

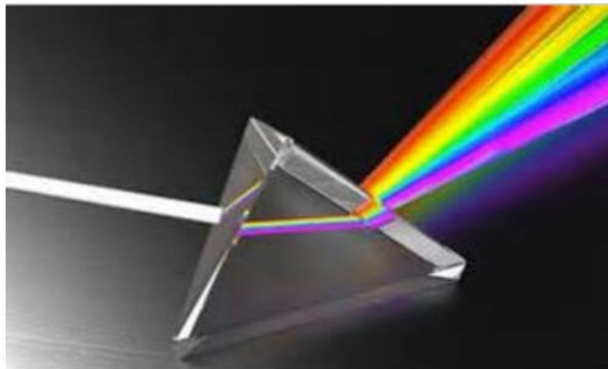
فصل ۸

تصاویر رنگی

۸-۱ مقدمه

به استثنای این فصل، در کلیه فصول کتاب به بررسی تکنیک‌های پردازش تصاویر مقیاس خاکستری پرداخته‌ایم. در فصل آغازین کتاب اشاره کردیم سیستم بینایی انسان در تشخیص تغییرات کوچک در سطوح خاکستری، عملکرد چندان خوبی ندارد. ضعفی که در حضور "رنگ" تا حد بسیار زیادی مرتفع می‌شود. چرا که رنگ یکی از مهم‌ترین توصیف‌گرهای جهان اطراف برای انسان‌ها است و سیستم بینایی انسان ذاتاً با دو مقوله‌ی هماهنگی و اثرپذیری خاصی دارد: رنگ و لبه.

همان‌گونه که در فصل اول اشاره شد، مفهوم فیزیکی رنگ به نور مرئی بازتابیده شده از اجسامی اشاره دارد که نور سفید از یک منبع ساطع‌کننده‌ی نور به آن‌ها تابیده شده باشد. در واقع اجسام مختلف قابلیت جذب بخشی از نور سفید و انعکاس بخشی دیگر را دارند. به طوری که برخی اجسام تمام نور سفید را جذب می‌کنند، در نتیجه هیچ بخشی از نور سفید را منعکس نمی‌کنند و رنگ آن‌ها سیاه به نظر می‌رسد. برخی اشیاء و مواد دیگر هیچ بخشی از نور سفید را جذب نمی‌کنند و تماماً آن را منعکس می‌کنند و در نتیجه سفید دیده می‌شوند. برخی اشیاء هم بین این دو حالت قرار دارند. یعنی بخشی را جذب کرده و بخشی دیگر را منعکس می‌کنند که ما اجسام را به رنگ نورهای مرئی‌ای که منعکس می‌کنند می‌بینیم. در برابر رنگ‌های انعکاسی از اجسام، رنگ‌های نوری قرار دارند که حاصل انعکاس نیستند و خود از تجزیه‌ی نور سفید ایجاد می‌شوند. نور سفید در عبور از منشور کریستالی به نورهای مرئی تجزیه می‌شود که رنگ‌های مختلفی مانند رنگین‌کمان ایجاد می‌کند. این پدیده در سال ۱۶۶۶ توسط اسحاق نیوتن کشف شد. دامنه‌ی این نورهای رنگی به آرامی در رنگ‌های مجاورشان امتداد می‌یابد و در واقع نمی‌توان مرز مشخصی را بین دو رنگ قائل شد. طیف الکترومغناطیسی نور رنگی که حاصل تجزیه‌ی نور سفید است، در محدوده‌ی ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر قرار دارد. شکل ۸-۱ تجزیه‌ی نور سفید به وسیله‌ی منشور را نمایش می‌دهد.



شکل ۸-۱ تجزیه‌ی نور سفید به وسیله‌ی منشور کریستالی.

پردازش تصویر رنگی به دو شاخه‌ی عمده‌ی پردازش تصاویر رنگی واقعی و پردازش تصاویر شبه‌رنگی^۱ تقسیم می‌شود. در گروه اول، تصاویر معمولاً به وسیله‌ی حسگرهای تمام رنگی، مانند حسگرهای دوربین CCTV ایجاد می‌شوند. در گروه دوم، رنگ به یک شدت خاص یا ترکیبی از شدت‌ها نسبت داده می‌شود.

کمیت‌هایی که برای توصیف کیفیت منبع نور رنگی وجود دارد که عبارتند از:

- تابندگی^۲: انرژی که از منبع نور ساطع می‌شود. (واحد اندازه‌گیری: وات (W))
 - درخشندگی^۳: انرژی که دریافت‌کننده می‌تواند از منبع نور دریافت کند. (واحد اندازه‌گیری: لامن (lm))
 - روشنایی^۴: توصیف ذهنی در مورد رنگ بر اساس شدت تصویر. (واحد اندازه‌گیری: ندارد)
- در این بخش مروری اجمالی بر مفهوم رنگ خواهیم داشت و برخی از روش‌های پردازش تصاویر رنگ را بررسی می‌کنیم.

۸-۲ دریافت رنگ

توصیف نور، هسته‌ی علم رنگ است. اگر نور فاقد رنگ باشد، تنها صفت آن، شدت یا مقدار است. نور بی‌رنگ، همان نوری است که در تلویزیون سیاه و سفید دیده می‌شود، که موضوع ضمنی بحث ما در پردازش تصویر بود که تاکنون مطرح شد. مطالعه رنگ شامل سه زمینه است:

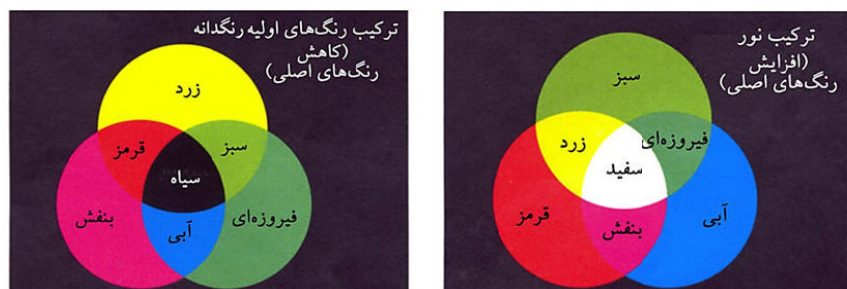
۱. ویژگی‌های فیزیکی نور که سبب تولید رنگ می‌شود.
۲. خصوصیات چشم انسان و روش‌هایی که با آن رنگ‌ها را شناسایی می‌کند.
۳. ماهیت مرکز بینایی در مغز انسان و روش‌هایی که با آن، پیام‌هایی که از چشم صادر می‌شوند، به عنوان رنگ دریافت می‌شوند.

همان‌طور که در فصل ۱ دیدیم، نور مرئی بخشی از طیف الکترومغناطیس است. مقادیر طول موج‌های آبی^۱، سبز^۲ و قرمز^۳ در سال ۱۹۳۱ توسط CIE^۴ که سازمان متصدی استانداردهای رنگ است، مشخص شد.

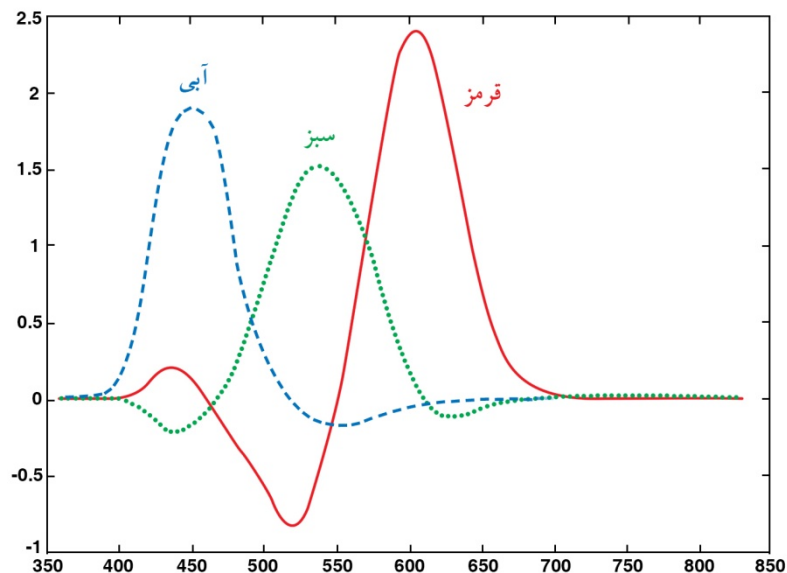
سیستم بینایی انسان رنگ را به صورت ترکیبی از مقادیر مختلف قرمز، سبز و آبی دریافت می‌کند. به عبارت دیگر، سیستم بینایی انسان به این سه رنگ بسیار حساس است و این حساسیت، حاصل عملکرد سلول‌های مخروطی موجود در شبکیه چشم است. آزمایشات متعددی نشان دادند که ۶ تا ۷ میلیون مخروط در چشم انسان وجود دارند که می‌توانند به سه دسته حس‌کننده اصلی تقسیم شوند که متناظر با قرمز، سبز و آبی‌اند. تقریباً ۶۵ درصد در تمام مخروط‌ها به نور قرمز، ۳۳ درصد به نور سبز، و فقط ۲ درصد به نور آبی حساس‌اند (اما حساس‌ترین مخروط‌ها، آبی‌اند) سه رنگ یاد شده، رنگ‌های اصلی نامیده می‌شوند. با ترکیب هر دو رنگ اصلی نوری، یک رنگ فرعی نوری به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{ارغوانی (بنفش)} &= \text{قرمز} + \text{آبی} \\ \text{آبی اقیانوسی (فیروزه‌ای)} &= \text{سبز} + \text{آبی} \\ \text{زرد} &= \text{قرمز} + \text{سبز} \end{aligned}$$

ترکیبات فرعی نوری فوق را در شکل ۸-۲ (الف) مشاهده می‌کنید. تفاوت‌های بین رنگ‌های اولیه‌ی نوری و رنگ‌های اولیه‌ی رنگدانه یا کلرانت، مهم است. در رنگدانه، رنگ اولیه به عنوان رنگی تعریف می‌شود که رنگ اولیه‌ی نوری را جذب یا کم می‌نماید، و دو رنگ دیگر را انعکاس یا عبور می‌دهد. بنابراین، رنگ‌های اولیه‌ی رنگدانه عبارتند از: بنفش، فیروزه‌ای، و زرد، و رنگ‌های ثانویه‌ی رنگدانه عبارتند از: قرمز، سبز و آبی. این رنگ‌ها در شکل ۸-۲ (ب) نشان داده شده‌اند. ترکیب مناسبی از سه رنگ اولیه‌ی رنگدانه، یا یک رنگ ثانویه با متضاد اصلی خودش، رنگ سیاه را تولید می‌کند.



شکل ۸-۲ ترکیبات فرعی نور رنگی و رنگدانه.



شکل ۸-۳ توابع تطبیق رنگ RGB (CIE, ۱۹۳۱).

مقدار هر یک از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی که یک رنگ جدید را ایجاد می‌کنند را می‌توان از طریق آزمون تطبیق رنگ^۱ به دست آورد. در این آزمون‌ها از افراد خواسته می‌شود که یک رنگ خاص را از ترکیب سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی بسازند. چنین آزمونی در سال ۱۹۳۱ توسط CIE انجام شد که نتایج حاصل را در شکل ۸-۳ مشاهده می‌کنید.

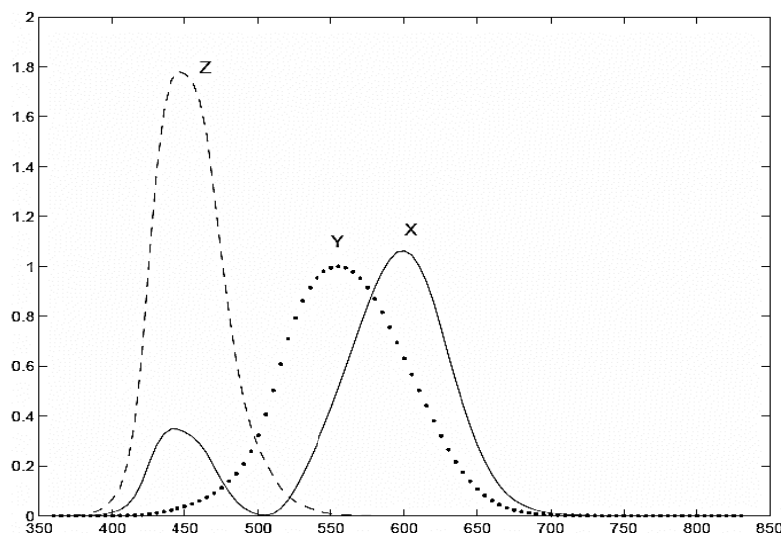
توجه داشته باشید برخی از طول موج‌ها، مقادیر قرمز، سبز یا آبی، منفی هستند که به لحاظ فیزیکی امکان‌پذیر نیست. ولی با اضافه نمودن اشعه‌ی اصلی به منبع رنگ برای حفظ ترکیب رنگ، قابل تفسیر است.

برای حذف مقادیر منفی از اطلاعات رنگ، CIE مدل رنگ XYZ را معرفی نمود. مقادیر X ، Y و Z با استفاده از یک تبدیل خطی روی مقادیر متناظر R (قرمز)، G (سبز) و B (آبی) قابل استخراج هستند:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.431 & 0.342 & 0.178 \\ 0.222 & 0.707 & 0.071 \\ 0.020 & 0.130 & 0.939 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

با معکوس نمودن ماتریس، تبدیل معکوس به سادگی حاصل می‌شود:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.063 & -1.393 & -0.476 \\ -0.969 & 1.876 & 0.042 \\ 0.068 & -0.229 & 1.069 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$



شکل ۸-۴ توابع تطبیق رنگ XYZ (CIE, ۱۹۳۱).

