

# ارتباط اندیس‌های متامریزم بر مبنای فرمول‌های اختلاف

## رنگ با اندیس‌های ناپایداری رنگی

سعیده گرجی کندی<sup>i</sup>؛ محمد امانی تهران<sup>ii</sup>؛ سید حسین امیر شاهی<sup>iii</sup>

### چکیده

دو پدیده پایداری رنگی و متامریزم<sup>۱</sup> با تغییر توزیع انرژی منبع نوری اتفاق می‌افتند. ریشه پیدایش متامریزم را می‌توان وجود اختلاف در ناپایداری رنگی جفتهای متامر دانست؛ زیرا همانندی جفتهای متامر با تغییر منبع نوری به دلیل داشتن ناپایداری رنگی‌های متفاوت از بین می‌رود. بررسی‌های انجام شده در این تحقیق بر روی ۹۸ جفت متامر نشان داد که پس از اعمال تصحیح پارامریک، مقدار اندیس متامریزم بر مبنای فرمول‌های اختلاف رنگ را می‌توان با تقریب قابل قبولی برابر اختلاف در ناپایداری رنگی جفتهای متامر دانست. چنانچه مقدار اندیس متامریزم<sup>۲</sup> پس از تطبیق محاسبه شود، دقت افزایش می‌یابد.

### کلمات کلیدی

متامریزم، پایداری رنگی، تصحیح پارامریک، جفت متامر.

## *The Relation Between Metameric Indices Based on Color Difference Formulae and Color Inconstancy Indices*

S. Gorji Kandi; M. Amani Tehran; S.H. Amirshahi

### ABSTRACT

Color constancy and metamerism are two phenomena that take place when the spectral power distribution of illuminant is changed. The difference between the color inconstancies of the metameric pairs is the source of metamerism.

In present study, 98 actual metameric pairs were used to find the relation between these phenomena. The results showed that after parameric correction, the value of metameric index in the color difference group was equal to difference between their color inconstancy indices with acceptable approximation. The accuracy increased when the metameric indices were calculated after adaptation.

### KEYWORDS

Metamerism, Color Constancy, Parameric Correction, Metameric Pair.

<sup>i</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ دانشکده نساجی: [gorji\\_s@aut.ac.ir](mailto:gorji_s@aut.ac.ir)

<sup>ii</sup> استادیار دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ دانشکده نساجی: [amani@aut.ac.ir](mailto:amani@aut.ac.ir)

<sup>iii</sup> دانشیار دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ دانشکده نساجی: [hamirsha@aut.ac.ir](mailto:hamirsha@aut.ac.ir)

نمونه کاملاً پایدار رنگی باشند، در شرایط جدید نیز مجدداً همانند خواهند بود. همچنین اگر دو نمونه به یک میزان و در یک جهت تغییر رنگ دهند باز هم زیر منبع نوری دوم علی رغم داشتن تغییر رنگ، همانند تشخیص داده می‌شوند؛ لیکن اگر دو نمونه پایدار رنگی متفاوتی داشته باشند با تغییر منبع نوری دارای رنگ یکسانی نبوده و جفت متامار را تشکیل می‌دهند [۵، ۶]. با توجه به این اصل حتی در تحقیقی در نظر گرفتن اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار به عنوان اندیس متاماریزم پیشنهاد شده است [۶]. توضیحات ارائه شده انگیزه-های تلاش برای یافتن ارتباط بین اندیس‌های محاسباتی این دو پدیده را متذکر می‌شود.

### ۱-۱- اندیس‌های متاماریزم

یک گروه موفق از اندیس‌های متداول متاماریزم، اندیس‌های بر پایه فرمول‌های اختلاف رنگ می‌باشند. از آنجا که میزان موفقیت اندیس به درجه تطابق معادله اختلاف رنگ مورد استفاده با ارزیابی‌های بصری بر می‌گردد؛ لذا معادلاتی که تطبیق بهتری با نتایج بصری داشته باشند موفق‌تر هستند. در این بین، فرمول‌های اختلاف رنگ (1:1) CMC، TC1-29 و CIE94 به ترتیب بهترین نتایج را فراهم می‌آورند [۹-۷]. تحقیقات اخیر نشان داده است که فرمول اختلاف رنگ CIEDE2000 نیز بخوبی فرمول‌های اختلاف رنگ ذکر شده عمل می‌کند [۹]. ساختار معادلات مذکور مبتنی بر جمع مقادیر تصحیح شده اختلاف روشنایی، اختلاف فام و اختلاف خلوص دو نمونه است که به عنوان مثال، فرمول اختلاف رنگ CIEDE2000 مطابق معادله (۱) می‌باشد.

