

آشنایی با اصول مقدماتی فیزیولوژی نور و رنگ و چگونگی تشکیل تصویر

هدف کلی

بررسی چگونگی تبدیل نور به سیگنال الکتریکی در تلویزیون رنگی

هدف‌های رفتاری: فراگیر پس از پایان این واحد کار قادر خواهد بود:

- ۱- اصول تشکیل تصویر را در تلویزیون سیاه و سفید شرح دهد.
- ۲- سازش و هماهنگی به‌عنوان شرط اصلی را شرح دهد.
- ۳- ایجاد رنگ در تلویزیون رنگی را توضیح دهد.
- ۴- سیگنال رنگ‌های اولیه را توضیح دهد.
- ۵- سیگنال تک‌کثیف درخشندگی و نحوه تهیه آن را از سیگنال رنگ‌های اولیه توضیح دهد.
- ۶- سیگنال تفاضلی رنگ و نحوه تهیه آن را شرح دهد.
- ۷- پهنای باند را تعریف و مقدار آن را بررسی کند.
- ۸- دایره‌ی رنگ و کاربرد آن را توضیح دهد.
- ۹- ارتباط دایره‌ی رنگ با تلویزیون رنگی را شرح دهد.
- ۱۰- مثلث رنگی ماکسول را شرح دهد.
- ۱۱- طرز کار تلویزیون رنگی را توضیح دهد.

میزان ساعات آموزش

نظری	عملی	جمع
۶	-	۶

پیش آزمون (۱)

- ۱- معنی کلمه تلویزیون (Television) چیست؟
- ۲- چه دستگاهی می تواند تصویر متحرک را به سیگنال الکتریکی تبدیل کند؟
- ۳- بلوک دیاگرام ساده ای از فرستنده و گیرنده تلویزیون رسم کنید.
- ۴- منظور از تلویزیون ۱۴ اینچ و ۲۱ اینچ چیست؟
- ۵- سرعت حرکت امواج تلویزیونی در فضا چه قدر است؟
الف) $30 \cdot \frac{km}{sec}$ ب) $340 \cdot \frac{m}{sec}$ ج) $300000 \cdot \frac{km}{sec}$ د) $340 \cdot \frac{km}{sec}$
- ۶- به حرکت شعاع الکترونی در جهت و روی صفحه تصویر، جاروب کردن می گویند.
- ۷- سیگنال مرکب تصویر شامل کدام سیگنال هاست؟
الف) سیگنال دوربین
ب) سیگنال دوربین + پالس محو
ج) سیگنال دوربین + پالس همزمانی
د) سیگنال دوربین + پالس همزمانی + پالس محو
- ۸- در مورد سیگنال مرکب تصویر با فاز منفی، کدام گزینه صحیح است؟
الف) سطح سفید کم ترین دامنه و سطح سیاه بیش ترین دامنه را دارد.
ب) سطح سفید بیش ترین دامنه و سطح سیاه کم ترین دامنه را دارد.
ج) سطح سفید دارای پلاریته منفی و سطح سیاه دارای پلاریته مثبت است.
د) سطح سفید دارای پلاریته مثبت و سطح سیاه دارای پلاریته منفی است.
- ۹- در سیگنال مرکب تصویر، زمان یک خط چند میکروثانیه است؟
- ۱۰- سیگنال مرکب تصویر مربوط به پترن نوارهای استاندارد سیاه و سفید را با فاز منفی و فاز مثبت رسم کنید.

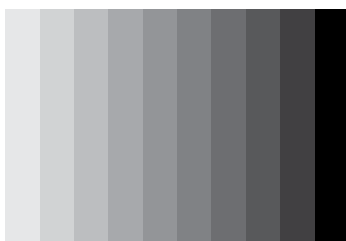
- ۱۱- نوع مدولاسیون تصویر در تلویزیون کدام است؟
الف) SSB ب) DSB ج) VSB د) FM
- ۱۲- در استاندارد CCIR-B نوع مدولاسیون صوت و تصویر به ترتیب از راست به چپ کدام است؟
الف) FM-AM ب) AM-FM ج) AM-AM د) FM-FM
- ۱۳- در سیستم CCIR-B حدود فرکانس کانال های تلویزیون در باند بالای VHF (باند III) کدام است؟
الف) ۴۱-۶۸ MHz ب) ۱۷۴-۲۳۰ MHz ج) ۴۷۰-۶۰۵ MHz د) ۶۰۶-۸۵۳ MHz
- ۱۴- پهنای باند هر کانال در استاندارد CCIR-B چند مگاهرتز است؟
الف) ۶ ب) ۵/۵ ج) ۷ د) ۶/۵
- ۱۵- فرکانس IF تصویر مگاهرتز و فرکانس IF صدا مگاهرتز است.