توابع تطبیق رنگ XYZ متناظر با منحنی های R ، G و B شکل ۳-۸ در شکل ۴-۸ نشان داده شده‌اند. ماتریس‌های داده شده ثابت نیستند. مطابق با تعریف رنگ سفید، می‌توان ماتریس‌های دیگری تعریف نمود. لذا تعاریف دیگر از سفید منجر به ماتریس‌های تبدیل دیگری می‌شود. طبق تعریف CIE، مؤلفه‌ی Y مربوط به روشنایی رنگ است. به همین دلیل مجموع عناصر سطر مربوط به Y در ماتریس اول (سطر دوم)، برابر با ۱ است؛ و منحنی Y در شکل ۴-۸، نسبت به محل نیمه‌ی طیف مرئی، متقارن است.

به طور کلی مقادیر X ، Y و Z مورد نیاز برای تشکیل یک رنگ، مقادیر نسبت رنگ^۱ نامیده می‌شوند. مقادیر متناظر با هر رنگ از طریق جداول منتشر شده در دسترس است. برای بیان رنگ به صورت مستقل از روشنایی، مقادیر نسبت رنگ را با تقسیم بر $X + Y + Z$ می‌توان نرمال‌سازی نمود:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (۱-۸)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (۲-۸)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (۳-۸)$$

و بنابراین $x + y + z = 1$ است. هر رنگ را می‌توان تنها با x و y که مختصات رنگینگی^۲ نامیده می‌شوند، تعریف نمود. با داشتن x و y و Y ، مقادیر X و Z از عبارات (۴-۸) و (۵-۸) به دست می‌آیند.

۱. مقادیر نسبی رنگ‌های اصلی که برای ایجاد رنگ‌های دیگر با هم ترکیب می‌شوند (tristimulus).

2. Chromaticity coordinates

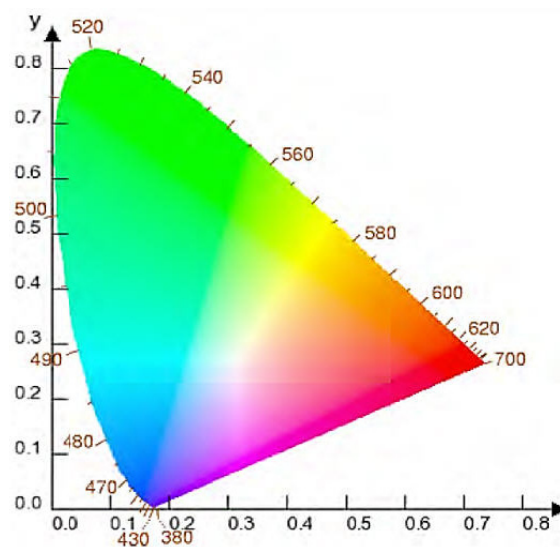
$$X = \frac{x}{y}Y \quad (۴-۸)$$

$$Z = \frac{1-x-y}{y}Y \quad (۵-۸)$$

نمودار رنگینگی را می توان از روی مقادیر XYZ و یا با استفاده از فایل *ciexyz31.txt* ترسیم نمود:

```
>> wxyz=load('ciexyz31.txt');
>> xyz=wxyz(:,2:4)';
>> xy=xyz'./ (sum(xyz)'*[1 1 1]);
>> x=xy(:,1)';
>> y=xy(:,2)';
>> figure,plot([x x(1)],[y y(1)]),xlabel('x'),ylabel('y'),axis
square
```

در این جا ماتریس xyz شامل ستون های دوم، سوم و چهارم داده ها است و شکل نمودار، تابعی است که یک چند ضلعی با رئوس برگرفته از بردارهای x و y را ترسیم می نماید. مقادیر $x(1)$ و $y(1)$ ، پیوستگی اطلاعات چند ضلعی را تضمین می کنند. نتیجه را در شکل ۵-۸ مشاهده می کنید. مقادیر x و y که داخل نموداری شبیه نعل اسب در شکل ۵-۸ قرار می گیرند، متناظر با رنگ هایی هستند که به لحاظ فیزیکی قابل تشخیص اند. شرح مفصلی از نظریه ی مدل XYZ و رنگ های مرتبط، در فولی^۲ و همکاران [۵] ارائه شده است.



شکل ۵-۸ نمودار رنگینگی.

۱. این فایل را می توانید از آزمایشگاه های پژوهش بینایی و رنگ در آدرس اینترنتی <http://www.cvrl.org> تهیه نمایید.

2. Foley et al.

کاووش ۸-۱: یک کارخانه اتومبیل سازی، قطعات سپر را به صورت خودکار بر روی خطوط تولید اتومبیل های ورزشی قرار می دهد. قطعات دارای مختصات رنگی اند، لذا روبات ها باید رنگ هر یک از اتومبیل ها را بدانند تا یک قطعه سپر مناسب را انتخاب کنند. مدل ها فقط با چها رنگ مشخص می شوند: آبی، سبز، قرمز و سفید. از شما خواسته می شود تا بر اساس تصویربرداری، راه حلی برای این مسأله ارائه کنید. چه روشی را برای تعیین خودکار رنگ هر اتومبیل پیشنهاد می کنید؟ (هزینه در انتخاب قطعات مهم ترین نکته است).

پاسخ:

یک راه حل ممکن، استفاده از دوربین تک رنگی است که مجهز به یک قطعه ی مکانیکی باشد که این قطعه ی مکانیکی به صورت متوالی فیلترهای آبی گذر، قرمز گذر، و سبز گذر را در جلوی لنز قرار دهد. رنگ فیلتری که قوی ترین پاسخ دوربین را دریافت می کند، رنگ قطعه است. اگر پاسخ دوربین به هر سه فیلتر، برابر باشد، قطعه ی سفید است. روش سریع تری که می توان ارائه داد، استفاده از سه دوربین مجزا است که هر یک، به فیلتر گذر دهنده ی یک رنگ مجهز باشند. در این صورت، تعیین پاسخ نهایی منوط به مقایسه ی پاسخ های سه دوربین خواهد بود. روش دوم کمی پرهزینه، اما سریع تر است و قابلیت اطمینان بیشتری دارد. توجه داشته باشید که در هر دو راه حل، فرض بر این است که تنظیمات تصویربرداری دوربین به گونه ای است که کل فضای مقابل لنز، از یک رنگ تشکیل شود (یعنی دوربین طوری روی خودرو زوم می شود که کل تصویر دریافتی اش، رنگ خودرو باشد). در غیر این صورت، باید تحلیل مضاعفی برای تفکیک ناحیه ی رنگ مورد نظر صورت پذیرد. ■

۸-۳ مدل های رنگ

روش استاندارد مشخص نمودن رنگ ها، مدل رنگ^۱ نام دارد. به طور کلی یک مدل رنگ شامل یک سیستم مختصات سه بعدی و زیرفضایی از سیستم است که در آن هر رنگ به صورت یک نقطه نمایش داده می شود.

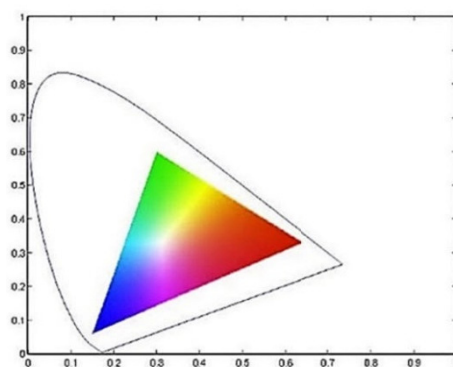
هدف مدل رنگ تسهیل تعیین مشخصات رنگ ها در یک استاندارد است که معمولاً روش قابل قبولی است. در اصل، مدل رنگ، مشخصات سیستم مختصات و زیرفضایی در داخل آن سیستم است که در آن، هر رنگ فقط با یک نقطه نمایش داده می شود.

اغلب مدل های رنگی که امروزه به کار می روند، به سمت سخت افزار (مانند مانیتورها و چاپگرهای رنگی) یا کاربردهایی گرایش دارند که هدف آن ها کارکردن با رنگ ها می باشد (مثل ایجاد گرافیک های رنگی برای پویانمایی^۲). بر اساس اصطلاحات پردازش تصویر، مدل های سخت افزاری که معمولاً در عمل به کار می آیند، عبارتند از مدل RGB (قرمز، سبز، آبی) برای مانیتورهای رنگی و دسته

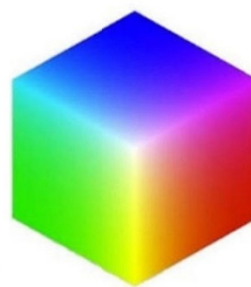
وسیعی از دوربین‌های ویدیویی رنگی؛ مدل‌های CMY (فیروزه‌ای، بنفش و زرد) و CMYK (فیروزه‌ای، بنفش، زرد، سیاه) برای چاپ رنگی؛ و مدل HSI (پرده‌ی رنگ (رنگمایه)، اشباع، شدت) که خیلی نزدیک به تفسیر و توصیف انسان از رنگ‌ها است. امتیاز مدل HSI این است که اطلاعات رنگ و سطح خاکستری موجود در تصویر را تفکیک می‌کند، و آن را برای بسیاری از تکنیک‌های سطح خاکستری که در این کتاب بررسی می‌شوند، مناسب می‌کند. امروزه مدل‌های رنگی متعددی وجود دارند، زیرا علم رنگ‌شناسی، حوزه‌ی وسیعی است که حوزه‌های بسیاری از کاربردها را دربرمی‌گیرد. در این جا سعی می‌کنیم بعضی از مدل‌های پایه‌ی پردازش تصویر را بررسی کنیم.

۸-۳-۱ مدل رنگ RGB

در این مدل، هر رنگ به صورت ترکیبی از R ، G و B که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقادیر قرمز، سبز و آبی هستند، نمایش داده می‌شود. این مدل رنگ در صفحه‌نمایش کامپیوتر به کار می‌رود. مانیتور دارای سه پرتابگر الکترون^۱ مجزا برای مؤلفه‌های قرمز، سبز و آبی در هر رنگ است. در فصل ۱ با این مدل آشنا شدیم. مدل مبتنی بر سیستم مختصات دکارتی است. زیرفضای رنگی مورد نظر، مکعبی است که در شکل ۱-۳۴ در فصل ۱ نشان داده شده است، که در آن مقادیر اولیه‌ی RGB در سه گوشه قرار دارند؛ رنگ‌های ثانویه فیروزه‌ای، بنفش، و زرد در سه گوشه‌ی دیگر واقع‌اند. سیاه در مبدأ قرار دارد، و سفید در دورترین گوشه از مبدأ واقع است. در این مدل، سطح خاکستری (نقاطی با مقادیر RGB یکسان) از سیاه به سفید در امتداد خطی که این دو نقطه را به هم متصل می‌کند، قرار دارد. رنگ‌های مختلف در این مدل، نقاطی در داخل یا روی مکعب هستند، و توسط بردارهایی تعریف می‌شوند که از مبدأ عبور می‌کند. شکل ۸-۶ (الف) نسخه‌ی رنگی مکعب شکل ۱-۳۴ را نمایش می‌دهد.



(ب) محدوده‌ی RGB در نمودار رنگینگی



(الف) مکعب رنگ RGB

شکل ۸-۶ نمودارهای RGB


```
function res=gamut()
global cg;
x2r=[3.063 -1.393 -0.476;-0.969 1.876 0.042;0.068 -0.229 1.069];
cg=zeros(100,100,3);
for i=1:100,
for j=1:100,
cg(i,j,:)=x2r*[j/100 i/100 1-i/100-j/100]';
if min(cg(i,j,:))<0,
cg(i,j,:)= [1 1 1];
end;
end;
end;
res=cg;
```

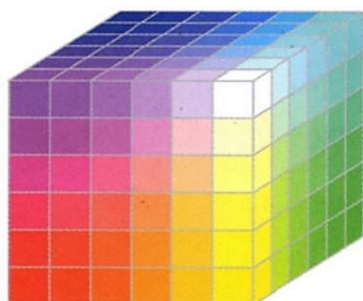
شکل ۷-۸ تابع محاسبه‌ی محدوده‌ی RGB.