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2} + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right) \quad (1)$$

در رابطه (۱) مقادیر  $S_L$ ،  $S_C$  و  $S_H$  بر حسب L، C و H بیان شده و  $R_T$  نیز از روی مقادیر C و h محاسبه شده که تأثیر آن تصحیح فرمول در مورد رنگهای آبی است [۱۰]. در هر صورت، از مهم ترین اشکالات اندیس‌های متاماریزم مبتنی بر فرمول‌های اختلاف رنگ در نظر نگرفتن مسأله تطبیق و پایداری رنگی است که در سیستم بینایی اتفاق می‌افتد.

### ۱-۲- اندیس‌های ناپایداری رنگی

برای محاسبه میزان ناپایداری رنگی اندیس‌های اولیه نظیر CCI(XYZ) و CCI(MC) بر مبنای مدل‌های تطبیق پیشین؛ مانند Nayathani بوده‌اند که به عنوان نمونه CCI(XYZ) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۱۱].

در علم رنگ، پایداری رنگی و متاماریزم دو پدیده مهم و تأثیر گذار می‌باشند. پایداری رنگی تمایل طبیعی رنگ اجسام به پایدار ماندن با تغییر شدت و توزیع انرژی منبع نوری است [۱]. به عنوان مثالی ملموس در این زمینه، می‌توان به جسمی سفید که در زیر منبع نوری روز یا  $D_{65}$  مشاهده می‌شود، اشاره کرد که با تغییر ناگهانی منبع نوری به لامپ تنگستن پس از مدت زمان بسیار کوتاهی دوباره به رنگ سفید دیده می‌شود. با توجه به اینکه رنگ سفید همواره کسری از منبع را منعکس می‌کند، انتظار می‌رفت تحت منبع نوری تنگستن به رنگ زرد مشاهده شود؛ اما با وجود اینکه نور دریافتی بوسیله چشم در دو حالت کاملاً متفاوت است، جسم سفید زیر هر دو منبع یکسان دیده می‌شود [۲]. از دیگر پدیده‌ها، که خصوصاً در بحث رنگ همانندی از اهمیت زیادی برخوردار است، متاماریزم است. تعریف Judd و Wyszecki از متاماریزم چنین است که " جفتهای متامار دو نمونه‌ای هستند که با وجود متفاوت بودن منحنی‌های انعکاسی، مقادیر محرکه‌های سه گانه یکسان زیر منبع نوری مرجع دارند" [۲].

به طور کلی، با تغییر توزیع انرژی منبع نوری دو پدیده اتفاق می‌افتد: تغییر محرکه‌های سه گانه رنگها، که تحت عنوان شیفت کالریمتری شناخته می‌شود و همچنین تغییرات در سیستم بینایی مشاهده کننده که بر اثر تطبیق صورت می‌گیرد و شیفت تطبیق نام دارد [۵، ۴]. اگر یک جفت جسم رنگی زیر یک منبع نوری همانند باشند؛ اما تحت منبع نوری دیگر به دلیل شیفتهای کالریمتری متفاوت رنگ یکسان نداشته باشند، این پدیده تحت عنوان متاماریزم شناخته می‌شود و میزان اختلاف رنگ حاصل به عنوان اندیس متاماریزم برای جفت نمونه رنگی با توجه به منابع نوری مربوطه شناخته می‌شود. اگر یک جسم به تنهایی زیر یک منبع نوری مشاهده شود و سپس تحت منبع نوری دیگر دارای رنگی متفاوت باشد، ظاهر رنگی جسم تحت منبع نوری دوم، ترکیبی از هر دو پدیده شیفت کالریمتری و شیفت تطبیق خواهد بود که اگر نتیجه این دو شیفت عدم تغییر ظاهر رنگی جسم باشد، پایداری رنگی به طور کامل اتفاق افتاده است. در اکثر موارد، مقداری اختلاف در ظاهر رنگی جسم تحت دو وضعیت با شرایط مختلف وجود داشته و انحراف از حالت پایداری رنگی را سبب شود که به عنوان ناپایداری رنگی بررسی می‌شود [۵].

