاثي الأبعاد كما في **الشكل (٦)**. يعد هذا الفضاء اللوني مناسب أكثر للعديد من تعديلات الصور الرقمية المستخدم في برامج تعديل الصور، مثلا في زيادة حدة الصورة (sharpening) وإزالة التعديلات الاصطناعية (artifact) من صور JPEG أو في الصور الرقمية والماسحات الضوئية[٧].



شكل رقم (٦) مخطط الفضاء اللوني إل آي بي (CIE-LAB) لقيم إضاءة (L*) مختلفة [٧]

١.٣.٢. التحويل بين الفضاء اللوني إل آي بي (CIE-LAB) والفضاء (CIE-XYZ) .

لتحويل قيم X,Y,Z الى قيم L* , a* و b* نعتمد المعادلات التالية:

$$L^* = 116\, f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \qquad \text{.....(٩a)}$$

$$a^* = 500\left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right] \qquad \text{..... (٩ b)}$$

$$b^* = 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right] \qquad \text{.....(٩c)}$$

يتحقق التحويل في المعادلات (٩) أعلاه وفق للمديات التالية :

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{if } t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29} & \text{للحالات الاخرى} \end{cases}$$

ان سبب تقسيم مدى الدالة اعلاه الى قسمين ، لتفادي عدم وجود حلول في القيم والانحدار وبعباره اخرى عندما Y=L* ويساوي صفر (الإضاءة) فأن b* و a* عند ($\delta = 6/29$) تكون كالأتي [٨] :

$$b = 16/116 = 4/29$$

$$a = \frac{1}{3}\delta^{-2} = 7.787037$$

$$t = \delta^3 = 0.008856$$

لارجاع قيم X,Y,Z من قيم L* , a* و b* (التحويل العكسي) يكون كالأتي :

$$Y = Y_n f^{-1}\left(\frac{1}{116}(L^* + 16)\right)$$
$$X = X_n f^{-1}\left(\frac{1}{116}(L^* + 16) + \frac{1}{500}a^*\right)$$
$$Z = Z_n f^{-1}\left(\frac{1}{116}(L^* + 16) - \frac{1}{200}b^*\right) \quad \text{.....(١٠)}$$

يتحقق التحويل في (١٠) اعلاه وفق للمديات التالية :

$$f^{-1}(t) = \begin{cases} t^3 & \text{if } t > \frac{6}{29} \\ 3\left(\frac{6}{29}\right)^2\left(t - \frac{4}{29}\right) & \text{للحالات الاخرى} \end{cases}$$

٤.٢. الفضاء اللوني التكيفي CIE- CAM02 او (CIE- CAT02) .

ذكر سابقا ان هناك فضاءات لونية كثيرة ظهرت خلال العقود الماضية، ولكن الفضاء الاكثر تطورا للجنة الاضاءة الدولية (CIE) هو الفضاء الذي اقر عام 2002 (Color Appearance Modeling 2002) ، والمعدل لاحقا بفضاء تحويل الالوان المكيف لعام 2002 (chromatic adaptation transform **CIECAT02**)حيث يحوي هذا النظام على عناصر كثيرة تسهم في اعطاء وضوح رائع والوان ذات نقاء عالي، وهذه العناصر هي :الاضاءة، السطوع، الصفة اللونية، الصفاء، التشبع و العمق حيث تتغير قيم هذه العناصر اعتمادا على وضعية الانارة المحيطه للجهاز او لشاشة العرض اي لها خاصية التكيف مع المحيط الخارجي، لذا سمي بالفضاء اللوني التكيفي.
يتمركز هذا النظام على ثلاثة محاور إحداثية هي إل (L، M ،S) والتي تمثل مخاريط الاستجابة للعين البشرية القصيرة (S) والمتوسطة (M) والطويلة (L) وهي الملائمة تماما لهذا النظام لامكانية تنفيذها للتكيف لوني بعد معالجتها بمعاملات التكيف والمحيط الخارجي (F&D) (تقدير مظهر من العينة تحت إنارة مختلفة)، لنحصل على قيم متغيره وفقا للتطبيق المستخدم وظروف الانارة الخارجية[٩] .

١.٤.٢. تحويل الفضاء اللوني (CIE-XYZ) الى الفضاء اللوني (CIE- CAT02) .