۱- آشنایی با چگونگی تشکیل تصویر

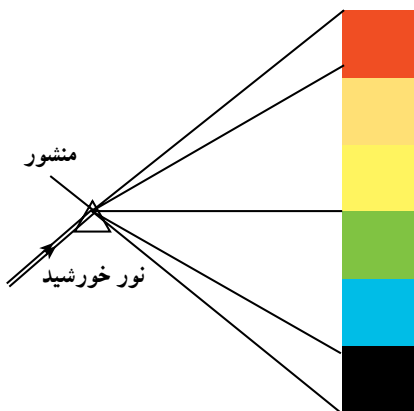
۱-۱- اصول تشکیل تصویر در تلویزیون سیاه و سفید



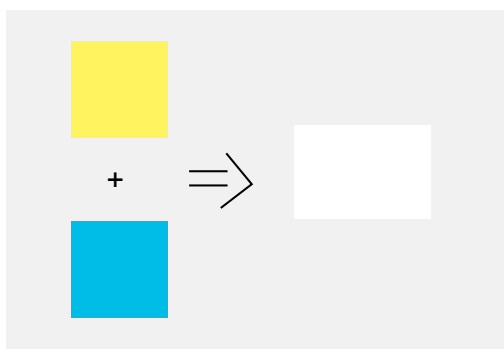
شکل ۱-۱



شکل ۱-۲



شکل ۱-۳



شکل ۱-۴

استفاده از کلمه سیاه و سفید در گیرنده‌های سیاه و سفید به معنی غیررنگی بودن تصویر است (شکل ۱-۱). در این نوع گیرنده‌ها نقاطی که دارای حداکثر روشنایی هستند سفید و نقاطی که روشنایی بسیار کم دارند به صورت سیاه دیده می‌شوند. بین این نقاط درجات مختلفی از سطح خاکستری روشن تا تیره قرار دارد (شکل ۱-۲).

این تصور ایجاد می‌شود که ماده‌ای درخشانده‌ی سطح حساس تلویزیون سیاه و سفید، ماده‌ای است که هنگام تحریک توسط الکترون‌ها فقط نور سفید یا به عبارت دیگر نور غیررنگی تولید می‌کند همان‌طور که می‌دانید نور سفید ترکیبی از طول موج‌هایی از رنگ‌های مختلف است که در مجموع توسط چشم به صورت سفید دیده می‌شود. مثل نور خورشید که پس از تجزیه به طیف نوری از رنگ‌های مختلف تبدیل می‌شود (شکل ۱-۳).

مواد فسفرسانس روی صفحه‌ی تلویزیون سیاه و سفید، دو نور به رنگ‌های آبی و زرد می‌سازد که با هم ترکیب می‌شوند و تحت شرایط معینی نور سفید تولید می‌کنند (شکل ۱-۴).

۱-۲-۱ سازش و هماهنگی به عنوان شرط اصلی

سازش و هماهنگی به مفهوم سازگاری کامل بین سیستم های تلویزیون سیاه و سفید و رنگی است. سازگاری بین دو سیستم به این مفهوم است که تلویزیون رنگی می تواند از برنامه سیاه و سفید به صورت سیاه و سفید استفاده کند (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵

همچنین هر تلویزیون سیاه و سفید نیز باید بتواند برنامه های رنگی را به صورت سیاه و سفید دریافت کند (شکل ۱-۶).