در شکل ۷-۸ مشاهده نمودید برخی از رنگ‌ها دارای مقادیر منفی R ، G و B بودند. این رنگ‌ها در مانیتور یا صفحه‌ی تلویزیون که فقط قادر به تشخیص مقادیر مثبت هستند، قابل شناسایی نیستند. رنگ‌های دارای مقادیر مثبت، محدوده‌ی RGB را تشکیل می‌دهند. به طور کلی، محدوده‌ی رنگ شامل تمام رنگ‌های قابل شناسایی در یک مدل رنگ خاص است. با استفاده از مختصات xy به دست آمده در بالا، می‌توانیم محدوده‌ی RGB را در نمودار رنگینگی ترسیم کنیم. برای تعریف محدوده باید یک آرایه‌ی $3 \times 100 \times 100$ بسازیم و به هر درایه، یک سه‌تایی مرتب XYZ که به صورت $(i/100, j/100, 1-i/100-j/100)$ تعریف می‌شود، اختصاص دهیم. سپس می‌توانیم سه‌تایی RGB مربوطه را محاسبه کرده و در صورتی که هر یک از مقادیر RGB منفی شدند، مقدار خروجی را سفید تعیین نماییم. این کار به سادگی با تابع نمایش داده شده در شکل ۷-۸ انجام می‌شود. سپس می‌توانیم با استفاده از دستور زیر، محدوده‌ی RGB را در نمودار رنگینگی نمایش دهیم:

```
>> imshow(cg), line([x' x(1)], [y' y(1)]), axis square, axis xy, axis on
```

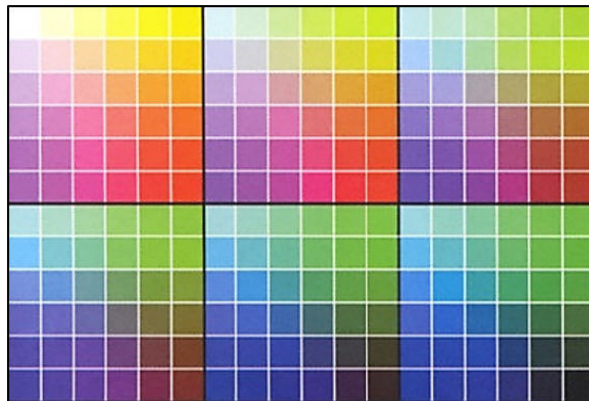
نتیجه در شکل ۷-۸ (ب) نمایش داده شده است.

گرچه مانیتورها و کارت‌های نمایش با کیفیت بالا، تفسیر معقولی از رنگ‌ها را در تصویر ۲۴ بیتی RGB فراهم می‌کند، اغلب سیستم‌هایی که امروزه در حال استفاده‌اند، فقط به ۲۵۶ رنگ محدود هستند. همچنین، کاربردهای متعددی وجود دارند که در آن‌ها صد رنگ یا کمتر از صد رنگ مورد



شکل ۸-۸ مکعب امن RGB.

استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به سیستم‌های متنوع امروزی، علاقه چشمگیری به زیرمجموعه‌ای از رنگ‌ها وجود دارد که احتمالاً به خوبی تولید می‌شوند و مستقل از قابلیت‌های سخت‌افزار بیننده‌اند. این زیرمجموعه از رنگ‌ها را رنگ‌های RGB امن، یا مجموعه‌ای از رنگ‌های سیستم امن می‌نامند. در کاربردهای اینترنت، به نام رنگ‌های امن وب یا رنگ‌های امن مرورگر خوانده می‌شود. شکل ۸-۸ مکعب رنگ امن RGB را نمایش می‌دهد.



شکل ۸-۹ رنگ‌های مکعب امن ۲۱۶ رنگی RGB.

با فرض این که ۲۵۶ رنگ، کمترین تعداد رنگ‌هایی است که دقیقاً توسط سیستمی بازتولید می‌شود که نتیجه‌ی مطلوبی باید نمایش داده شود، باید برای مراجعه به این رنگ‌ها نمادگذاری استاندارد قابل قبولی وجود داشته باشد. چهل رنگ از این ۲۵۶ رنگ، توسط انواع سیستم‌های عامل به صورت‌های مختلفی پردازش می‌شوند، و فقط ۲۱۶ رنگ باقی می‌ماند که برای اغلب سیستم‌ها مشترک است. این ۲۱۶ رنگ به عنوان استاندارد عملی رنگ‌های امن محسوب می‌شوند، به خصوص در کاربردهای اینترنت. لذا هر صفحه دارای ۳۶ رنگ است. از این رو سطح کامل مکعب تمام‌رنگی، با ۲۱۶ رنگ مختلف پوشانده شده است، و این همان چیزی است که انتظار داریم. شکل ۸-۹ تمام وجوه ۳۶ رنگی از مکعب امن ۲۱۶ رنگی را نمایش می‌دهد.

هر وقت مطلوب باشد که رنگ‌هایی که توسط اغلب افراد دیده می‌شود، یکسان باشند، از آن‌ها استفاده خواهد شد. هر یک از ۲۱۶ رنگ امن، همانند قبل، از سه مقدار RGB ایجاد می‌شوند، اما هر مقدار فقط می‌تواند ۰، ۵۱، ۱۰۲، ۱۵۳، ۲۰۴، یا ۲۵۵ باشد. بنابراین، سه تایی‌های RGB مربوط به این مقادیر، $۲۱۶ = (۶^۳)$ مقادیر ممکن را تولید می‌کند (توجه کنید که تمام مقادیر بر ۳ قابل قسمت هستند). معمولاً این مقادیر به مبنای ۱۶ بیان می‌شوند که در جدول ۸-۱ آمده‌اند. می‌دانید که اعداد مبنای شانزده ۰، ۱، ۲، ...، ۹، A، B، C، D، E و F متناظر با اعداد دهدهی ۰، ۱، ۲، ...، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ هستند. به عنوان مثال، $(1111111)_2 = (255)_{10} = (FF)_{16}$ و مشاهده می‌شود که گروه‌بندی دو عدد مبنای شانزده، یک بایت ۸ بیتی را ایجاد می‌کند. چون برای ایجاد رنگ RGB به سه عدد نیاز است، هر رنگ امن، از سه عدد مبنای شانزده دورقمی در جدول ۸-۱ تشکیل می‌شود. به عنوان مثال، خالص‌ترین قرمز FF0000 است. مقادیر 000000 و FFFFFFFF به ترتیب سیاه و سفید را نشان می‌دهند. توجه کنید که با استفاده از نمادگذاری دهدهی نیز نتیجه‌ی مشابهی به دست می‌آید. به عنوان مثال، روشن‌ترین قرمز در نمادگذاری دهدهی با $R = 255(FF)$ و $G = B = 0$ مشخص می‌گردد.

جدول ۸-۱ مقادیر معتبر هر مولفه‌ی RGB در رنگ امن.

سیستم اعداد		معادل‌های رنگ				
مبنای شانزده	000	33	66	99	CC	FF
	0	51	102	153	204	255

جدول ۸-۲ ستون‌های رنگ RGB

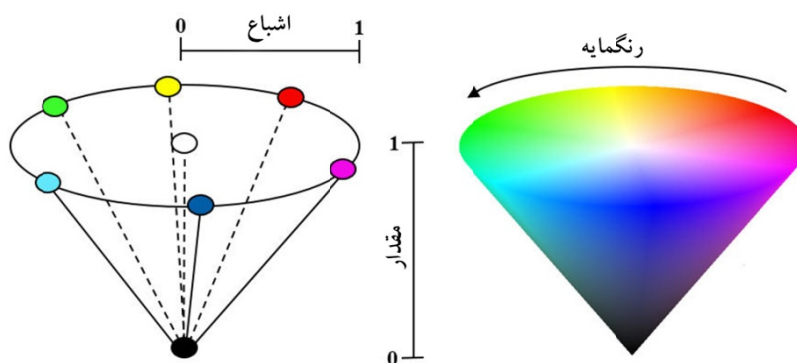
	سیاه	آبی	قرمز	ارغوانی	سبز	اکیانوسی	زرد	سفید	دامنه‌ی نوسان
R	0	0	255	255	0	0	255	255	0 to 255
G	0	0	0	0	255	255	255	255	0 to 255
B	0	255	0	255	0	255	0	255	0 to 255

مقادیر مولفه‌های رنگ در هر یک از رنگ‌های مدل حقیقی RGB در جدول ۸-۲ آمده است. در این جدول ستون‌های رنگ RGB را با رنگمایه و اشباع ۱۰۰٪ مشاهده می‌کنید. در بخش بعد مفاهیم رنگمایه و اشباع را معرفی می‌کنیم.

۸-۳-۲ مدل رنگ HSV / HSI / HLS و تبدیل RGB

HSV برخاسته از حروف آغازین کلمات رنگمایه^۱، اشباع^۲ و مقدار^۳ است. در بسیاری از مواقع از مؤلفه‌ی مقدار با عنوان شدت نیز یاد می‌شود که در سیستم‌های رنگ دارای بار معنایی مشابهی هستند.

- رنگمایه: پرده‌ی رنگ واقعی است، مانند (قرمز، سبز، آبی، نارنجی، زرد و غیره).
 - اشباع (غلظت): مقداری که به اندازه‌ی آن، رنگ با سفید رقیق شده است. استفاده‌ی بیشتر از رنگ سفید در یک رنگ، به معنای اشباع کمتر آن رنگ است. بنابراین قرمز قوی یا پررنگ دارای اشباع بالا و قرمز ضعیف یا کم‌رنگ (مایل به صورتی) دارای اشباع پایین است.
 - مقدار: میزان روشنایی رنگ است. یک رنگ با روشنایی خوب دارای مقدار بالا، و رنگ تیره دارای مقدار پایین است. این روش تعریف رنگ، قابل درک‌تر و شهودی‌تر است و از آنجایی که مقدار، مستقل از اطلاعات رنگ است، این مدل در پردازش تصویر بسیار پرکاربرد است.
- این مدل را می‌توانیم به صورت یک مخروط، همانند شکل ۸-۱۰ به تصویر بکشیم. نقاط روی سطح دارای بیشترین میزان اشباع هستند. اشباع به صورت فاصله‌ی سطح از محور مرکزی ساختار مخروط نشان داده شده است. مقدار رنگ به صورت اندازه‌ی زاویه یک محور از پیش تعیین شده، مانند قرمز تعریف شده است.



شکل ۸-۱۰ مخروط رنگ HSV

مدل HSI و مدل HSV که تفاوت نام آن‌ها در مؤلفه‌ی شدت^۱ (I) و مؤلفه‌ی مقدار (V) است، در حقیقت به لحاظ محاسبه‌ی روشنایی، متفاوت هستند. توزیع و محدوده‌ی فعال I یا V و اشباع را روشنایی تعیین می‌کند. در برخی منابع از مدل HLS نیز نام برده شده که دقیقاً مشابه‌ی HSI است و در آن از خود واژه‌ی "روشنایی"^۲ (L) برای اشاره به مفهوم روشنایی استفاده شده است. مناسب‌ترین مدل برای فرآیندهای سنتی پردازش تصویر مانند پیچش، تعدیل، عملیات‌های مبتنی بر هیستوگرام و ... که در آن‌ها عملیات با دستکاری میزان درخشندگی انجام می‌شود، مدل HSI است. زیرا مؤلفه‌ی I آن به شدت وابسته به R ، G و B است. اما در عملیات‌های مبتنی بر تغییر اشباع (برای جابه‌جایی رنگ‌ها یا تغییر میزان رنگ)، مدل HSV ارجح است. زیرا محدوده‌ی اشباع وسیع‌تری را پوشش می‌دهد. جداول ۳-۸ و ۴-۸ به ترتیب ستون‌های رنگ مربوط به مدل HSV با شدت ۷۵٪ و اشباع ۱۰۰٪، و مدل HSI با اشباع ۱۰۰٪ را نشان می‌دهند.

۸-۳-۲-۱ تبدیل از RGB به HSV

فرض کنید رنگی با مقادیر RGB مشخص شده است. اگر هر سه مقدار R ، G و B یکسان باشند، رنگ مورد نظر مقیاس خاکستری است که یکی از شدت‌های سفید است. چنین رنگی که فقط شامل رنگ سفید است، دارای اشباع صفر می‌باشد. بالعکس، اگر مقادیر RGB بسیار متفاوت باشند، انتظار می‌رود که رنگ حاصل دارای اشباع بالایی باشد. به ویژه اگر یک یا دو مقدار از مقادیر RGB صفر باشند، اشباع برابر با بیشترین مقدار ممکن، یعنی ۱ خواهد بود.

رنگمایه، در بخش‌های اطراف دایره تعریف شده و با قرمز که دارای میزان رنگمایه‌ی صفر است، آغاز می‌شود. با حرکت روی دایره در شکل ۸-۱۰، رنگمایه‌های جدول ۸-۵ را خواهیم داشت.

جدول ۸-۳ ستون‌های رنگ مدل HSV.

سیاه	آبی	قرمز	ارغوانی	سبز	اقیانوسی	زرد	سفید	دامنه‌ی نوسان	H
-	240°	0°	300°	120°	180°	60°	-	0° to 360°	H
0	1	1	1	1	1	1	0	0 to 1	S
0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0 to 1	V

جدول ۸-۴ ستون‌های رنگ مدل HSI.

سیاه	آبی	قرمز	ارغوانی	سبز	اقیانوسی	زرد	سفید	دامنه‌ی نوسان	H
-	240°	0°	300°	120°	180°	60°	-	0° to 360°	H
0	1	1	1	1	1	1	0	0 to 1	S
0	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.75	0 to 1	I

1. Intensity 2. Lightness

جدول ۵-۸ میزان رنگمایه بر اساس شکل ۸-۱۰.