لتحويل قيم X,Y,Z الى قيم L و M , S نعتمد المصفوفة التالية:

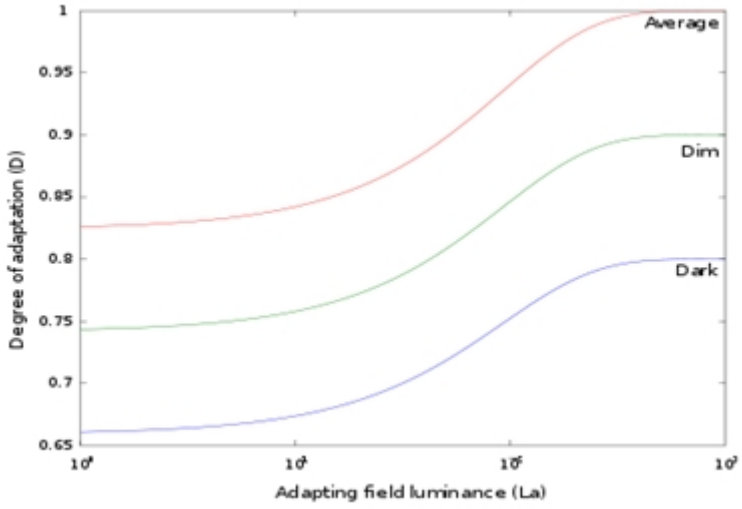
$$\begin{matrix} L \\ M \\ S \end{matrix} = \begin{matrix} 0.7328 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.9834 \end{matrix} * \begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix} \quad \text{.....(١١)}$$

ان القيم L و M , S هي قيم اعتيادية لمخاريط الالوان، وعند استخدامها بهذه الوضعية سوف لاتحقق خاصية التكيف (adaptation) لهذا النظام مع المحيط الخارجي، لذا نعتمد العلاقات ادناه لتحقيق هذه الخاصية المهمة، وذلك بأعتماد المعامل (D) والذي يمثل درجة التكيف وفقا لنقطة اللون الابيض (اللون الابيض هو المرجع الاساسي للنظام) لنحصل على المخاريط المكيفة L_c و M_c , S_c وكما يلي:

$$L_c - \left(\frac{Y_w L_{wr}}{Y_{wr} L_w} D + 1 - D\right) L$$
$$M_c = \left(\frac{Y_w M_{wr}}{Y_{wr} M_w} D + 1 - D\right) M$$
$$S_c = \left(\frac{Y_w S_{wr}}{Y_{wr} S_w} D + 1 - D\right) S \qquad \text{.....(١٢)}$$

حيث : (Y_w / Y_{wr}) معاملين لهما قيمة الوان واحده ولكن موقع نقطة بيضاء مختلفة، (w) معامل فرعي(Index) للون الابيض، (wr) معامل فرعي للانارة المرجعية (Reference illuminant) ،ان قيمة المعامل (D) له قيمة عملية فعلية تتراوح بين (0.65 - 1.0)، كما موضح في **الرسم البياني رقم (١)** والذي يمثل العلاقة بين (D) وبين حقل الانارة التكيفي (L_A) الذي من خلاله يتم التكيف مع المحيط الخارجي بمعامل درجة التكيف { F (cd/m^2) } [١٠].

$$D = F \left(1 - \frac{1}{3.6} e^{-\frac{L_A + 42}{92}} \right) \qquad \text{.....(١٣)}$$



الرسم البياني رقم (١) والذي يمثل العلاقة بين المعامل (D) وبين حقل الانارة التكيفي (L_A) [١٠]

يستخدم هذا النظام في كثير من التطبيقات وخاصة في الحاسوب كما في انظمة التشغيل الحديثة (الوندوز و الوندوز فيستا) وكذلك في اجهزة العارض الضوئي (projector) واجهزة التلفاز الحديثة (***Liquid-crystal display*** & Plasma) ، لذا هناك انظمة فرعية لهذا النظام اعتمادا على نوع التطبيق وهي : معدل، خافت و مظلم (Average, Dim & Dark) وكما في موضح في **الجدول رقم (١)** [١١].