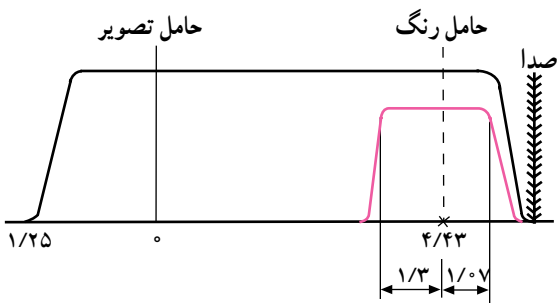
شکل ۱-۶

برای برقراری اصل سازش باید موارد زیر در نظر گرفته

شود:

۱-۲-۱-۱ یکسان بودن حدود طیف فرکانس: طیف

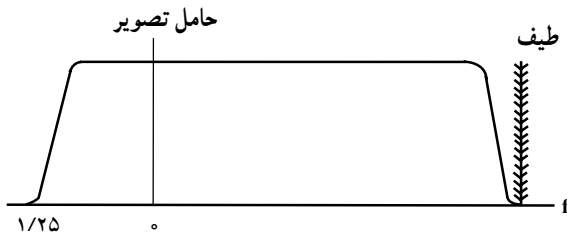
فرکانس کلیه ی سیگنال ها در تلویزیون رنگی باید در حدود طیف فرکانس در تلویزیون سیاه و سفید باشد. شکل ۱-۷ پهنای باند یک کانال و مکان حامل تصویر و صدا را در تلویزیون رنگی نشان می دهد.



شکل ۱-۷

شکل ۱-۸ پهنای باند کانال و مکان حامل تصویر و صدا

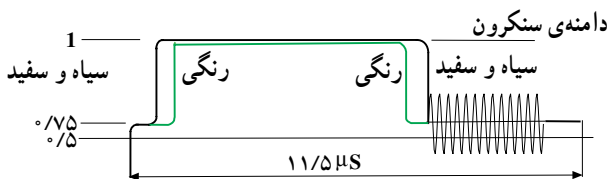
را در تلویزیون سیاه و سفید نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود طیف فرکانس هر دو سیستم تقریباً با هم برابر است.



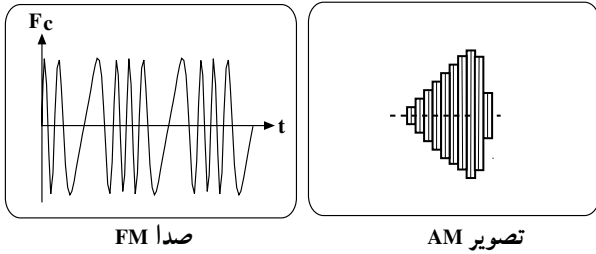
شکل ۱-۸

۱-۲-۲ یکسان بودن پالس های همزمانی، محو

افقی و محو عمودی: باید پالس های همزمانی و محو در سیستم تلویزیون رنگی و سیاه و سفید با هم انطباق داشته باشد (شکل ۱-۹).

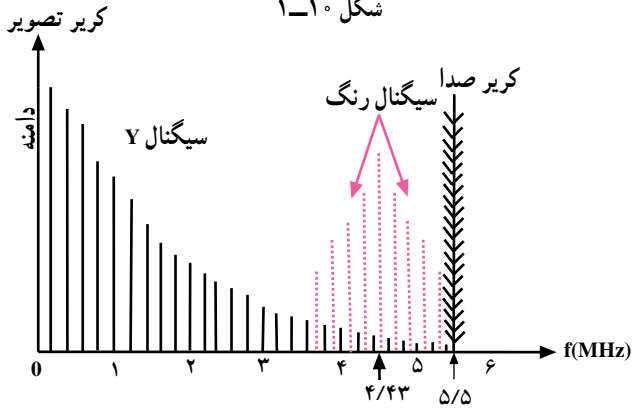


شکل ۱-۹



۱-۲-۳ یکسان بودن حامل صدا و تصویر: نوع مدولاسیون صدا و تصویر و حامل آن‌ها در هر دو سیستم سیاه و سفید و رنگی باید یکسان باشد (شکل ۱-۱۰).

شکل ۱-۱۰



شکل ۱-۱۱



شکل ۱-۱۲

۱-۲-۴ اطلاعات مربوط به رنگ باید به گونه‌ای ارسال شود که هیچ علامت اضافی روی تصویر سیاه و سفید مشاهده نشود. برای رسیدن به این هدف طیف سیگنال رنگ را در داخل طیف سیگنال روشنایی و در جای خالی از انرژی روشنایی قرار می‌دهند (شکل ۱-۱۱).