رنگ	قرمز	زرد	سبز	آبی اقیانوسی	آبی	ارغوانی
رنگمایه	0	0.1667	0.3333	0.5	0.6667	0.8333

فرض کنید مقادیر RGB بین صفر و یک داده شده‌اند (بنابراین اگر مقادیر بین صفر و ۲۵۵ باشند، ابتدا هر یک را بر ۲۵۵ تقسیم می‌کنیم). تعاریف زیر را خواهیم داشت:

$$V = \max \{R, G, B\} \quad (۶-۸)$$

$$\delta = V - \min \{R, G, B\} \quad (۷-۸)$$

$$S = \frac{\delta}{V} \quad (۸-۸)$$

برای به دست آوردن رنگمایه، چند مورد باید مدنظر قرار گیرند:

$$۱. \text{ اگر } R = V, \text{ آنگاه } H = \frac{1}{6} \frac{G - B}{\delta}$$

$$۲. \text{ اگر } G = V, \text{ آنگاه } H = \frac{1}{6} \left(2 + \frac{B - R}{\delta} \right)$$

$$۳. \text{ اگر } B = V, \text{ آنگاه } H = \frac{1}{6} \left(4 + \frac{R - G}{\delta} \right)$$

اگر H به یک مقدار منفی ختم شود، مقدار ۱ را به آن اضافه می‌کنیم. در مورد خاص $(R, G, B) = (0, 0, 0)$ که در آن $V = \delta = 0$ است، $(H, S, V) = (0, 0, 0)$ خواهد بود. مثلاً فرض کنید $(R, G, B) = (0.2, 0.4, 0.6)$ داریم:

$$V = \max \{0.2, 0.4, 0.6\} = 0.6$$

$$\delta = V - \min \{0.2, 0.4, 0.6\} = 0.6 - 0.2 = 0.4$$

$$S = \frac{0.4}{0.6} = 0.6667$$

و از آنجایی که $B = V$ داریم:

$$H = \frac{1}{6} \left(4 + \frac{0.2 - 0.4}{0.4} \right) = 0.5833$$

این تبدیل به وسیله‌ی تابع $rgb2hsv$ پیاده‌سازی می‌شود. البته این تابع برای کار روی آرایه‌های

$m \times n \times 3$ طراحی شده است. حال این تابع را روی مثال قبل به کار می‌گیریم:

```
>> rgb2hsv([0.2 0.4 0.6])
ans =
    0.5833    0.6667    0.6000
```

مقادیر به دست آمده از چپ به راست به ترتیب H ، S و V هستند.

۳۷۴ فصل هشتم

لازم به ذکر است که در تبدیلات دیگر [۴] $RGB \leftrightarrow HSV(I)$ داریم:

$$V = 0.333R + 0.333G + 0.333B \quad (۹-۸)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (۱۰-۸)$$

که شدت برابر با میانگین مقادیر اصلی است.

۸-۳-۲ تبدیل از HSV به RGB

برای تبدیل از HSV به RGB، با تعاریف زیر آغاز می‌کنیم:

$$H' = \lfloor 6H \rfloor \quad (۱۱-۸)$$

$$F = 6H - H' \quad (۱۲-۸)$$

$$P = V(1 - S) \quad (۱۳-۸)$$

$$Q = V(1 - SF) \quad (۱۴-۸)$$

$$T = V(1 - S(1 - F)) \quad (۱۵-۸)$$

از آنجایی که H' ، عددی صحیح بین صفر و ۵ است، باید ۶ حالت زیر را در نظر بگیریم:

H'	R	G	B
0	V	T	P
1	Q	V	P
2	P	V	T
3	P	Q	V
4	T	P	V
5	V	P	Q

با مقادیر HSV که در مثال قبل محاسبه کردیم، ادامه می‌دهیم. داریم:

$$H' = \lfloor 6(0.5833) \rfloor = 3$$

$$F = 6(0.5833) - 3 = 0.5$$

$$P = 0.6(1 - 0.6667) = 0.2$$

$$Q = 0.6(1 - (0.6667)(0.5)) = 0.4$$

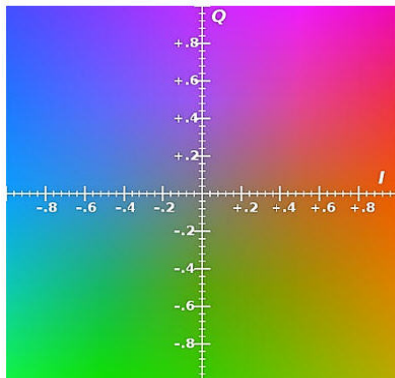
$$T = 0.6(1 - (0.6667)(1 - 0.5)) = 0.4$$

از آنجایی که $H' = 3$ ، داریم:

$$(R, G, B) = (P, Q, V) = (0.2, 0.4, 0.6)$$

این تبدیل با استفاده از تابع $hsv2rgb$ پیاده‌سازی می‌شود.

۳-۳-۸ مدل رنگ YIQ و تبدیل RGB



فضای رنگ YIQ^۱ در تلویزیون/ ویدئو آمریکا و سایر کشورهایی که از استاندارد کمیته ملی سیستم تلویزیون^۲ (NTSC) استفاده می‌کنند، به کار می‌رود (اروپا و استرالیا از PAL^۳ استفاده می‌کنند). در این مدل، Y روشنایی است (تقریباً به مفهوم شدت است)، و I و Q حاوی اطلاعات رنگ هستند. به طوری که I اطلاعات رنگ آبی - نارنجی و Q اطلاعات رنگ بنفش - سبز را نگهداری می‌کند. شکل ۸-۱۱ نمودار

سیستم رنگ YIQ را در شدت $Y = 0.5$ نشان می‌دهد. گفتنی شکل ۸-۱۱ نمودار سیستم رنگ YIQ است که چشم انسان به تغییرات آبی - نارنجی حساسیت بیشتری نشان می‌دهد تا تغییرات بنفش - سبز. از این رو Q به پهنای باند کمتری در مقایسه با I نیاز دارد. تبدیل بین YIQ و RGB بسیار ساده است:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.956 & 0.621 \\ 1.000 & -0.272 & -0.647 \\ 1.000 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

دو ماتریس تبدیل فوق، معکوس یکدیگر هستند. به تفاوت بین Y و V توجه کنید:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (۸-۱۶)$$

$$V = \max \{R, G, B\} \quad (۸-۱۷)$$

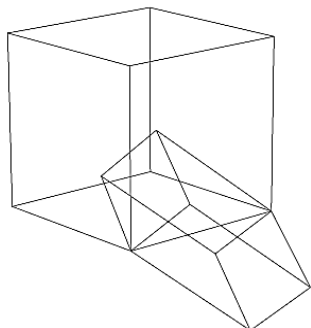
این امر گویای این حقیقت است که سیستم بینایی انسان، برای مؤلفه‌ی سبز یک تصویر، شدت بیشتری نسبت مؤلفه‌های قرمز و آبی قائل می‌شود. همچنین به تفاوت Y از مدل YIQ با Y از XYZ که در بیان مفهوم روشنایی شباهت دارند، توجه کنید.

از آنجایی که YIQ یک تبدیل خطی از RGB است، می‌توانیم YIQ را به صورت یک متوازی‌السطوح (یک جعبه‌ی مربعی که در همه‌ی جهات مورب شده است) در نظر بگیریم که محور Y در آن در امتداد خط مرکزی $(1, 1, 1) - (0, 0, 0)$ در RGB قرار می‌گیرد. شکل ۸-۱۲ این مسأله را به تصویر می‌کشد.

۱. I برخاسته از عبارت in-phase به معنی هم‌فاز است و Q برخاسته از عبارت quadrature به معنی مربع‌سازی است که به مؤلفه‌های به کار رفته در مربع‌سازی دامنه‌ی نوسانات اشاره دارد.

۲. National Television Standards Committee: کیفیت تصاویر VCD که بر مبنای سیستم NTSC تهیه می‌شوند ۳۵۲ در ۲۴۰ پیکسل است. تصویر متحرک در سیستم NTSC از عبور ۳۰ فریم ثابت در ثانیه تشکیل می‌شود.

۳. phase alternate line: گرافیک تصاویر VCD با سیستم PAL، ۳۵۲ در ۲۸۸ پیکسل می‌باشد. هر نوع تصویر متحرک در سیستم PAL از عبور ۲۵ فریم ثابت در ثانیه تشکیل می‌شود.



خطی بودن تبدیلات و در نتیجه سادگی پیاده‌سازی، آن‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای پردازش تصویر رنگی بدل کرده است. تبدیل بین RGB و YIQ در Matlab با توابع $rgb2ntsc$ و $ntsc2rgb$ پیاده‌سازی شده‌اند.

۸-۳-۴ مدل رنگ $CMY / CMYK$ و تبدیل RGB

شکل ۸-۱۲ مکعب RGB و تبدیل YIQ آن.

همان‌طور که در شکل ۸-۲ نشان داده شد، فیروزه‌ای، بنفش، و زرد رنگ‌های ثانویه‌ی نوری، یا رنگ‌های اصلی رنگدانه هستند. به عنوان مثال، وقتی سطحی با رنگدانه‌ی فیروزه‌ای پوشیده می‌شود، با رنگ سفید، روشن می‌شود، و رنگ قرمز از سطح منعکس نمی‌گردد. یعنی، فیروزه‌ای، نور قرمز را از نور سفید منعکس شده تفریق می‌کند، که خودش مرکب از میزان یکسانی از نورهای قرمز، سبز و آبی است.

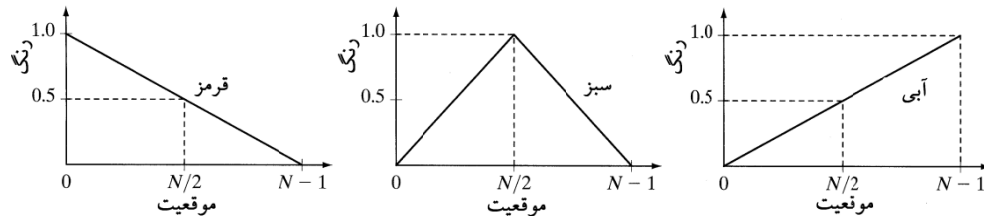
اغلب دستگاه‌هایی که رنگدانه‌ها را روی کاغذ می‌پاشند، مثل دستگاه‌های کپی و چاپگرهای رنگی، نیاز به ورودی داده به صورت CMY دارند یا در داخل خود RGB را به CMY تبدیل می‌کنند. این تبدیل با عملیات ساده‌ی زیر انجام می‌گیرد:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

که فرض می‌شود تمام مقادیر رنگ در بازه‌ی $[0, 1]$ نرمال شده‌اند. تبدیل فوق اثبات می‌کند که نور منعکس شده از سطح که با فیروزه‌ای خالص پوشانده شده است، فاقد قرمز است (یعنی $C = 1 - R$ در تبدیل). به طور مشابه، بنفش خالص، سبز را منعکس نمی‌کند، و زرد خالص، آبی را منعکس نمی‌کند. تبدیل همچنین روشن می‌کند که مقادیر RGB می‌توانند به آسانی از مجموعه مقادیر CMY به دست آیند، به طوری که هر یک از مقادیر CMY از یک تفریق شود. همان‌طور که نشان داده شد، در پردازش تصویر، این مدل رنگ در ارتباط با چاپ در کاغذ به کار می‌رود، لذا معمولاً عملیات معکوس برای تبدیل CMY به RGB از نظر عملی جالب نیست.

بر اساس شکل ۸-۲ مقادیر یکسانی از رنگ‌های رنگدانه‌های اولیه، فیروزه‌ای، بنفش و زرد باید سیاه را تولید نمایند. در عمل، ترکیب این رنگ‌ها برای چاپ، رنگ سیاه کدر را تولید می‌نماید. لذا، برای تولید سیاه کامل (که رنگ غالبی در چاپ است)، رنگ چهارم، یعنی سیاه، به مدل رنگ $CMYK$ اضافه می‌گردد. بنابراین، وقتی ناشرین راجع به چاپ "چهاررنگ" صحبت می‌کنند، منظورشان سه رنگ CMY به اضافه رنگ سیاه است.

کاوش ۲-۸: در یک تصویر RGB ساده، تصاویر مؤلفه‌ی R، G و B دارای پروفایل شدت افقی‌اند که در نمودار زیر نشان داده شده است. فرد در ستون وسط این تصویر، چه رنگی را مشاهده خواهد کرد؟



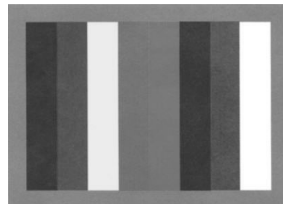
پاسخ:

در نقطه‌ی مرکزی داریم:

$$\frac{1}{2}R + \frac{1}{2}B + G = \frac{1}{2}(R + G + B) + \frac{1}{2}G = \text{خاکستری متوسط} + \frac{1}{2}G$$

■ که از نظر بیننده، کاملاً سبز به نظر می‌رسد و به دلیل مؤلفه‌ی خاکستری موجود، با شدت بالا دیده می‌شود.

کاوش ۳-۸: تصویر زیر را به صورتی که در مانیتور تک‌رنگ نمایش داده می‌شود، ترسیم کنیم. رنگ‌ها در ماکزیمم شدت و اشباع قرار دارند. در حل، مرز خاکستری میانی را به عنوان بخشی از تصویر در نظر بگیرید:



پاسخ:

برای تصویر داده شده حداکثر شدت و اشباع بدین معناست که مقادیر مؤلفه‌های RGB، صفر یا یک هستند. می‌توانیم مقادیر صفر و یک را که به ترتیب بیانگر سیاه و سفید هستند مطابق جدول کاوش ۳-۸ نشان دهیم. بنابراین یک نمایش تک‌رنگ مشابه شکل کاوش ۳-۸ خواهیم داشت. ■

جدول کاوش ۳-۸

رنگ	R	G	B	تک-R	تک-G	تک-B
سیاه	0	0	0	0	0	0
قرمز	1	0	0	255	0	0
زرد	1	1	0	255	255	0
سبز	0	1	0	0	255	0
آبی‌اقیانوسی	0	1	1	0	255	255
آبی	0	0	1	0	0	255
ارغوانی	1	0	1	255	0	255
سفید	1	1	1	255	255	255
خاکستری	0.5	0.5	0.5	128	128	128



شکل کاوش ۳-۸

کاوش ۴-۸:

الف. مؤلفه‌های تصویر CMY در کاوش ۳-۸ را به صورتی که در مانیتور تک‌رنگ نمایش داده می‌شوند، رسم کنید.