ریشه پیدایش متاماریزم را می‌توان در اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار دانست، چراکه اگر دو نمونه زیر منبع نوری مرجع همانند باشند با تغییر منبع نوری، چنانچه هر دو

$$CCI(XYZ) = [(X - X^{1'})^2 + (Y - Y^{1'})^2 + (Z - Z^{1'})^2]^{1/2} \quad (2)$$

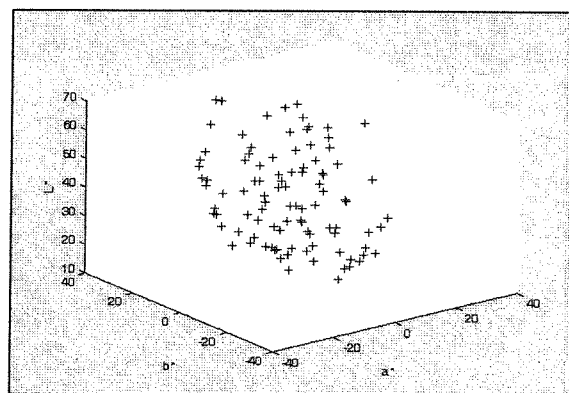
در این رابطه  $X, Y, Z$  مقادیر محرکه های سه گانه جسم زیر منبع نوری مرجع و  $X^{1'}, Y^{1'}, Z^{1'}$  مقادیر محرکه های سه گانه نمونه پس از تطبیق زیر منبع نوری مرجع می باشد که به وسیله مدل تطبیق غیر خطی Nayathani از مقادیر محرکه های جسم زیر منبع مورد آزمایش به دست می آید. در واقع، این محرکه ها ظاهر رنگی یکسان با ظاهر رنگی جسم زیر منبع نوری مورد آزمایش دارند.

با پیشرفت های انجام شده در مورد مدل های تطبیق رنگی و پس از ارائه مدل تطبیق CMCCAT97، کمیته اندازه گیری رنگ (CMC) اندیس ناپایداری رنگی CMCCON97 را پیشنهاد کرد [12] و به دنبال آن اندیس ناپایداری رنگی CMCCON02 ارائه شد [13]. محاسبات مربوط به هر دو اندیس مذکور شامل دو مرحله است: مرحله اول محاسبات، استفاده از مدل تطبیق مربوطه؛ یعنی CMCCAT97 و CAT02 برای پیش بینی جفت مشابه رنگی و بخش دوم، انتخاب یک فرمول اختلاف رنگ مناسب برای بررسی اختلاف بین ظاهر رنگی نمونه زیر منبع نوری مرجع و منبع نوری مورد آزمایش می باشد.

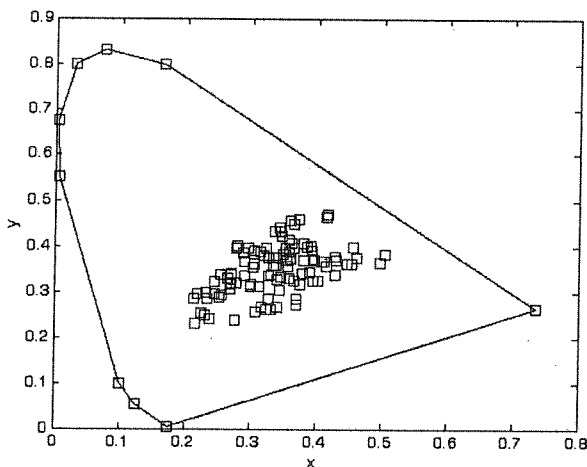
## ۲- تجربیات

### ۲-۱- نمونه های مورد استفاده

در این تحقیق، از ۹۸ جفت متامار، که با استفاده از مواد رنگزای اسیدی بر روی پارچه پشمی خالص تهیه شده بودند [8] استفاده شد. منحنی های انعکاسی این نمونه ها، که با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Tex Flash) ساخت کارخانه Data Color به روش اندازه گیری چند مرحله ای با میانگین گیری در فواصل ۲۰ نانومتری به دست آمده بودند، در دسترس بود. نمونه های مذکور دارای فامهای گوناگونی بوده و بخش مناسبی از محدوده رنگی (color gamut) را پوشش داده اند. موقعیت این نمونه ها در فضای  $L^*a^*b^*$  و همچنین xy در شکل (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت ۹۸ جفت متامار در فضا رنگ CIELAB