جدول رقم (١) يمثل الانظمة الفرعية لنظام سام 2002

النظام	نسبة التغير بين السطوع والابيض المرجعي $S_R = L_{sw} / L_{dw}$	درجة التكيف F	نسبة التلوين	التطبيق
معدل	$S_R > 0.2$	1.0	1.0	**السطوح الملونة**
خافت	$0 < S_R < 0.2$	0.9	0.95	**التلفاز**
مظلم	$S_R = 0$	0.8	0.8	**العارض الضوئي**

قد يعتقد البعض بأن البث التلفازي يستخدم افضل انواع الفضاءات اللونية واكثرها تعقيدا من ناحية التمثيل الرياضي والتقني، لكن العكس هو الصحيح اذ يستخدم فضاءات مخففة لحجم بيانات المكونات اللونية، وبذلك تجعل أخطاء النقل وسلبيات ضغط الصور مخفية عن الإدراك اللوني للإنسان بدلا من استخدام إظهار مباشر وفق النموذج اللوني (R,G,B)، ومن اهم هذه الفضاءات : الفضاء اللوني (**Y'UV**) الذي يستخدم في نظام بال التماثلي [PAL (Phase Alternation Line)] المنتشر في اوربا والشرق الاوسط (استخدم نظام بال في العراق بدلا من نظام سيكام عام ١٩٩٤)،والفضاء اللوني (**YDbDr**) المستخدم في نظام سيكام المنتشر في فرنسا وبعض البلدان الافريقية * [SECAM (Sequentiel Couleur Avec Mémoire or Sequential Color with Memory)]، والفضاء اللوني (YIQ) المستخدم في نظام ان تي اس سي المنتشر في الولايات المتحدة الاميركية واليابان[NTSC (National Television System Committee)]، هذه اهم الانظمة الرئيسية وتوجد انظمة فرعية كثيرة لها. عند البث التلفازي تكون الألوان الرئيسية (R,G,B) متمثلة في احد الفضاءات المبينة انفا منفصلة عن إشارة الصورة الأصلية التي هي بالأسود والأبيض، لذا تكون إشارة الصورة مضمنة بحامل منفرد لخصائص تلك الصورة أما الألوان فتكون مضمنة بحامل ثانوي يحمل الاضاءة و الصفة اللونية (الاحمر والازرق فقط، اما الاخضر فيكون مختزل ضمنيا)، مما يمكننا من تقليل حزمة العرض(BW) لكون الحامل الثانوي يكون بنفس مجال ترددات الحامل الرئيسي.الفكرة الأساسية للتَحوّيلَ ، تكون بواسطة مجموعة خطيّة للأشارت الثلاثة (R,G,B)الى ثلاثة مكوّناتِ مكافئةِ أخرى: (Y',Cr,Cb)، (Y',U,V)، (Y',I,Q) و(YDbDr) وهكذا ويكون هذا التحويل عادة في جهة الارسال وفي الاستقبال يحدث تحويل عكسي لاسترجاع (R,G,B) [١٢].

١.٥.٢. التحويل الى الفضاء اللوني (Y',Cr,Cb) من قيم (RGB) .

الفضاء اللوني (Y'CbCr) الذي يستخدم في نظام بال الرقمي من اكثر الانظمة انتشارا" في اوربا و الشرق الاوسط حاليا ، ويمكن الحصول على التمثيل الرياضي له وفق المعطيات التالية:

$$Y' = 0.299R + 0.587G + 0.114B \qquad \text{.....(١٤)}$$

(إشارة الإضاءة)

ملاحظة : المعادلة رقم (١٤) تمثل قيم ثابته للاضاءة (**Luminance**) بدلالة الالوان الرئيسية (R,G,B) [١٣].

*** استخدم نظام سيكام في العراق في العام ١٩٧٦وهو تاريخ بدء البث الملون وكانت المذيعة القديرة سهاد حسن هي اول من ظهرت بالالوان واستمر لغاية ١٩٩٤، وعند تغيره احدث ارباك لان معظم اجهزة التلفاز الوارده الى العراق كانت تعمل بهذا النظام فقط لذلك اصبح استلام البث بالاسود والابيض الى ان تم تجهيز هذه الاجهزة بلوحات نظام بال.**

$Cr = 0.713(R-Y)$

$R-Y=R-(0.299R+0.587G+0.114B) = 0.701R-0.587G-0.114B$

$Cr=0.5R-0.418G-0.081$ (إشارة تلوينية الأحمر) (red chrominance)