ب. اگر مؤلفه‌های CMY رسم شده در (الف)، به ترتیب به ورودی‌های قرمز، سبز و آبی مانیتور رنگی وارد شوند، تصویر حاصل را توصیف کنید.

پاسخ:

الف. در تصویر داده شده حداکثر شدت و اشباع بدین معناست که مقادیر مؤلفه‌های RGB صفر یا یک است. می‌توانیم جدول کاوش ۴-۸ را بر اساس تبدیل RGB به CMY که در بخش ۴-۳ مشاهده نمودید، ترسیم کنیم. بنابراین سیستم تک‌رنگ شکل کاوش ۴-۸ به دست می‌آید.

ب. نمایش حاصل، مکمل تصویر RGB اولیه است. از چپ به راست ستون‌های رنگ عبارتند از: سفید، آبی اقیانوسی، آبی، ارغوانی، قرمز، زرد، سبز و سیاه. پس زمینه‌ی خاکستری متوسط تغییر نمی‌کند. ■

جدول کاوش ۴-۸

رنگ	R	G	B	C	M	Y	تک-C	تک-M	تک-Y
سیاه	0	0	0	1	1	1	255	255	255
قرمز	1	0	0	0	1	1	0	255	255
زرد	1	1	0	0	0	1	0	0	255
سبز	0	1	0	1	0	1	255	0	255
آبی اقیانوسی	0	1	1	1	0	0	255	0	0
آبی	0	0	1	1	1	0	255	255	0
ارغوانی	1	0	1	0	1	0	0	255	0
سفید	1	1	1	0	0	0	0	0	0
خاکستری	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	128	128	128



شکل کاوش ۴-۸

کاوش ۵-۸: مکعب رنگ شکل ۸-۶ (ب) را در نظر بگیرید و به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

الف. توضیح دهید در تصاویر اولیه‌ی R، G و B که وجه جلویی مکعب رنگ را می‌سازند، سطوح خاکستری چگونه تغییر می‌کنند.

ب. فرض کنید هر رنگ در مکعب RGB را با رنگ CMY آن جایگزین کنیم. این مکعب جدید در مانیتور RGB نمایش داده می‌شود. نام رنگ را با هشت رأس مکعب جدیدی که در صفحه‌ی مشاهده خواهید کرد، برچسب‌گذاری کنید.

پ. درباره‌ی رنگ‌های روی لبه‌های مکعب رنگی مربوط به اشباع، چه می‌توان گفت؟

پاسخ:

الف. تمام مقادیر پیکسل‌ها در تصویر قرمز 255 است. در تصویر سبز، اولین ستون تماماً صفر است؛ ستون دوم تماماً یک است؛ و به همین ترتیب ستون آخر ساخته‌شده تماماً 255 است. در تصویر آبی، ردیف اول 255 است؛ ردیف دوم 254؛ و به همین ترتیب تا آخرین ردیف تشکیل شده که تماماً صفر است.

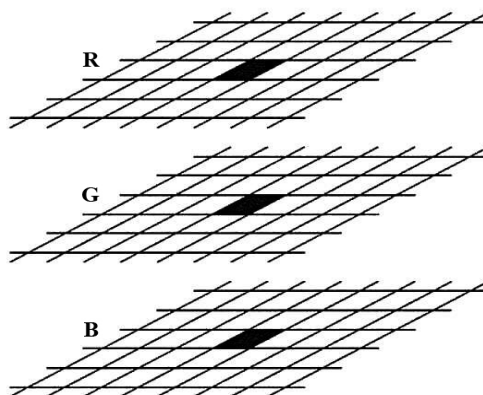
ب. فرض کنید مقادیردهی محورها مطابق شکل ۱-۳۴ باشد. در این صورت داریم:

$$\begin{array}{llll} \text{سفید} = (0, 0, 0) & \text{سیاه} = (1, 1, 1) & \text{آبی‌اقیانوسی} = (1, 0, 0) & \text{آبی} = (0, 1, 0) \\ \text{سبز} = (0, 1, 0) & \text{قرمز} = (1, 0, 1) & \text{زرد} = (0, 0, 1) & \text{ارغوانی} = (0, 1, 1) \end{array}$$

پ. یک‌هایی که شامل نقاط سیاه یا سفید نیستند، دارای حداکثر اشباع هستند و هر قدر از گوشه‌ها به سمت نقاط سیاه یا سفید پیش می‌رویم، اشباع بقیه کمتر می‌شود. ■

۴-۸ تصاویر رنگی در Matlab

از آنجایی که یک تصویر رنگی نیازمند سه عنصر اطلاعاتی مجزا به ازای هر پیکسل است، یک تصویر رنگی در ابعاد $m \times n$ در Matlab در قالب آرایه‌ی سه بعدی با ابعاد $m \times n \times 3$ ارائه می‌شود. می‌توانیم این آرایه را به صورت یک موجودیت متشکل از سه ماتریس مجزا با چیدمان عمودی تصور کنیم. شکل ۸-۱۳ بیانگر این طرح است.



شکل ۸-۱۳ آرایه‌ی سه بعدی تصویر RGB

فرض کنید می خواهیم یک تصویر RGB را بخوانیم:

```
>> f=imread('fatima2.jpg');
>> size(f)
ans =
    375    500     3
```

می توانیم با استفاده از عملگر کالن (:,:), مؤلفه ها را جدا کنیم:

$x(:, :, 1)$ - مؤلفه ی اول یا قرمز

$x(:, :, 2)$ - مؤلفه ی دوم یا سبز

$x(:, :, 3)$ - مؤلفه ی سوم یا آبی

هر یک از مؤلفه های فوق را می توان با $imshow$ نمایش داد:

```
>> imshow(f)
>> figure, imshow(f(:, :, 1))
>> figure, imshow(f(:, :, 2))
>> figure, imshow(f(:, :, 3))
```

نتایج را در شکل ۸-۱۴ مشاهده می کنید. توجه کنید که رنگمایه ها چگونه با شدت بالا در مؤلفه های مربوط به خود ظاهر می شوند.

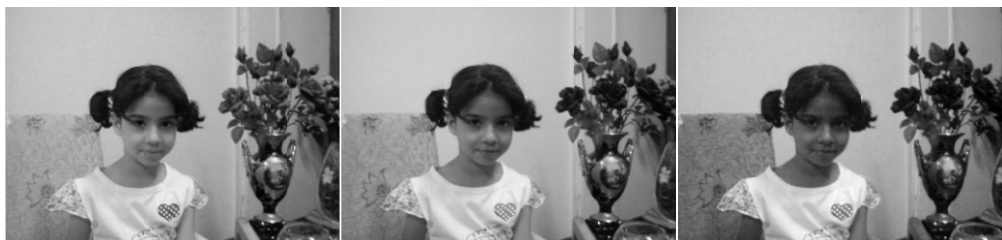
مؤلفه ی قرمز در رزهای داخل گلدان در سمت راست تصویر اصلی، شدت بسیار بالایی دارد. مؤلفه های سبز و آبی به مراتب شدت کمتری دارند.

می توانیم تبدیل به YIQ یا HSV را انجام داده و مجدداً مؤلفه ها را نمایش دهیم:

```
>> fh=rgb2hsv(f);
>> imshow(fh(:, :, 1))
>> figure, imshow(fh(:, :, 2))
>> figure, imshow(fh(:, :, 3))
```



تصویر رنگی *Fatima2.jpg*



مؤلفه ی قرمز

مؤلفه ی سبز

مؤلفه ی آبی

شکل ۸-۱۴ آرایه ی سه بعدی تصویر RGB و مؤلفه های آن.

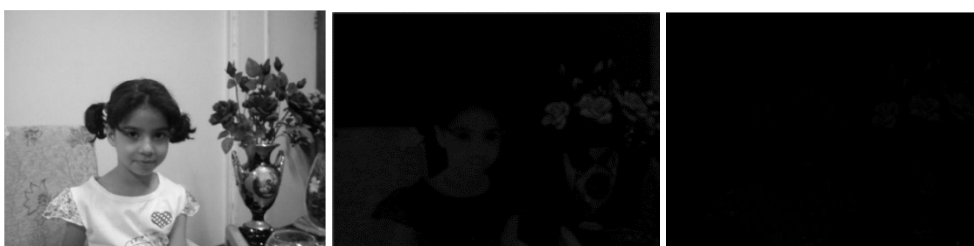


رنگمایه

اشباع

شدت

شکل ۸-۱۵ مؤلفه‌های HSV



Y

I

Q

شکل ۸-۱۶ مؤلفه‌های YIQ

نتایج را در شکل ۸-۱۵ مشاهده می‌کنید. دقیقاً همین کار را برای فضای رنگ YIQ انجام

می‌دهیم:

```
>> fn=rgb2ntsc(f);
>> imshow(fn(:,:,1))
>> figure,imshow(fn(:,:,2))
>> figure,imshow(fn(:,:,3))
```

نتایج را در شکل ۸-۱۶ مشاهده می‌کنید. توجه کنید مؤلفه‌ی Y از YIQ نسخه‌ی مقیاس خاکستری بهتری نسبت به مؤلفه‌ی شدت در HSV تولید نموده است. به ویژه جزئیات رزهای داخل گلدان در تصویر سمت راست شکل ۸-۱۵ (شدت) کمی تحلیل رفته است، ولی در شکل ۸-۱۶ (Y) با کنتراست مناسب‌تر و جزئیات بهتری ظاهر شده است. مؤلفه‌ی I نشان از تغییرات بیشتر در دامنه‌ی آبی - نارنجی دارد. در ادامه‌ی فصل، نحوه‌ی قرار دادن سه ماتریس حاصل از مؤلفه‌های مجزا در کنار هم، و تشکیل یک آرایه‌ی سه‌بعدی برای نمایش را خواهیم دید.

کاووش ۸-۹: در یک کاربرد مونتاژ خودکار، سه دسته از قطعات باید به صورت رنگی رمزگذاری شوند تا تشخیص آن‌ها آسان باشد. اما فقط یک دوربین TV تک‌رنگ برای تصویربرداری دیجیتال موجود است. تکنیکی را برای استفاده از این دوربین پیشنهاد کنید که سه رنگ مختلف را تشخیص دهد.

پاسخ:

می‌توان از فیلترهای رنگی استفاده نمود که به دقت روی طول موج سه رنگ هدف تنظیم شده باشند. با یک فیلتر خاص درجا، تنها اشیایی که رنگ‌هایشان متناظر با آن طول موج است، پاسخ قابل اعتنا در

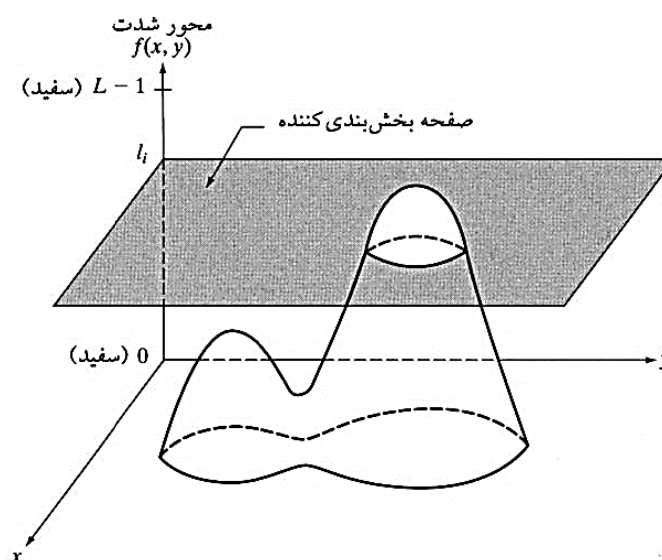
دوربین تک‌رنگ ایجاد می‌کنند. اگر رنگ سفید باشد، پاسخ سه فیلتر تقریباً برابر و با شدت بالا خواهد بود. اگر رنگ سیاه باشد، پاسخ سه فیلتر تقریباً یکسان و با شدت پایین خواهد بود. ■

۵-۸ شبه‌رنگ

شبه‌رنگ (رنگ‌آمیزی کاذب) به معنی تخصیص رنگ به تصویر مقیاس خاکستری به منظور متناسب‌تر شدن برخی جنبه‌های تصویر جهت تفسیر دیداری است. شامل اختصاص رنگ به مقادیر خاکستری بر اساس معیارهای خاص است. واژه‌ی شبه‌رنگ یا رنگ کاذب، برای تمایز فرآیند تخصیص رنگ‌ها به تصاویر تک‌رنگ، از فرآیند مربوط به تصاویر تمام‌رنگی به کار می‌رود. کاربرد اصلی شبه‌رنگ، در تجسم انسان و تفسیر رویدادهای سطح خاکستری در یک تصویر یا دنباله‌ای از تصاویر است. همان‌طور که در ابتدای این بخش گفته شد، یکی از مهم‌ترین انگیزه‌های استفاده از رنگ، این حقیقت است که انسان‌ها در مقایسه با ۲۴ سایه‌ی خاکستری، می‌توانند هزاران سایه و شدت رنگی را تشخیص دهند. روش‌های مختلفی برای شبه‌رنگ وجود دارند که در ادامه به برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

۱-۵-۸ بخش‌بندی شدت

تکنیک بخش‌بندی شدت^۲ روشنایی (که گاهی چگالی نیز نامیده می‌شود) و سایر کدگذاری‌های رنگ، یکی از ساده‌ترین مثال‌های پردازش تصویر شبه‌رنگ است. اگر تصویری به صورت تابع سه‌بعدی تفسیر شود این روش را می‌توان به عنوان موازی‌کننده‌ی صفحات با صفحه‌ی مختصات تصویر نامید. سپس هر صفحه، تابع را به بخش‌هایی از ناحیه‌ی متقاطع تبدیل می‌کند. شکل ۸-۱۷ مثالی از به‌کارگیری صفحه‌ای در $f(x,y) = I_i$ را برای بخش‌بندی تابع به دو سطح نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۷ تفسیر هندسی تکنیک بخش‌بندی شدت.