شکل (۲): موقعیت ۹۸ جفت متامار در فضای xy

### ۲-۲- روش انجام محاسبات

با توجه به اینکه ریشه پیدایش متاماریزم اختلاف در ناپایداری رنگی، جفتهای متامار است، در مورد ۹۸ جفت متامار موجود ارتباط بین مقادیر اندیس متاماریزم و قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی آنها، با روش رگرسیون بررسی شد. برای این منظور میزان ناپایداری رنگی نمونه ها با دو اندیس CMCCON97 و CMCCON02 محاسبه و در مورد هر اندیس دو فرمول اختلاف رنگ CMC(1:1) و CIEDE2000 استفاده شد. برای محاسبه میزان متاماریزم نیز از دو فرمول اختلاف رنگ مذکور استفاده شد.

روش بررسی بدین ترتیب بود که به عنوان مثال میزان ناپایداری رنگی نمونه ها با اندیس CMCCON97[CMC(1:1)] به دست آمده و قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار محاسبه می شد، سپس بین این نتایج و نتایج حاصل از محاسبه متاماریزم با فرمول اختلاف رنگ CMC(1:1) معادله خطی برای بررسی چگونگی ارتباط این دو برقرار می شد. همچنین در صورتی که در اندیس ناپایداری رنگی از فرمول اختلاف رنگ CIEDE2000 استفاده می شد، نتایج محاسبه متاماریزم با همین فرمول اختلاف رنگ بررسی می شد. مراحل شرح داده شده در مورد اندیس CMCCON02 نیز تکرار شد.

از آنجا که در بیشتر موارد، جفتهای متامار در حقیقت پارامر هستند و زیر منبع نوری مرجع اختلاف رنگی کوچک ولی در حد قابل قبول دارند؛ لذا موقعیت چنین نمونه هایی در فضا رنگ زیر منبع نوری مرجع و مورد آزمایش یک چهار ضلعی تشکیل می دهد که پس از اعمال تصحیح پارامریک به یک مثلث تبدیل می شود. به عنوان مثال موقعیت یک جفت پارامر به نامهای P و Q که مقادیر  $L^*a^*b^*$  آنها تحت دو منبع نوری در جدول (۱) آورده شده است، قبل و بعد از تصحیح پارامریک در

جدول (۱) آورده شده است، قبل و بعد از تصحیح پارامریک در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده است. با تغییر منبع نوری موقعیت نمونه‌ها زیر منبع نوری دوم به علت مسأله تطبیق؛ که در سیستم بینایی اتفاق می‌افتد، تغییر می‌کند؛ از این رو موقعیت جفت متامار مورد مثال پس از اعمال فرمول تطبیق CAT02 نیز در شکل (۲) مشخص شده است.

جدول (۱): مشخصات  $L^*a^*b^*$  دو نمونه P و Q

نمونه	$L^*a^*b^*$	$L^*a^*b^*$
	$D_{65}$	A
P	45.37, -1.48, 22.73	46.48, 3.12, 23.03
Q	46.65, -1.63, 25.33	48.05, 10.07, 24.18