$Cb=0.564(B-Y)$

$B-Y=B-(0.299R+0.587G+0.114B) = -0.299R-0.587G+0.886B$

$Cb=-0.168R-0.331G+0.499B$ (إشارة تلوينية الأزرق) (blue chrominance)

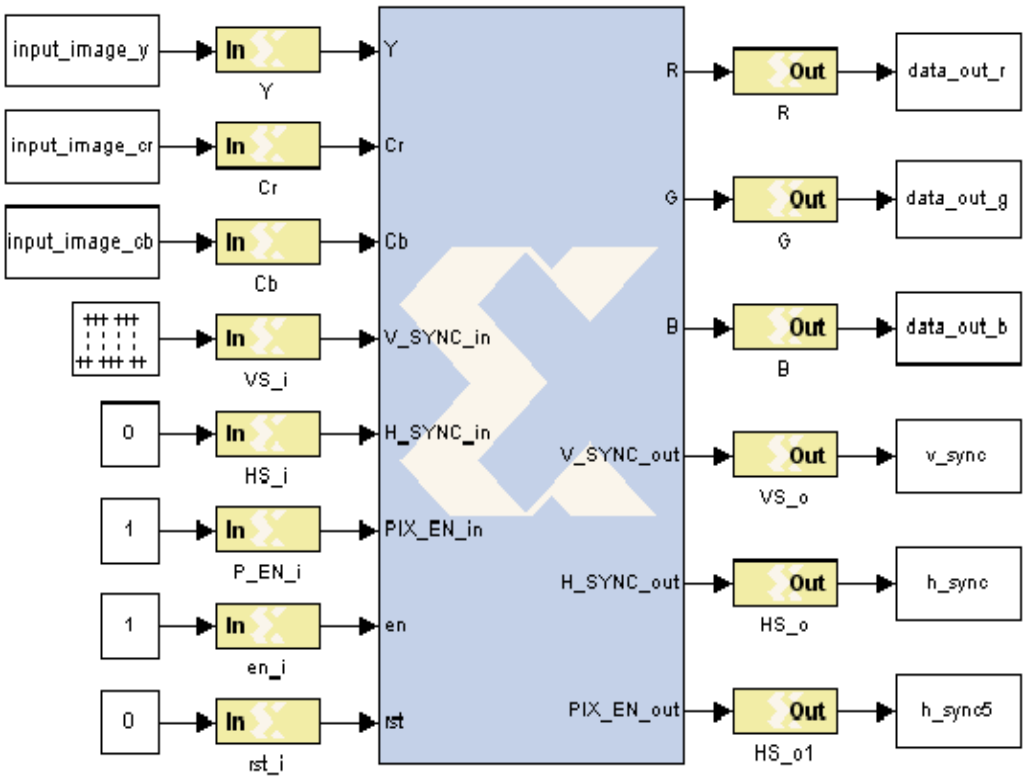
وبأعادة ترتيب المعادلات نحصل على المصفوفة الاتية :

$$\begin{matrix} X \\ C_b \\ C_r \end{matrix} = \begin{matrix} 0.299 & 0.578 & 0.114 \\ -0.1689 & -0.3316 & 0.5005 \\ 0.4998 & -0.4185 & -0.0812 \end{matrix} * \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \quad \text{.....(١٥)}$$

اما التحويل العكسي، اي ارجاع قيم (RGB) ، والذي يكون في اجهزة الاستقبال يكون وفق للمصفوفة التالية [١٤]:

$$\begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} = \begin{matrix} 1.0 & 0.0 & 1.403 \\ 1.0 & -0.344 & -0.714 \\ 1.0 & 1.77 & 0.0 \end{matrix} * \begin{matrix} X \\ C_b \\ C_r \end{matrix} \quad \text{.....(١٦)}$$

التمثيل التقني لارجاع قيم (RGB) من قيم (Y',Cr,Cb) والذي يكون عادة في اجهزة الاستقبال **الشكل رقم (٧)** :



شكل رقم (٧) الذي يمثل التمثيل التقني في اجهزة الاستقبال لارجاع قيم (RGB) من قيم (Y',Cr,Cb) [١٥].

٢.٥.٢. التحويل الى الفضاء اللوني (Y',U,V) من قيم (RGB) .