اگر رنگ متفاوتی به هر سمت صفحه‌ی شکل ۸-۱۷ نسبت داده شود، هر پیکسلی که سطح شدت آن در بالای صفحه است، با یک رنگ کدگذاری می‌شود، و هر پیکسل زیرصفحه با رنگ دیگری کدگذاری می‌شود. به سطوحی که روی خود صفحه قرار می‌گیرند، ممکن است به اختیار، یکی از دو رنگ نسبت داده شود. نتیجه، تصویری دورنگی است که نمای نسبی آن می‌تواند با انتقال صفحه‌ی بخش‌بندی به بالا و پایین محور شدت، کنترل شود.

به طور کلی، این تکنیک می‌تواند به این صورت خلاصه شود: فرض کنید $[0, L-1]$ نشان‌دهنده‌ی سطح خاکستری، و سطح l_0 نشان‌دهنده‌ی سیاه $[f(x,y) = 0]$ ، و سطح l_{L-1} نشان‌دهنده‌ی سفید $[f(x,y) = L - 1]$ باشد. فرض کنید P صفحه‌ی عمود بر محور شدت، در سطوح l_1, l_2, \dots, l_p تعریف شدند. آنگاه با فرض این که $0 < P < L-1$ ، صفحه، سطح خاکستری را به $P+1$ فاصله‌ی V_1, V_2, \dots, V_{P+1} تقسیم می‌کند. شدت در انتساب رنگ، بر اساس رابطه‌ی زیر مشخص می‌گردد:

$$f(x, y) = c_k \quad \text{اگر } f(x, y) \in V_k \quad (۸-۱۸)$$

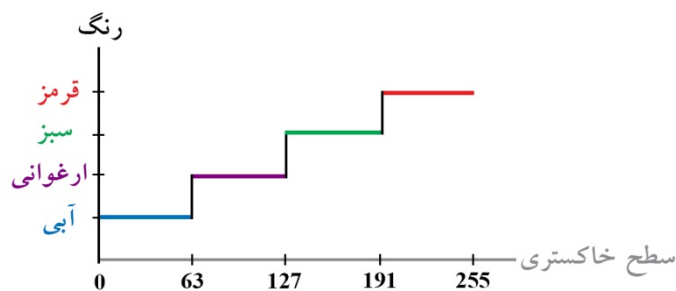
که c_k رنگ مربوط به k امین فاصله‌ی شدت، یعنی V_k است که توسط صفحه‌ی تقسیم‌کننده در $l=k-1$ و $l=k$ تعریف شده است. به عنوان مثال تصویر را به صورت زیر به محدوده‌ی سطوح خاکستری مختلف بخش‌بندی کرده و به هر محدوده یک رنگ اختصاص می‌دهیم:

سطح خاکستری:	0 - 63	64 - 127	128 - 191	192 - 255
رنگ:	آبی	ارغوانی	سبز	قرمز

ایده‌ی صفحات، مخصوصاً برای تفسیر هندسی تکنیک بخش‌بندی شدت مفید است. هر سطح شدت ورودی، به یک یا دو رنگ نسبت داده می‌شود که بستگی به این دارد که در بالا یا پایین مقدار l_i واقع است. وقتی از سطوح بیشتری استفاده شود، تابع نگاشت به شکل پلکان در می‌آید. این فرآیند را می‌توانیم به صورت نگاشت شکل ۸-۱۸ در نظر بگیریم.

۸-۵-۲ تبدیلات خاکستری - رنگی

انواع دیگری از تبدیلات وجود دارند که کلی‌تر هستند و در نتیجه، نسبت به تکنیک‌های بخش‌بندی ساده‌ی بحث‌شده در بخش قبل، نتایج ارتقای شبه‌رنگ بهتری دارند. یک روش جالب در شکل ۸-۱۹ (الف) آمده است. اساساً، ایده‌ی این روش، اجرای سه تبدیل مستقل روی شدت پیکسل ورودی است، سپس سه نتیجه به طور جداگانه به کانال‌های قرمز، سبز و آبی مانیتور تلویزیون رنگی ارسال می‌شوند.



شکل ۸-۱۸ بخش‌بندی شدت به صورت نگاشت.

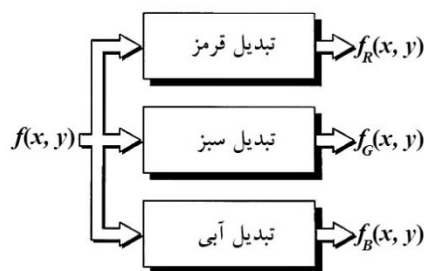
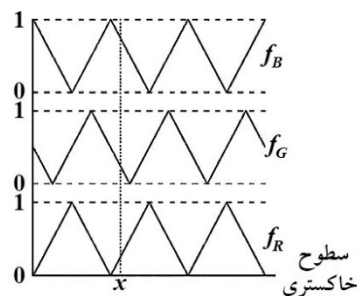
عملاً در این روش، سه تابع $f_R(x)$ ، $f_G(x)$ و $f_B(x)$ داریم که به ترتیب مقادیر قرمز، سبز و آبی را به هر سطح خاکستری x اختصاص می‌دهند. سپس این مقادیر (در صورت لزوم با مقیاس‌بندی مناسب) برای نمایش به کار می‌روند. استفاده از مجموعه‌ی توابع مناسب می‌تواند تصویر مقیاس خاکستری را با نتایج درخور توجه، ارتقا دهد. این روش، تصویر مرکبی را تولید می‌کند که محتوای رنگی آن توسط ماهیت توابع تبدیل، مدوله می‌شود. توجه کنید که این‌ها تبدیلاتی روی مقادیر شدت تصویر هستند که توابعی از مکان‌ها نیستند. روش بحث شده در بخش ۸-۵-۱ حالت خاصی از این تکنیک مطرح شده است. در آن‌جا، توابع خطی تکه‌ای^۱ سطوح شدت شکل ۸-۱۸ برای تولید رنگ به کار می‌روند. از طرف دیگر، روش بحث شده در این بخش، می‌تواند بر اساس توابع غیرخطی هموار باشد، که همان‌طور که انتظار می‌رود، این تکنیک را به‌طور چشمگیری قابل انعطاف می‌سازد. به عنوان مثال سطح خاکستری x در نمودار شکل ۸-۱۹ (ب)، به قرمز، سبز و آبی به ترتیب با مقادیر ۰.۳۷۵، ۰.۱۲۵ و ۰.۷۵ نگاشت شده است.

یک روش ساده برای مشاهده تصویر با رنگ اضافه شده در Matlab، استفاده از `imshow` با پارامتر `colormap` است. به عنوان مثال تصویر `blocks.tif` را در نظر بگیرید. از میان چندین نگاشت رنگ موجود در تابع `colormap`، که می‌توان از بین آن‌ها انتخاب نمود، می‌توانیم یک نگاشت رنگ را اضافه کنیم. در این‌جا یک نسخه‌ی خاکستری از تصویر رنگی `Ilia_rgb.tif` استخراج کرده و سپس تبدیلات رنگی را با دستورات زیر ایجاد کردیم:

```
>> i_rgb=imread('Ilia_rgb.tif');
>> i=rgb2gray(i);
>> imshow(i,colormap(jet(256)))
```

نتیجه را در شکل ۸-۲۰ (پ) مشاهده می‌کنید. بدیهی است که انتخاب نگاشت رنگ نامناسب ممکن است تصویر را تخریب کند. تصویر (ت) از شکل ۸-۲۰ نمونه‌ای از انتخاب نگاشت نامناسب است، که نگاشت رنگ `vga` انتخاب شده است. از آن‌جایی که این نگاشت دارای ۱۶ سطر است، لازم است تعداد سطوح خاکستری تصویر را به ۱۶ سطح کاهش دهیم. این عمل با استفاده از تابع `grayslice` انجام می‌شود:

```
>> i16=grayslice(i,16);
>> figure,imshow(i16,colormap(vga))
```

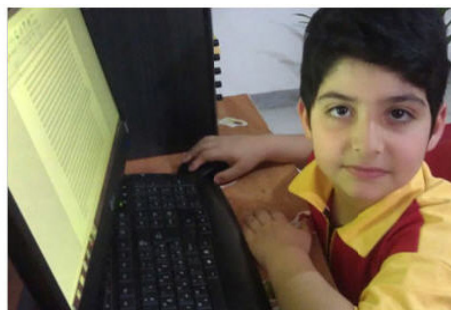


(الف) توابع نگاشت تصویر خاکستری به رنگی (ب) نگاشت به ازای مقادیر ۰.۳۷۵، ۰.۱۲۵ و ۰.۷۵
 شکل ۸-۱۹ تبدیل شبه‌رنگ سه تابعی.

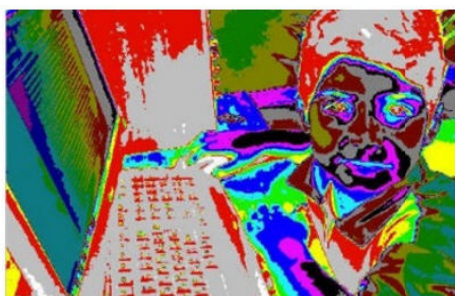
1. piecewise linear function



(ب) نسخه‌ی خاکستری تصویر اصلی



(الف) تصویر اصلی (Ilia_rgb.tif)



(ت) استفاده از نگاشت رنگ *vga*



(پ) استفاده از نگاشت رنگ *jet*

شکل ۸-۲۰ تلاش برای ایجاد تصاویر شبه‌رنگی.

هر چند رنگی بودن تصویر خروجی غیر قابل انکار است، ولی به واقع بهبودی نسبت به تصویر اصلی حاصل نشده است. فهرست نگاشت‌های رنگ موجود در فایل راهنمای *graph3d* در جدول ۸-۶ آمده است.

اطلاعات جدول ۸-۶ فایل‌های راهنمای هر نگاشت رنگ هستند، به طوری‌که:

```
>> help hsv
```

اطلاعاتی راجع به نگاشت رنگ *hsv* نمایش می‌دهد.

می‌توانیم نگاشت رنگ دلخواه خود را بسازیم. این نگاشت باید ماتریسی با سه ستون، و هر سطر شامل مقادیر *RGB* بین صفر و یک باشد. فرض کنید می‌خواهیم یک نگاشت رنگ آبی، ارغوانی، سبز و قرمز مطابق شکل ۸-۱۹ بسازیم. با استفاده از مقادیر *RGB* داریم:

رنگ	قرمز (Y)	سبز (G)	آبی (B)
آبی	0	0	1
ارغوانی	1	0	1
سبز	0	1	0
قرمز	1	0	0

جدول ۸-۶ توابع نگاشت رنگ.

hsb	رنگمایه، اشباع، شدت	colorcube	مکعب رنگ ارتقا یافته
hot	سیاه، قرمز، زرد، سفید	vga	نگاشت رنگ ویندوز با ۱۶ رنگ
gray	مقیاس خاکستری خطی	jet	نوعی HSV
bone	مقیاس خاکستری همراه با هاله‌ای از آبی	prism	منشور
copper	تناژ مسی خطی	cool	سایه‌های آبی اقیانوسی و ارغوانی
pink	سایه‌های کم‌رنگ صورتی	autumn	سایه‌های قرمز و زرد
wite	کاملاً سفید	spring	سایه‌های ارغوانی و زرد
flag	قرمز، سفید، آبی و سیاه متوالی	winter	سایه‌های آبی و سبز
lines	خطوط رنگی	summer	سایه‌های سبز و زرد

با استفاده از دستور زیر، نگاشت رنگ را می‌سازیم:

```
>> mycolourmap=[0 0 1;1 0 1;0 1 0;1 0 0];
```

قبل از به کارگیری نگاشت روی تصویر قطعات چوب، باید تصویر را به گونه‌ای مقیاس‌بندی کنیم که فقط چهار سطح خاکستری ۰، ۱، ۲ و ۳ داشته باشیم:

```
>> i4=grayscale(i,4);
>> imshow(i4,mycolourmap)
```

نتیجه را در شکل ۸-۲۱ مشاهده می‌کنید.

کاوش ۷-۸: در یک سیستم RGB که در آن هر تصویر RGB یک تصویر ۸ بیتی است، چند سایه مختلف وجود دارند؟

پاسخ:

در هر تصویر ۸ بیتی، $2^8 = 256$ مقدار می‌تواند وجود داشته باشد. در یک تصویر RGB که باید خاکستری شود، همه‌ی مؤلفه‌های رنگی باید برابر باشند. بنابراین ۲۵۶ سایه خاکستری خواهیم داشت. ■



شکل ۸-۲۱ تصویر رنگی شده با استفاده از نگاشت رنگ دست‌ساز.