محورهای مختصات نسبت به فرمول اختلاف رنگ مورد نظر استاندارد شده باشند،  $OP'$  و  $OQ'$  میزان ناپایداری رنگی نمونه-ها است و  $PQ$  مقدار متاماریزم قبل از تطبیق و  $P'Q'$  میزان متاماریزم پس از تطبیق است؛ بنابراین چنانچه زاویه بین  $OP'$  و  $OQ'$  کوچک باشد یا به عبارتی جفتهای متامار تقریباً در یک جهت تغییر رنگ دهند به نظر می‌رسد مقدار متاماریزم پس از تطبیق با اختلاف ناپایداری رنگی نمونه‌ها با تقریب کمی برابر باشد. در ضمن اگر مقدار اختلاف بین جفت های متامار قبل و بعد از تطبیق ( $PQ$  و  $P'Q'$ ) تغییر زیادی نداشته باشد و به عبارت دیگر اگر با استفاده از مدل های تطبیق،  $PP'$  و  $QQ'$  تقریباً موازی حرکت کنند، در این صورت می‌توان حتی میزان متاماریزم قبل از تطبیق را از روی اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار تخمین زد، البته به طور معمول نیز اندیسهای متاماریزم بدون در نظر داشتن تطبیق محاسبه می‌شوند.

با توجه به توضیحات فوق، تمامی بررسی‌های اولیه پس از اعمال تصحیح پارامریک از روش تجزیه Cohen & Kappauf [۱۴] تکرار شده و نتایج بررسی و مقایسه شدند.

### ۳- تجزیه و تحلیل نتایج

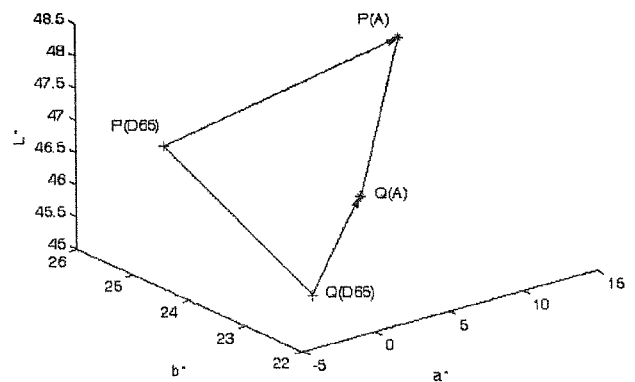
#### ۳-۱- ارتباط اندیس متاماریزم با اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار

جدول (۲) نتایج برقراری معادله خطی به شکل  $y=mx$  بین مقدار اختلاف رنگ جفتهای متامار و قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی آنها را با تغییر منبع نوری از  $D_{65}$  به A نشان می‌دهد.

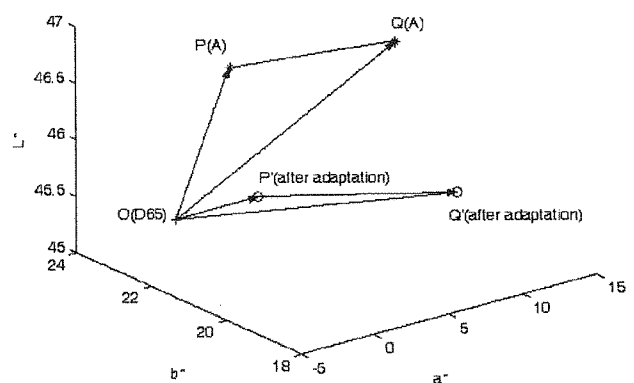
جدول (۲): نتایج معادله خطی بین اختلاف رنگ جفتهای متامار با قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی آنها

فرمول اختلاف رنگ	اندیس ناپایداری رنگی	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	شیب خط
CMC(1:1)	CMCCON97	۰.۹۱۶	۰.۸۳۹	۰.۹۱۶
CMC(1:1)	CMCCON02	۰.۹۰۳	۰.۸۱۶	۰.۹۰۳
CIEDE2000	CMCCON97	۰.۹۱۲	۰.۸۳۲	۰.۹۱۲
CIEDE2000	CMCCON02	۰.۹۰۳	۰.۸۱۶	۰.۹۰۳

همان طور که از نتایج جدول (۲) ملاحظه می‌شود در بکارگیری هر یک از دو فرمول اختلاف رنگ و همچنین دو اندیس ناپایداری رنگی تفاوتی نیست. در ضمن، ضریب همبستگی و ضریب تعیین نسبتاً خوبی به دست آمده که نشان دهنده مناسب بودن رابطه خطی است؛ لیکن با مشاهده نمودارهای پراکنش که به عنوان مثال در مورد اندیس