V= 0.877(R-Y)

R-Y=R-(0.299R+0.587G+0.114B)

=0.701R-0.587G-0.114B

V=0.615R-0.515G-0.100B (إشارة تلوينية الأحمر) (red chrominance)

U=0.439(B-Y)

B-Y=B-(0.299R+0.587G+0.114B)

= -0.299R-0.587G+0.886B

U=-0.147R-0.289G+0.437B (إشارة تلوينية الأزرق) (blue chrominance)

وبأعادة ترتيب المعادلات نحصل على المصفوفة الاتية :

$$\begin{matrix} Y' \\ \mathrm{U} \\ \mathrm{V} \end{matrix} = \begin{matrix} 0.299 & 0.578 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.10001 \end{matrix} * \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \qquad \text{.....(١٧)}$$

والتحويل العكسي يكون كما يلي :

$$\begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} = \begin{matrix} 1.0 & 0.0 & 1.1398 \\ 1.0 & -0.394 & -0.5806 \\ 1.0 & 2.0321 & 0.0 \end{matrix} * \begin{matrix} Y' \\ \mathrm{U} \\ \mathrm{V} \end{matrix} \quad \text{.....(١٨)}$$

٣.٥.٢. التحويل الى الفضاء اللوني (Y', Db ,Dr) من قيم (RGB) .

Db = - 0.450R – 0.883G + 1.333B

Dr = - 1.333R + 1.116 G + 0.217 B

$$\begin{matrix} Y' \\ \mathrm{D}_b \\ \mathrm{D}_r \end{matrix} = \begin{matrix} 0.299 & 0.578 & 0.114 \\ -0.450 & -0.883 & 1.333 \\ -1.333 & 1.116 & 0.217 \end{matrix} * \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \quad \text{.....(١٩)}$$

والتحويل العكسي يكون كمايلي [١٦] :

$$\begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} = \begin{matrix} 1.0 & 0.00009 & -0.5259 \\ 1.0 & -0.1291 & 0.26789 \\ 1.0 & 0.6646 & -0.00007 \end{matrix} * \begin{matrix} Y' \\ \mathrm{D}_b \\ \mathrm{D}_r \end{matrix} \quad \text{.....(٢٠)}$$

٤.٥.٢. التحويل الى الفضاء اللوني (Y',I,Q) من قيم (RGB) .

I = 0.74(R–Y) –0.27(B–Y)

Q= 0.48(R–Y) + 0.41(B–Y)

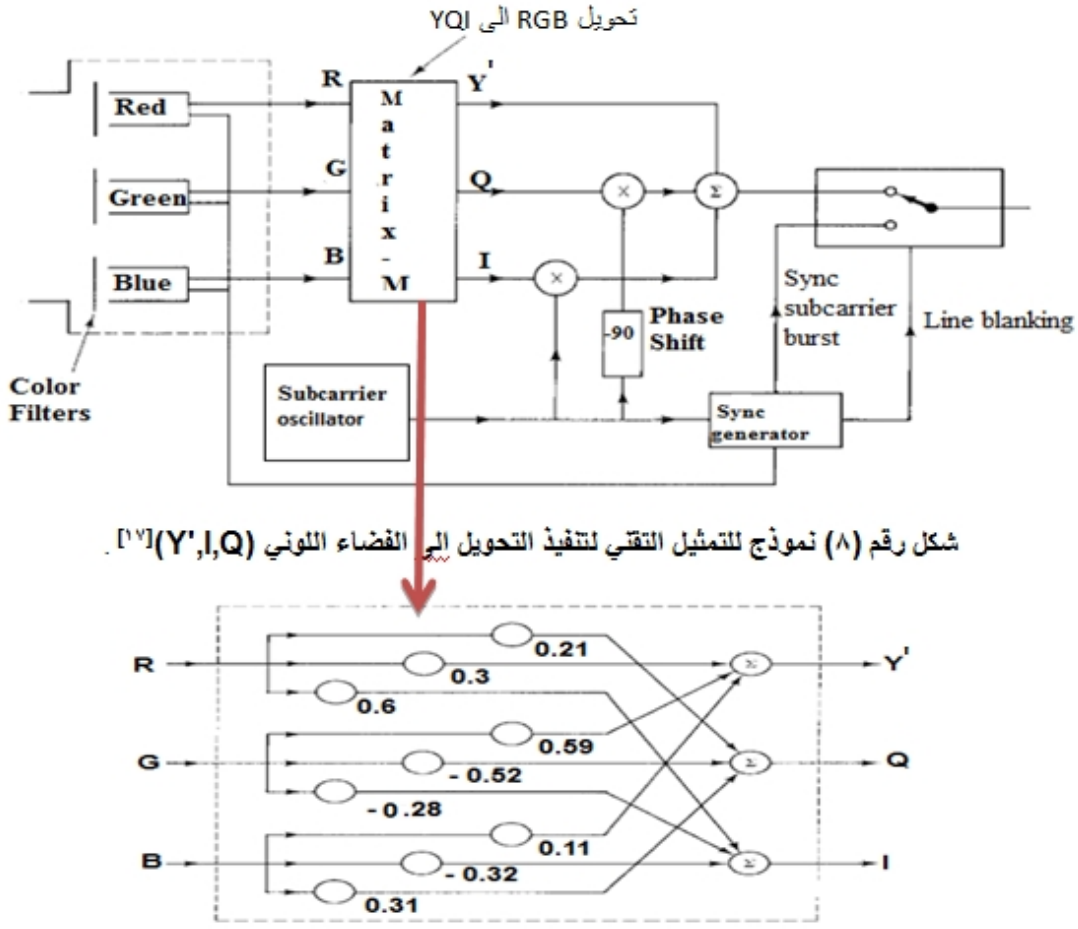
R-Y=R-(0.299R+0.587G+0.114B) = 0.701R-0.587G-0.114B