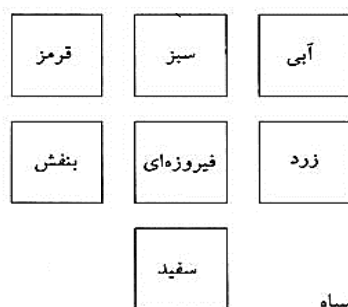
کاوش ۸-۸: تصویر زیر را در نظر بگیرید که شامل مربع‌های رنگی است. برای بحث درباره‌ی پاسخ خود، یک سطح خاکستری را در نظر بگیرید که شامل هشت سایه از خاکستری، صفر تا ۷ است که صفر سیاه و ۷ سفید است. فرض کنید تصویر به فضای رنگ HSI تبدیل شده است. در پاسخ به پرسش‌های زیر، از اعداد خاصی برای سایه‌های خاکستری استفاده کنید (اگر استفاده از اعداد مناسب است).

وگرنه، روابطی مثل "مشابه با"، "روشن تر از"، یا "تیره تر از" کافی اند. اگر نمی توانید یک سطح خاکستری خاص یا یکی از این روابط را در تصویر مورد نظر تعیین کنید، علت را شرح دهید.

الف. تصویر پرده‌ی رنگ را رسم کنید.

ب. تصویر اشباع را رسم کنید.

پ. تصویر شدت را رسم کنید.



پاسخ:

تصاویر پرده‌ی رنگ، اشباع و شدت به ترتیب از چپ به راست در شکل کاوش ۸-۸ نشان داده شده‌اند. ■

۸-۶ پردازش تصاویر رنگی

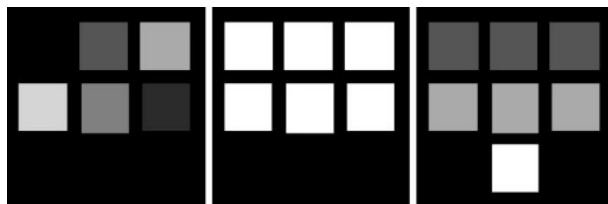
به طور کلی برای پردازش تصاویر رنگی می توان از دو روش استفاده نمود:

۱. پردازش هر ماتریس R ، G و B به صورت مجزا
۲. تبدیل فضای رنگ به فضایی که شدت مستقل از اطلاعات رنگ باشد، و پردازش مؤلفه شدت شمایی از دو گزینه‌ی فوق در تصاویر (الف) و (ب) شکل ۸-۲۲ آمده است. با در نظر گرفتن تعداد عملیات‌های پردازش تصویر متفاوت، یکی از گزینه‌های فوق را روی تصویر رنگی به کار می گیریم.

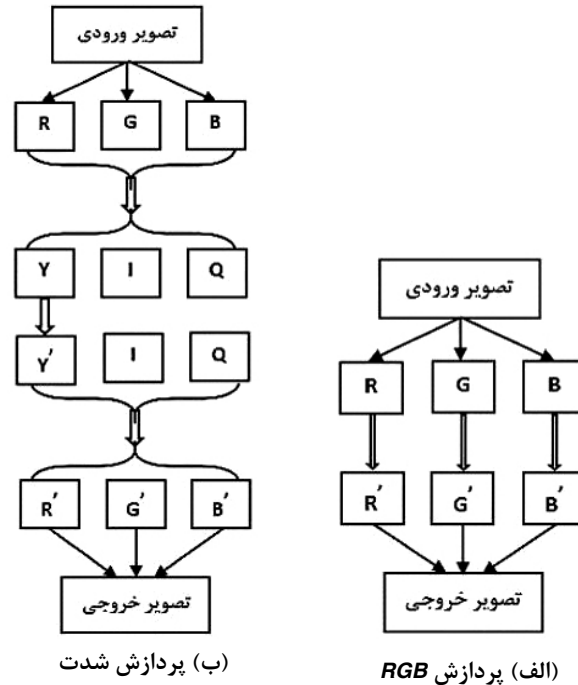
۸-۶-۱ افزایش کنتراست

افزایش کنتراست با پردازش مؤلفه‌ی شدت به بهترین شکل انجام می شود. با تصویر *jv3.tif* که یک تصویر رنگی اندیس گذاری شده است و تبدیل آن به یک تصویر رنگی حقیقی *RGB* شروع می کنیم:

```
>> [x,map]=imread('jv3.tif');
>> j=ind2rgb(x,map);
```



شکل کاوش ۸-۸



شکل ۸-۲۲ شمای کلی پردازش تصاویر رنگی.

حال تبدیل از *RGB* به *YIQ* را داریم. به گونه‌ای بتوان مؤلفه‌ی شدت را جدا نمود:

```
>> jn=rgb2ntsc(j);
```

اکنون تعدیل هیستوگرام را روی مؤلفه‌ی شدت انجام داده و تصویر را برای نمایش مجدداً به *RGB* تبدیل می‌کنیم:

```
>> jn(:,:,1)=histeq(jn(:,:,1));
>> j2=ntsc2rgb(jn);
>> imshow(j2)
```

نتیجه را در شکل ۸-۲۳ (الف) مشاهده می‌کنید. هر چند این‌که تصویر بهبود یافته یا خیر، جای بحث دارد، اما کنتراست تصویر افزایش یافته است.

حال فرض کنید می‌خواهیم روی هر یک از مؤلفه‌های *RGB*، تعدیل هیستوگرام انجام دهیم:

```
>> jr=histeq(j(:,:,1));
>> jg=histeq(j(:,:,2));
>> jb=histeq(j(:,:,3));
```

حال برای نمایش با *imshow* باید تصویر را به صورت یک آرایه سه بعدی در آوریم. و *cat* نام تابعی است که برای انجام این کار بدان نیاز داریم:

```
>> j3=cat(3,jr,jg,jb);
>> imshow(j3)
```



(ب) استفاده از مؤلفه‌های RGB



(الف) پردازش شدت

شکل ۸-۲۳ تعدیل هیستوگرام تصویر رنگی.

متغیر اول در تابع *cat*، تعداد ابعاد ماتریسی است که می‌خواهیم آرایه‌های مؤلفه‌ها را در آن جمع کنیم. نتیجه برای مقایسه در شکل ۸-۲۳ (ب) آمده است. خروجی چندان مطلوب نیست. زیرا چند رنگ جدید و نامتجانس به تصویر افزوده شده‌اند. از جمله رنگ بنفشی که در تصویر (ب) در نواحی که باید سیاه باشند به چشم می‌خورد و همچنین سایه‌های نقره‌ای - آبی رنگی که در نواحی چهره و کف زمین مشاهده می‌شود.

۸-۶-۲ فیلتر کردن فضایی

این‌که از چه فیلتری استفاده کنیم، بستگی زیاد به شمای به کار رفته دارد. مثلاً فیلتر پایین‌گذر یا مات‌کننده را می‌توانیم روی مؤلفه‌های RGB اعمال کنیم:

```
>> a15=fspecial('average',15);
>> jr=filter2(a15,j(:,:,1));
>> jg=filter2(a15,j(:,:,2));
>> jb=filter2(a15,j(:,:,3));
>> blur=cat(3,jr,jg,jb);
>> imshow(blur)
```

و نتیجه را در شکل ۸-۲۴ (الف) مشاهده می‌کنید. همچنین با اعمال فیلتر روی مؤلفه‌ی شدت می‌توانیم تأثیر مشابهی را به دست آوریم. ولی در مورد فیلتر بالاگذر، مثلاً فیلتر حذف غیرتیزی، بهتر است فقط روی مؤلفه‌ی شدت کار شود:

```
>> jn=rgb2ntsc(j);
>> a=fspecial('unsharp');
>> jn(:,:,1)=filter2(a,jn(:,:,1));
>> ju=ntsc2rgb(jn);
>> imshow(ju)
```

نتیجه را در شکل ۸-۲۴ (ب) مشاهده می‌کنید. به طور کلی و تنها با استفاده از مؤلفه‌ی شدت می‌توان به نتایج مطلوبی دست یافت. اگرچه همان‌گونه که در مثال مات‌کننده‌ی فوق انجام شد، می‌توان فیلتر را روی هر یک از مؤلفه‌های RGB اعمال نمود، اما حصول نتیجه‌ی رضایت‌بخش، تضمین شده نیست. مشکل اینجاست که فیلتر مقادیر پیکسل‌ها را تغییر می‌دهد و این امر ممکن است منجر به ظهور رنگ‌های نامطلوب در تصویر گردد.



(ب) استفاده از فیلتر بالاگذر

(الف) استفاده از فیلتر پایین‌گذر

شکل ۸-۲۴ فیلتر کردن فضایی یک تصویر.

کاوش ۸-۹: فرض کنید مانیتور و چاپگر سیستم تصویربرداری به طور نامناسب تنظیم شده است. تصویری که در مانیتور متوازن به نظر می‌رسد، در چاپگر به رنگ زرد چاپ می‌شود. تبدیلات کلی را ارائه کنید که بتواند عدم توازن را اصلاح نماید.

پاسخ:

می‌توانیم نسبت رنگ زرد را با یکی از این روش‌ها کاهش دهیم:

۱. کاهش زرد. ۲. افزایش آبی. ۳. افزایش آبی اقیانوسی و ارغوانی. ۴. کاهش قرمز و سبز ■

کاوش ۸-۱۰: تبدیلات CMY را برای تولید مکمل تصویر رنگی مشخص کنید.

پاسخ:

تبدیل RGB برای مکمل عبارت است از: $s_i = 1 - r_i$ ، که در آن $i = 1, 2, 3$ (متناظر با مؤلفه‌های R، G و B). اما طبق تعریف فضای رنگ CMY از بخش ۸-۳-۴ می‌دانیم مؤلفه‌های CMY متناظر با r_i و s_i که با استفاده از تبدیل مستقیم داریم، عبارتند از: $s'_i = 1 - s_i$ و $r'_i = 1 - r_i$. بنابراین: $r_i = 1 - r'_i$ و:

$$s'_i = 1 - s_i = 1 - (1 - r_i) = 1 - (1 - (1 - r'_i))$$

■ به گونه‌ای که: $s'_i = 1 - r'_i$.

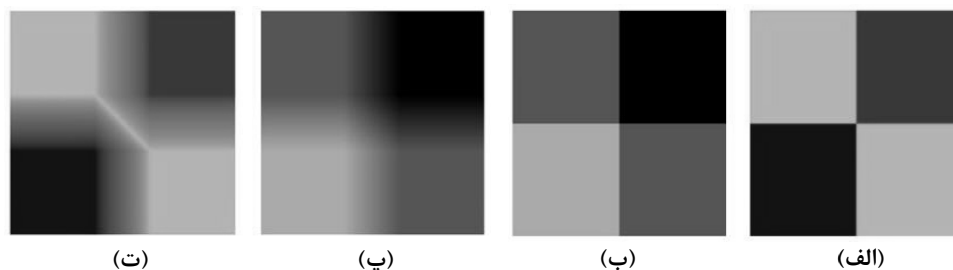
کاوش ۸-۱۱: تصویر RGB زیر را به اندازه‌ی 500×500 در نظر بگیرید، که در آن مربع‌ها رنگ‌های قرمز، سبز و آبی اشباع شده‌اند، و هر رنگ در ماکزیمم شدت خود قرار دارد (مثلاً $(1,0,0)$ برای مربع قرمز). یک تصویر HSI از این تصویر ایجاد شد.

الف. نمای هر تصویر مؤلفه‌ی HSI را توصیف کنید.

قرمز	سبز
سبز	آبی

ب. مؤلفه‌ی اشباع تصویر HSI با استفاده از نقاب میانگین‌گیری به اندازه‌ی 125×125 هموار شده است. نمای نتیجه را توصیف کنید (ممکن است در عمل فیلتر کردن، از آثار مرز تصویر صرف‌نظر کنید).

پ. (ب) را برای تصویر رنگمایه تکرار کنید.



شکل کاوش ۸-۱۱

پاسخ:

تصویر رنگ داده شده را در شکل کاوش ۸-۱۱ مشاهده می کنید. فرض کنید مقادیر مؤلفه ها در تصویر *HSI* در بازه ی $[0, 1]$ هستند که تصاویر مؤلفه ی *H* (رنگمایه)، *S* (اشباع) و *I* (شدت) هستند.

الف. از آنجا که فرض بر این است که تصویر دارای حداکثر اشباع است، بنابراین تصویر *H* ثابتی با مقدار ۱ خواهد بود. به صورت مشابه همه ی مربع ها در حداکثر مقدار شدت خود قرار دارند، بنابراین با توجه به عبارت محاسبه شدت (۸-۱۰)، مؤلفه ی شدت نیز ثابت و برابر $1/3$ است (حداکثر مقدار هر پیکسل در تصاویر RGB برابر با ۱ است و همچنین طبق فرض مسئله هیچ یک از مربع ها همپوشانی ندارند). تصویر مؤلفه ی رنگمایه ی *H* در شکل کاوش ۸-۱۱ (ب) نشان داده شده است. یادآوری می کنیم مطابق شکل ۸-۱۰ مقدار رنگمایه، یک زاویه است. مقادیر *H* در بازه ی $[0, 1]$ نرمال سازی شده است. در شکل ۸-۱۰ مشاهده می کنید که برای مثال اگر روی دایره ی سطح مقطع مخروط به صورت پادساعتگرد حرکت کنیم، رنگمایه ی صفر متناظر با قرمز، $1/3$ متناظر با سبز و $2/3$ متناظر با آبی است. بنابراین نکته ی مهمی که باید در تصویر کاوش ۸-۱۱ (ب) لحاظ شود این است که مقدار خاکستری در تصویر متناظر با مربع قرمز باید سیاه باشد، مقدار خاکستری متناظر با مربع سبز باید خاکستری روشن تر از حد متوسط، و مقدار خاکستری متناظر با آبی باید از خاکستری متناظر با سبز روشن تر باشد. همان گونه که می بینید این مراتب در تصویر کاوش ۸-۱۱ (ب) مشاهده می شود. برای سایه های قرمز، سبز و آبی در تصویر کاوش ۸-۱۱ (الف) مقادیر دقیق *H* به ترتیب عبارتند از: ۰، ۰.۳۳ و ۰.۶۷.