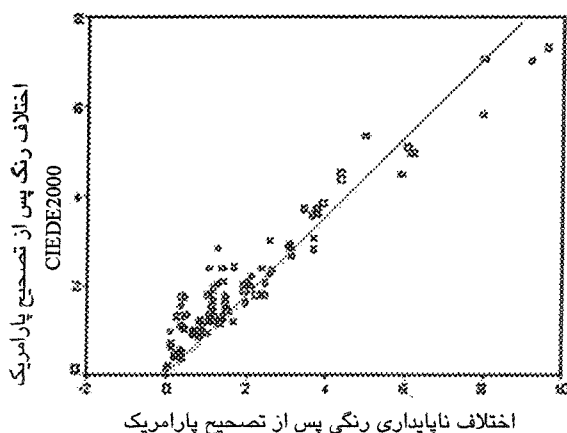
شکل (۲): موقعیت یک جفت متامار زیر منبع نوری مرجع و مورد آزمایش قبل از تصحیح پارامریک



شکل (۳): موقعیت یک جفت متامار در فضا رنگ CIELAB زیر منبع نوری مرجع و مورد آزمایش قبل و بعد از تطبیق با اعمال تصحیح پارامریک

همان طور که در شکل (۴) ملاحظه می‌شود چنانچه

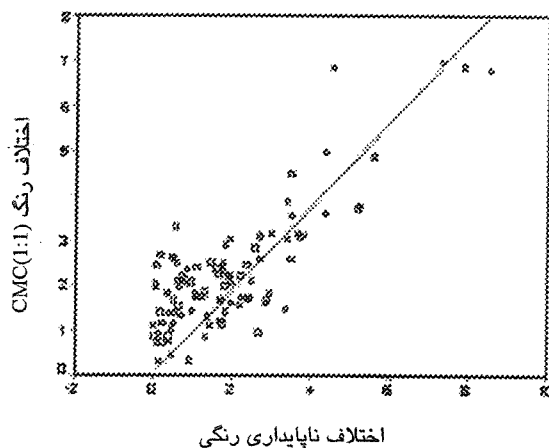
به عنوان نمونه در مورد به کارگیری اندیس متاماریزم CIEDE2000 در مقابل اختلاف ناپایداری رنگی‌های محاسبه شده با [CMC(1:1)CMCCON97] در شکل (۶) نشان داده شده است، مؤید این مطلب است. همان طور که در شکل (۶) مشاهده می شود میزان انحراف نقاط از خط و پراکندگی نقاط به مراتب نسبت به شکل (۵) کاهش یافته است و به نظر می‌رسد بردارهای تغییر رنگ جفتهای متامار با تغییر منبع نوری زاویه کوچکی داشته و تقریباً در یک جهت و با مقادیر متفاوت تغییر رنگ می‌دهند؛ بنابراین با اعمال تصحیح پارامتریک می‌توان مقدار متاماریزم را با تقریب خوبی از اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار تخمین زد.



شکل (۶): اختلاف رنگ جفتهای متامار با فرمول CIEDE2000 در مقابل اختلاف ناپایداری رنگی آنها با اندیس CMCCON97[CIEDE2000] پس از اعمال تصحیح پارامتریک  
۳-۳- ارتباط اندیس متاماریزم پس از تطبیق با اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار با اعمال تصحیح پارامتریک

جدول (۴) نتایج برقراری معادله خطی به شکل  $y=mx$  بین مقدار اختلاف رنگ جفتهای متامار پس از تطبیق و قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی آنها را پس از تصحیح پارامتریک، با تغییر منبع نوری از  $D_{65}$  به  $A$  نشان می‌دهد. از نتایج جدول (۴) و مقایسه آن با جدول (۳) ملاحظه می‌شود همان گونه که انتظار می‌رفت با محاسبه متاماریزم پس از تطبیق، رابطه خطی بدست آمده از دقت بالاتری برخوردار است. در ضمن نمودارهای پراکنش نیز حاکی از پراکندگی کمتر و انطباق بهتر نقاط با خط بوده است که به عنوان مثال در مورد اندیس متاماریزم CIEDE2000 در مقابل اختلاف ناپایداری رنگی‌های محاسبه شده با [CMC(1:1)CMCCON97] در شکل (۷) نشان داده شده است.