B-Y=B-(0.299R+0.587G+0.114B) = -0.299R-0.587G+0.886B

وبأعادة ترتيب المعادلات نحصل على المصفوفة الاتية :

$$\begin{matrix} Y' \\ \mathrm{I} \\ \mathrm{Q} \end{matrix} = \begin{matrix} 0.299 & 0.578 & 0.114 \\ 0.5957 & -0.2744 & -0.321 \\ 0.2114 & -0.5225 & 0.3111 \end{matrix} * \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \quad \text{.....(٢١)}$$

الشكل (٨) يمثل نموذج للتمثيل التقني لتنفيذ التحويل الى الفضاء اللوني (Y',I,Q) من قيم (RGB) :



شكل رقم (٨) نموذج للتمثيل التقني لتنفيذ التحويل الى الفضاء اللوني (Y',I,Q)[١٧].

ملحق للشكل رقم (٨) يبن عمل مصفوفة (Matrix-M) لتحويل(RGB) الى (YQI) وفق للمعادلة (٢١) انفا [١٧].

والتحويل العكسي يكون كما يلي :

$$\begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} = \begin{matrix} 1.0 & 0.956 & 0.621 \\ 1.0 & -0.272 & -0.647 \\ 1.0 & -1.107 & 1.704 \end{matrix} * \begin{matrix} Y' \\ I \\ Q \end{matrix} \quad \text{.....(٢٢)}$$

٣. تطبيقات برنامج الماتلاب لتحليل الالوان .

في تنفيذ تطبيق الماتلاب لتحليل الفضاء اللوني وفق **مخطط البرنامج رقم (١)**، حيث تم اختيار صورة الاختبار الاولى وهي لتمثال شهريار وشهرزاد (يقع هذا النصب في شارع ابي نواس في بغداد ويمثل اسطورة الف ليلة وليلى الملك شهريار)، تم تحليل تلك الصورة الى فضاءات الالوان (Y',Cr,Cb) المستبطة من صورة متكاملة بالالوان الاساسية (R,G,B)، كما في الشكل رقم (٩ - a ,b ,c & d)، حيث يمثل الشكل (٩-a) الصورة بصورة متكاملة وفق الالوان الاساسية، وبعدها نتائج التحليل الى الفضاء (Y',Cr,Cb)، كما في الشكل (٩-b) الذي يمثل المركب (Y') الخاص بالاضاءة، والشكل (٩-c) اشارة التلوين الزرقاء (Cb) والشكل (٩-d) اشارة التلوين الحمراء (Cr).