ب. تصویر اشباع ثابت است، به طوری که هموارسازی آن مقدار ثابت یکسانی تولید می کند.

پ. شکل کاوش ۸-۱۱ (پ) نتیجه ی مات کردن تصویر رنگمایه را نشان می دهد. وقتی نقاب میانگین گیری به طور کامل مربع را احاطه کند، مات شدگی اتفاق نمی افتد. زیرا مقدار هر مربع ثابت است. وقتی نقاب روی بخشی از دو یا سه مربع دیگر قرار گیرد، مقدار تولید شده در مرکز نقاب، بین مقادیر دو یا سه مربع دیگر خواهد بود و در واقع میانگین مربع هایی که توسط نقاب پوشش داده شده اند، در مرکز نقاب تولید می شود. برای دیدن مقادیر واقعی، نقطه ای را در مرکز نقاب قرمز در شکل (پ) و نقطه ای را در مرکز نقاب سبز در قسمت بالای سمت چپ در نظر بگیرید. از توضیحات بخش (الف) می دانیم که مقدار نقطه ی قرمز صفر، و مقدار نقطه ی سبز ۰.۳۳ است. بنابراین مقادیر واقع در محدوده ی قرمز و سبز، از صفر تا ۰.۳۳ متغیراند. زیرا میانگین گیری یک عملیات خطی است. شکل کاوش ۸-۱۱ (ت) نتیجه ی تولید تصویر RGB از تصویر رنگمایه مات شده، و تصاویر اشباع و شدت اصلی را نشان می دهد. مقادیری که در سطر قبل ذکر شد در واقع انتقال از سبز به قرمز است.

علت وجود خط سبز قطری در این تصویر این است که مقادیر متوسط در آن نواحی نزدیک به حد میانی بین قرمز و آبی هستند و قاعدتاً این حد میانی، مایل به سبز است. ■

۳-۶-۸ کاهش نویز

در مبحث بازیابی تصاویر در فصل ۶ از تصویر خاکستری *vahidi.tif* استفاده نمودیم. در این جا نیز از همین تصویر استفاده می‌کنیم، اما از نسخه‌ی اصلی و رنگی آن که به ابعاد 256×256 در آورده‌ایم:

```
>> j=imread('vahidi.tif');
```

حال نویز را اضافه نموده و نگاهی بر تصویر نویزی و مؤلفه‌های *RGB* آن خواهیم داشت:

```
>> jn=imnoise(j,'salt & pepper');
>> imshow(jn)
>> figure,imshow(jn(:,:,1))
>> figure,imshow(jn(:,:,2))
>> figure,imshow(jn(:,:,3))
```

تصاویر را در شکل ۸-۲۵ مشاهده می‌کنید. به نظر می‌رسد باید فیلتر میانه را روی تصویر هر مؤلفه‌ی *RGB* اعمال کنیم. این کار به سادگی انجام می‌شود:

```
>> jrm=medfilt2(jn(:,:,1));
>> jgm=medfilt2(jn(:,:,2));
>> jbm=medfilt2(jn(:,:,3));
>> jm=cat(3,jrm,jgm,jbm);
>> imshow(jm)
```



مؤلفه‌ی قرمز



نویز نمک و فلفل



مؤلفه‌ی سبز



مؤلفه‌ی آبی

شکل ۸-۲۵ نویز در یک تصویر رنگی.

(ب) حذف نویز مؤلفه Y (الف) حذف نویز همه‌ی مؤلفه‌های RGB

شکل ۸-۲۶ تلاش برای حذف نویز از تصویر رنگی.

نتیجه را در شکل ۸-۲۶ (الف) مشاهده می‌کنید. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید خروجی به جزء در کناره‌های کادر تصویر، عاری از نویز شده است. در این مثال نمی‌توانیم فیلتر میانه را روی مؤلفه‌ی شدت اعمال کنیم. زیرا تبدیل RGB به YIQ ، نویز را در تمام مؤلفه‌های YIQ منتشر خواهد کرد. اگر نویز را تنها از Y حذف کنیم:

```
>> jnn=rgb2ntsc(jn);
>> jnn(:,:,1)=medfilt2(jnn(:,:,1));
>> jm2=ntsc2rgb(jnn);
>> imshow(jm2)
```

همان‌گونه که در شکل ۸-۲۶ (ب) مشاهده می‌کنید، نویز کمی کاهش می‌یابد، اما هنوز در تصویر مشاهده می‌شود. اگر نویز فقط روی یکی از مؤلفه‌های RGB اعمال شود، اعمال تکنیک حذف نویز روی همان مؤلفه مناسب خواهد بود. همچنین توجه داشته باشید روش حذف نویز باید با توجه به نحوه‌ی ایجاد آن انتخاب شود. در مثال بالا به طور ضمنی فرض بر این بود که پس از گرفتن تصویر و ذخیره‌سازی آن به صورت مؤلفه‌های RGB ، نویز ایجاد شده است. ولی از آنجایی که در هر مرحله از فرآیند گرفتن تصویر، ممکن است نویز ایجاد شود، منطقی است که فرض کنیم نویز تنها بر روشنایی تصویر اثر می‌گذارد. در چنین مواردی، حذف نویز مؤلفه‌ی Y از YIQ ، بهترین نتایج را تولید می‌کند.

۸-۶-۴ تشخیص لبه

تصویر لبه، تصویری دودویی شامل لبه‌های ورودی است. به دو روش می‌توان تصویر لبه را به دست آورد:

۱. می‌توان مؤلفه‌ی شدت را استخراج کرده و تابع $edge$ را روی آن اعمال نمود.
 ۲. می‌توان تابع $edge$ را روی تمام مؤلفه‌های RGB اعمال کرده و نتایج را ترکیب نمود.
- برای پیاده‌سازی روش اول، با تابع $rgb2gray$ شروع می‌کنیم:

```
>> fg=rgb2gray(f);
>> fel=edge(fg);
>> imshow(fel)
```

(ب) $fe2$: لبه‌های حاصل از تمام مؤلفه‌های RGB (الف) $fe1$: لبه‌های به دست آمده از $rgb2gray$

شکل ۸-۲۷ لبه‌های یک تصویر رنگی.

یادآور می‌شویم که تابع $edge$ بدون پارامتر، روش لبه‌یابی سوبل را پیاده‌سازی می‌کند. نتیجه را در شکل ۸-۲۷ (الف) مشاهده می‌کنید. در روش دوم می‌توانیم نتایج را با "or" منطقی ترکیب کنیم:

```
>> f1=edge(f(:,:,1));
>> f2=edge(f(:,:,2));
>> f3=edge(f(:,:,3));
>> fe2=f1 | f2 | f3;
>> figure,imshow(fe2)
```

این تصویر را نیز در شکل ۸-۲۷ (ب) مشاهده می‌کنید. تصویر لبه‌ی $fe2$ نسبت به $fe1$ کامل‌تر است. توجه داشته باشید که در تصویر $fe2$ لبه‌های بیشتری از رز پیداست، در حالی که در تصویر $fe1$ لبه‌های کمتری مشخص هستند. همچنین توجه داشته باشید که لبه‌های برگ‌ها در پایین سمت چپ $fe2$ دیده می‌شوند که در $fe1$ اصلاً دیده نمی‌شدند. میزان توفیق این روش‌ها به پارامترهای تابع لبه انتخاب شده، مثلاً حد آستانه انتخاب شده نیز بستگی دارد. در مثال‌هایی که مشاهده نمودید، تابع لبه به همراه حد آستانه پیش‌فرض آن به کار گرفته شده است.

۷-۸ تمرین‌ها

۱. مدل رنگ چیست؟
۲. هموارسازی گوسی و تیزکردن لبه را روی یک تصویر دلخواه اعمال کنید.
۳. مؤلفه‌های RGB تصویر زیر داده شده‌اند. به صورت دستی مؤلفه‌های شدت و اشباع تصویر زیر را تعیین کنید:

(0, 1, 1)	(1, 2, 3)	(7, 7, 7)	(5, 1, 2)	(1, 1, 7)
(2, 1, 2)	(1, 7, 7)	(2, 0, 2)	(3, 3, 2)	(5, 5, 0)
(4, 4, 4)	(4, 6, 7)	(4, 5, 6)	(1, 5, 7)	(3, 6, 7)
(3, 0, 3)	(5, 2, 2)	(1, 1, 1)	(6, 6, 0)	(2, 2, 2)
(1, 2, 1)	(0, 4, 4)	(3, 1, 6)	(3, 3, 3)	(2, 4, 6)

۴. فرض کنید مؤلفه‌ی شدت یک تصویر HSV به دو مقدار آستانه‌گذاری شده است. این امر چه تأثیری در نمایش تصویر دارد؟

۵. برای مقادیر زیر، به صورت دستی بین RGB ، HSV یا YIQ تبدیل انجام دهید (ممکن است نرمال‌سازی مقادیر RGB مورد نیاز باشد):

R	G	B	H	S	V	R	G	B	Y	I	Q
0.5	0.5	0				0.3	0.3	0.7			
0	0.7	0.7				0.7	0.9	0			
0.5	0	0.5				0.8	0.8	0.7			
			0.33	0.5	1				1	0.3	0.3
			0.67	0.7	0.7				0.5	0.5	0.5
			0	0.2	0.8				0	1	1

۶. درستی پاسخ‌های تمرین قبل را با استفاده از توابع $rgb2hsv$ ، $hsv2rgb$ و $rgb2ntsc$ و $ntsc2rgb$ بررسی کنید.

۷. مؤلفه‌ی شدت یک تصویر رنگی مانند *flowers.tif* را آستانه‌گذاری کنید. آیا نتیجه با آنچه که از تمرین ۴ پیش‌بینی می‌کردید مطابقت دارد؟

۸. تصویر *spine.tif* یک تصویر رنگی اندیس‌گذاری شده است، اگر چه رنگ‌های آن بسیار نزدیک به سایه‌های خاکستری هستند. نگاشت‌های رنگ به طول ۶۴ را روی تصویر به کار گرفته و نتایج را با *imshow* نمایش دهید. کدام نگاشت بهترین، و کدام یک بدترین نتیجه را تولید می‌کند؟

۹. تصویر *autumn.tif* را خوانده و تعدیل هیستوگرام را با شرایط زیر اعمال کنید:

الف. روی مؤلفه‌ی شدت HSV

ب. روی مؤلفه‌ی شدت YIQ

کدام یک بهترین نتیجه را تولید می‌کند؟

۱۰. با استفاده از دستورات زیر یک صفحه چند رنگ تصادفی ایجاد کنید:

```
>> r=uint8(floor(256*rand(16,16,3)));
>> r=imresize(r,16);
>> imshow(r),impixel info
```

کدام مقادیر RGB ، $الف$. قهوه‌ای روشن تولید می‌کنند؟ ب. قهوه‌ای تیره تولید می‌کنند؟ مقادیر قهوه‌ای را به HSV تبدیل کرده و رنگمایه‌ها را روی یک دایره ترسیم کنید.

۱۱. با استفاده از تصویر گل‌ها، در صورت امکان تصویر لبه را از مؤلفه‌ی Y استخراج کنید که

نزدیک‌ترین حالت ممکن به تصویر *fe2* در شکل ۸-۲۷ است. از کدام پارامترهای تابع *edge*

استفاده کردید؟ چگونه می‌توان نزدیک‌ترین نتیجه به *fe2* را به دست آورد؟

۱۲. با استفاده از دستور زیر، به تصویر RGB رنگی x نویز گوسی اضافه کنید:

```
>> xn=imnoise(x,'gaussian');
```

تصویر را مشاهده کرده و سعی کنید با روش‌های زیر، نویز را حذف کنید:

الف. اعمال فیلتر میانگین‌گیری روی هر یک از مؤلفه‌های *RGB*

ب. اعمال فیلتر وینر روی هر یک از مؤلفه‌های *RGB*

۱۳. یک تصویر دلخواه را خوانده و با استفاده از دستورات زیر، به مؤلفه‌ی شدت آن نویز نمک و فلفل

اضافه کنید:

```
>> ty=rgb2ntsc(tw);
>> tn=imnoise(ty(:,:,1),'salt & pepper');
>> ty(:,:,1)=tn;
```

حال تصویر را برای نمایش به *RGB* تبدیل کنید.

الف. نمایش نویز اضافه شده در هر مؤلفه‌ی *RGB* را مطابق شکل ۸-۲۵ مقایسه کنید. آیا تفاوت

قابل توجهی دیده می‌شود؟

ب. با اعمال فیلتر میانه روی مؤلفه‌ی شدت، نویز را از تصویر حذف کنید.

پ. حال فیلتر میانه را روی هر یک از مؤلفه‌های *RGB* اعمال کنید.

ت. کدام یک بهترین نتیجه را تولید می‌کند؟

ث. مراحل فوق را با حجم بیشتری از نویز تکرار کنید.

ج. مراحل فوق را برای نویز گوسی تکرار کنید.