متاماریزم CMC(1:1) در مقابل اختلاف ناپایداری رنگی‌های محاسبه شده با اندیس [CMC(1:1)CMCCON97] در شکل (۵) نشان داده شده است، ملاحظه می‌شود میزان انحراف نقاط و پراکندگی در اطراف خط زیاد بوده و نمی‌توان ارتباط خطی به دست آمده را قبول کرد.



شکل (۵): اختلاف رنگ جفتهای متامار با فرمول CMC(1:1) در مقابل اختلاف ناپایداری رنگی آنها با اندیس CMCCON97[CMC(1:1)]

### ۳-۲- ارتباط اندیس متاماریزم با اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار پس از تصحیح پارامتریک

جدول (۳) نتایج برقراری معادله خطی به شکل  $y=mx$  بین مقدار اختلاف رنگ جفتهای متامار و قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی آنها را پس از تصحیح پارامتریک، با تغییر منبع نوری از  $D_{65}$  به  $A$  نشان می‌دهد.

جدول (۳): نتایج معادله خطی بین اختلاف رنگ جفتهای متامار با قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی آنها پس از تصحیح پارامتریک

شیب خط	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	اندیس ناپایداری رنگی	فرمول اختلاف رنگ
۰.۹۷۶	۰.۹۵۳	۰.۹۷۶	CMCCON97	CMC(1:1)
۰.۹۶۵	۰.۹۳۱	۰.۹۶۵	CMCCON02	CMC(1:1)
۰.۹۷۱	۰.۹۴۳	۰.۹۷۱	CMCCON97	CIEDE2000
۰.۹۶۳	۰.۹۲۸	۰.۹۶۳	CMCCON02	CIEDE2000

چنانچه از نتایج جدول (۳) ملاحظه می‌شود همچنان بین اندیسهای مختلف تفاوت چندانی وجود ندارد هرچند که تا اندازه ای بکارگیری CMCCON97 نتایج بهتری داشته است. در مقایسه جدول (۳) با جدول (۲) ملاحظه می‌شود که مطابق انتظار، نتایج به مراتب بهتر شده است و نمودارهای پراکنش، که

جدول (۴): نتایج معادله خطی بین اختلاف رنگ جفتهای متامار پس از تطبیق با قدر مطلق اختلاف ناپایداری رنگی آنها پس از تصحیح پارامریک

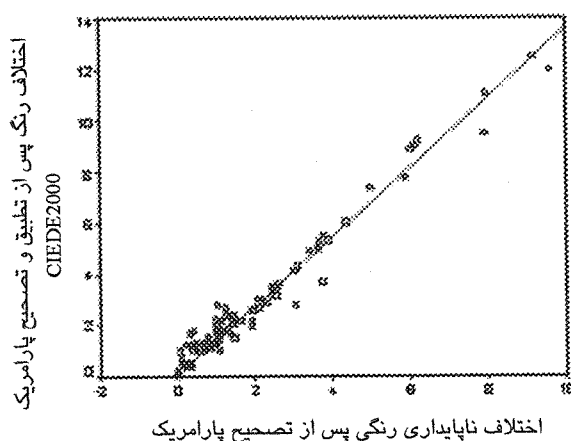
شیب خط	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	اندیس ناپایداری رنگی	انتقال تطبیق رنگی	فرمول اختلاف رنگ
۰.۹۸۲	۰.۹۶۴	۰.۹۸۲	CMCCON97	CMCCAT97	CMC(1:1)
۰.۹۷۱	۰.۹۴۳	۰.۹۷۱	CMCCON02	CAT02	CMC(1:1)
۰.۹۹۱	۰.۹۸۲	۰.۹۹۱	CMCCON97	CMCCAT97	CIEDE2000
۰.۹۸۸	۰.۹۷۶	۰.۹۸۸	CMCCON02	CAT02	CIEDE2000

یابد.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت که با تغییر منبع نوری بردارهای حرکتی جفتهای متامار زاویه کوچکی با یکدیگر می‌سازند و با مقادیر متفاوت لیکن تقریباً در یک جهت، تغییر رنگ می‌دهند. از این رو پس از اعمال تصحیح پارامریک مقدار اندیس متاماریزم را با دقت قابل قبولی می‌توان برابر اختلاف در مقدار اندیس ناپایداری رنگی جفتهای متامار دانست.