الشكل رقم (a -٩)

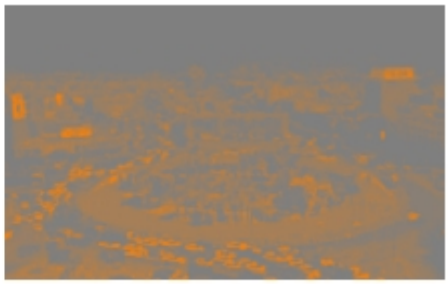
الشكل رقم (b - ٩)

الشكل رقم (c - ٩)

الشكل رقم (d - ٩)

الشكل رقم (a -١٠)

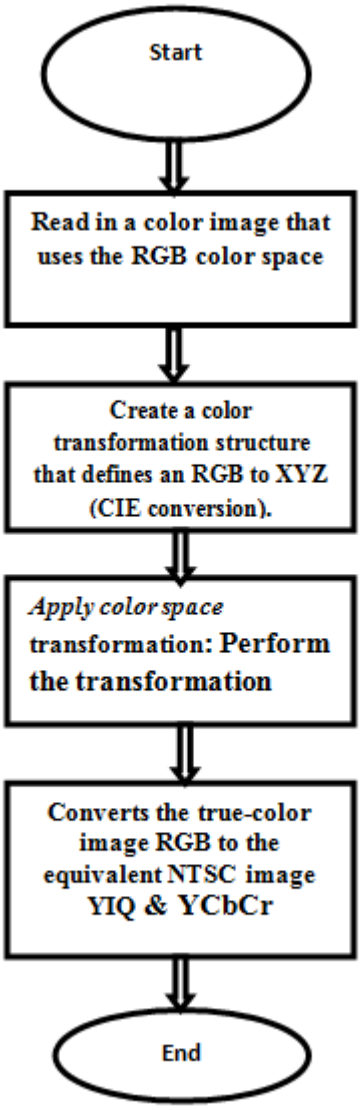
الشكل رقم (b -١٠)



الشكل رقم (c -١٠)

الشكل رقم (d -١٠)

الصورة الثانية للاختبار وهي لساحة التحرير (ساحة في وسط بغداد يقع فيها نصب الحرية الشهير وتمثل مركز بغداد)، تم تحليل تلك الصورة الى فضاءات الالوان (Y',I,Q) المستنبطة من صورة متكاملة بالالوان الاساسية (R,G,B)، كما في الشكل رقم (١٠،a, b ,c &d)، حيث يمثل الشكل (١٠-a) الصورة بصورة متكاملة وفق الالوان الاساسية وبعدها نتائج التحليل الى الفضاء (Y',I,Q)، كما في الشكل (١٠-b) الذي يمثل المركب (Y') الخاص بالاضاءة وفق المعادلة رقم (١٤)، والشكل (١٠- c) اشارة التلوين الطورية (I) والشكل (١٠-d) اشارة التلوين المضاعفة (Q) وفق المصفوفات المبينه سابقا، [المركبتان (I,Q) المتعامدتان هي ناتج بعض انواع التظمين السعوي او الطوري المضاعف (QAM,QPM)، المستخدم في انظمة الاتصالات)] ، و كانت نتائج التطبيق في تحليلات الالون المقدّمة منطبقة على صور الاختبار المختلفة وفق برنامج الماتلاب في **المخطط رقم (١) ادناه.**



مخطط رقم (١) الذي يمثل برنامج الماتلاب المستخدم في تحليل انظمة الالوان.

٤. المناقشة

اللون يدرك كظاهرة وليس بعد طبيعي مثل الطول أو درجة الحرارة، ولكن الشعاع الكهرومغناطيسي لطيف طول الموجة المرئي قابل للقياس ككمية طبيعية، لذا يوجد شكل مناسب من التمثيل للمتطلبات الرياضية الخوارزمية الملبية لاغراض : معالجة الصورة ، تقنية آلة التصوير، الطابعة، العارض المرئي، وطبيعة الاحساس باللون لدى الإنسان، هذه المتطلبات المختلفة لا يمكن أن تجتمع على حد سواء، لهذا السبب يختلف التمثيل المستعمل طبقا لهدف المعالجة في التطبيق المستخدم تشير فضاءات الالوان إلى الأنظمة المنسّقة التي تكون القيم فيها ممثّلة بنظام اللون القياسي وفقا لمعيار لجنة الإضاءة الدولية (CIE)، كما ان كلّ فضاءات الالون يمكن أن تشتقّ من معلومات (RGB)، وهي الالوان الاساسية الثلاثة والتي لايمكن التعامل معها في المعالجات الرياضية والتقنية كونها لاتعطي وصف دقيق لبقية الالوان الناتجة منها، لذا تم استخدام تجزئة الصورة الى الحالة الاصلية بدون الوان اي بالاسود والابيض [Luminance (Y)] ويتم معالجتها على انها شدة اضاءة تعتمد على التدرج الرمادي مابين الاسود والابيض كما انها في حالة البث التلفازي يتم تظمينها (Modulation) بصورة منفصلة بواسطة الحامل الرئيسي (Carrier) كما في التظمين السعوي ذات الحزمة المتبقية (Vestigial Sideband Modulation)، اما الالوان فتكون في مركبتان تحمل صفاتها بصورة دقيقة(Chrominance) تتلائم مع المخطط اللوني، ويمكن معالجتها رياضيا ومن ثم تكوين دائرة الكترونية تحقق ذلك، وفي حالة البث التلفازي يخصص لها حامل ثانوي (Sub-carrier) داخل مجال الحزمة العاملة.