## ۵- مراجع

- [۱] R.S.Berns, "Billmeyer and Saltzman Principles of Color Technology", 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [۲] R.McDonald, "Colour Physics for Industry", The Society of Dyers and Colourists, Bradford, 1987
- [۳] B.Judd and G.Wyszecki, "Color in Business, Science and Industry" 2ed. Wiley, New York, 1967.
- [۴] K.Mclaren, "The Colour of Dyes and Pigments", Adam Hilger, Bristol, 1986.
- [۵] M.R.Luo, R.W.G.Hunt, "A Chromatic Adaptation Transform and a Colour Inconstancy Index", Color Res. And Appl., Vol.23 No.3, 1998P 154.
- [۶] A.K.R.Choudhury, S.M.Chatterjee, "Evaluation of the Performance of Metameric Indices", Color Res. And Appl., Vol.21, No.1, 1996 P26.
- [۷] W.G.Kuo, "Quantification of Metamerism and Colour Constancy",  
[http://colour.derby.ac.uk/colour/people/student/former/wg\\_kuo.html](http://colour.derby.ac.uk/colour/people/student/former/wg_kuo.html)
- [۸] امانی تهران، محمد؛ مرادیان، سیامک؛ "بررسی کارایی اندیس های متاماریزم و اثر تصحیح پارامریک بر روی جفت نمونه های واقفعی متاماریک"، مجله علمی و پژوهشی امیرکبیر، ش ۵۰، ص ۲۱۵ تا ۲۲۳، ۱۳۸۱.
- [۹] H. Xu, M.R. Luo and B. Rigg, "Evaluation of daylight simulators. Part2: Assessment of the quality of daylight simulators using actual metameric pairs", Color. Technol., Vol.119, 2003, P253.



شکل (۷): اختلاف رنگ جفتهای متامار با فرمول CIEDE2000 پس از تطبیق با استفاده از مدل CMCCAT97 در مقابل اختلاف ناپایداری رنگی آنها با اندیس CMCCON97[CIEDE2000] پس از اعمال تصحیح پارامریک

## ۸- نتیجه

در این تحقیق، برای بررسی ارتباط بین اندیس‌های متاماریزم بر مبنای فرمول های اختلاف رنگ و اندیس های ناپایداری رنگی از ۹۸ جفت متامار؛ که از پوشش مناسبی در محدوده رنگی برخوردار بوده‌اند، استفاده شده است. نتایج حاصل نشان داد همان گونه که از نظر مفهومی ریشه پیداش متاماریزم اختلاف در ناپایداری رنگی جفتهای متامار با تغییر منبع نوری است از نظر محاسباتی نیز ارتباطی نزدیک میان اندیس‌های متاماریزم بر مبنای فرمول‌های اختلاف رنگ و اندیس‌های ناپایداری رنگی وجود دارد؛ به نحوی که با اعمال تصحیح پارامریک می‌توان معادله خطی با شیب تقریباً برابر یک و با دقت مناسب بین مقدار متاماریزم و اختلاف ناپایداری رنگی جفتهای متامار داشت. در صورت محاسبه متاماریزم پس از تطبیق، میزان دقت این رابطه افزایش می-

- M.R.Luo, G.Cui, B.Rigg, "The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIEDE2000", Color Res. And Appl., Vol.26 No.5, 2001, P340. [۱۰]
- A.K.R.Choudhury, "Modern Concepts of Color and Appearance", Science Publishers, Inc., U.S.A, 2000. [۱۱]
- M.R.Luo, R.W.G.Hunt, B.Rigg and K.J.Smith, "Recommended Colour -Inconstancy Index", J.S.D.C., Vol.115, 1999, P183. [۱۲]
- M.R.Luo, C.J.Li, R.W.G.Hunt, B.Rigg and K.J.Smith, "CMC 2002 Color Inconstancy Index CMCCON02", Color.Technol., Vol.119, 2003, P280. [۱۳]
- H.S.Fairman, "Metameric Correction using Parameric Decomposition", Color Res. And Appl., Vol.12 No.5, 1987 P261. [۱۴]

## ۶- زیر نویس ها:

- 
- <sup>1</sup> metamerism  
<sup>2</sup> matameric index