٥. الاستنتاجات

تعتمد عملية معالجة الالوان ودقتها ونقائها على طبيعة المركبات الاساسية للصورة وطرق تمثيلها رياضيا وتقنيا في جهتي الارسال والاستقبال، بما يجعلها مطابقة للحالة الطبيعية الاصلية المستوحاة منها، وان الحالة الافتراضية هي عنصر الاضاءة ومركبتي الصفة اللونية ، ولاضافة مركبات اخرى تكميلية يمكن ان يؤدي الى تحسن كبير في الاداء يقابله زيادة في تعقيدات التمثيل الرياضي ومن ثم الاخراج التقني (كما في حالة الفضاء اللوني التكيفي)، لذا هناك توازن بين درجة تعقيد الاجهزة المستخدمة لمنظومات الالوان وبين الغرض من استخدامها ومستوى الكفاءة في الاداء .

٦. المصادر

١. **Harman, P. M. The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell, Cambridge, UK: Cambridge University Press,** 2002.

٢. **G.Wyszecki + W.S.Stiles , Color Science John Wiley & Sons, New York ,.** 1982.

٣. **R.W.G.Hunt ,Measuring Colour Fountain Press, England,**1998.

٤. **Hunt, R. W. Measuring Color (3rd ed.). England, the basis in human eye physiology of three-component color models and chromaticity coordinates,** 1998.

٥. **Fairman, H. S.; Brill, M. H.; Hemmendinger, H.: How the CIE** 1931 **Color-Matching Functions Were Derived from the Wright–Guild Data".Color Research August**1998.

٦. **Danny. "A Review of RGB Color Spaces ...from xyY to R'G'B'" (PDF).** 2010-02-12.

٧. **Margulis, Dan. Photoshop Lab Color: The Canyon Conundrum and Other Adventures in the Most Powerful Colorspace. Berkeley, Calif. : London,** 2006.

٨. **Fairchild, Mark D. "Color and Image Appearance Models". Color Appearance Models. John Wiley and Sons,** 2005.

٩. **Fairchild, Mark D.; Luo, M. R.; Hunt, R. W. G. "A Revision of CIECAM97s for Practical Applications". Color Research & Applications, August** 2000.

١٠. **Hunt, Robert W. G.; Changjun Li, M. Ronnier Luo. "Chromatic Adaptation Transforms". Color Research & Applications, February** 2005.

١١. **Windows Color System: The Next Generation Color Management System. Microsoft white paper. September** 13, 2005.

١٢. **Hunt, R. W. G. The Reproduction of Colour (٦th ed.). Chichester UK: Wiley–IS&T Series in Imaging Science and Technolog,** 2004 .

١٣. **Hervé Benoit . Digital Television. Third Edition. published by Elsevier,** 2008.

١٤. **Phil Green and Lindsay W. MacDonald. Colour Engineering: Achieving Device Independent Colour. John Wiley and Sons,** 2002.

١٥. **Gabor Szedo**, **Color-Space Converter: YCrCb to RGB ,** (v1.2) **December** 2, 2009 .

١٦. **Poynton, Charles** (1999-06-19). **YUV and luminance considered harmful.** 2008.

١٧. **Frank Durda . Color Television Fundamentals (NTSC), IV Published in the United States of America** 2007.