۱-۳ ایجاد رنگ در تلویزیون رنگی

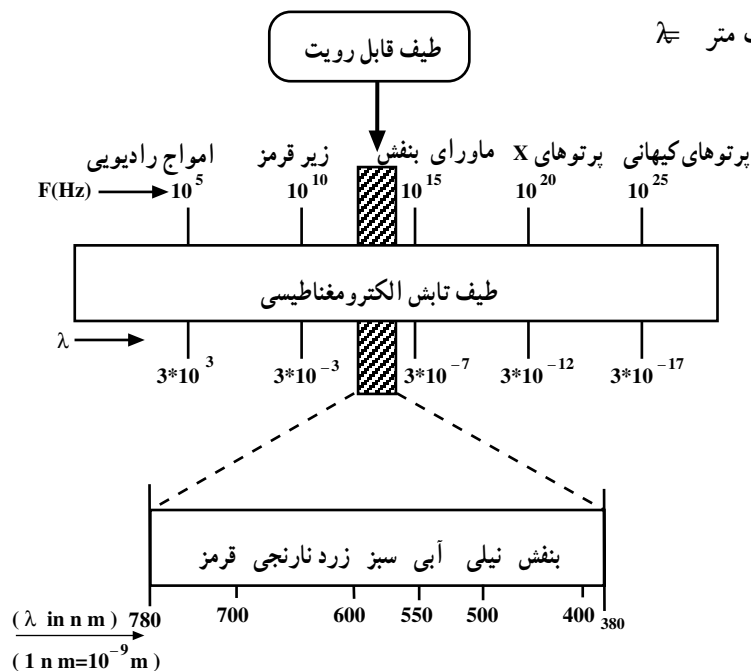
۱-۳-۱ تعریف نور: نور قسمتی از طیف امواج الکترومغناطیس است که به وسیله‌ی چشم انسان قابل رؤیت می‌باشد (شکل ۱-۱۲).

طول موج نورهای قابل رؤیت تقریباً از 380° تا 780° نانومتر است. (شکل ۱-۱۳) یک نانومتر برابر با 10^{-9} متر و رابطه‌ی طول موج به صورت $\lambda = \frac{c}{f}$ است. در این رابطه:

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$F = \text{فرکانس بر حسب هرتز}$$

$$\lambda = \text{طول موج بر حسب متر}$$



شکل ۱-۱۳



شکل ۱-۱۴

۲-۳-۱ ترکیب نورها: بسیاری از نورهای رنگی از ترکیب نورهای با طول موج‌های مختلف درست می‌شوند. مثلاً اگر به نور خورشید توجه کنیم می‌بینیم که رنگ نور آن سفید مایل به زرد است. اگر این نور را توسط منشوری شیشه‌ای تجزیه کنیم طیفی از رنگ‌های مختلف در آن ظاهر می‌شود (شکل ۱-۱۴).



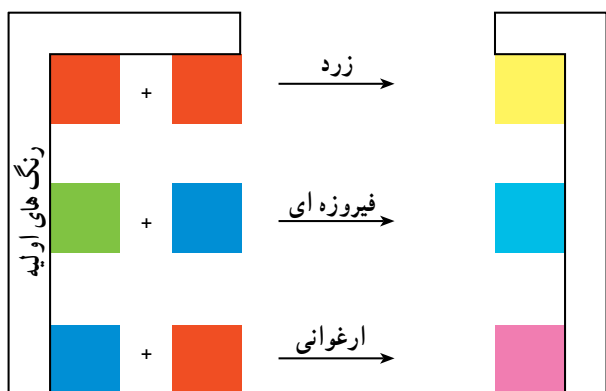
شکل ۱-۱۵

۳-۳-۱ رنگ‌های اصلی: سه رنگ قرمز، سبز و آبی را رنگ‌های اصلی می‌گویند. رنگ قرمز را با R، رنگ سبز را با G و آبی را با B نشان می‌دهند. این رنگ‌ها کاملاً مستقل از یکدیگر هستند و نمی‌توان هیچ‌یک از آن‌ها را از ترکیب دو رنگ دیگر به دست آورد (شکل ۱-۱۵).



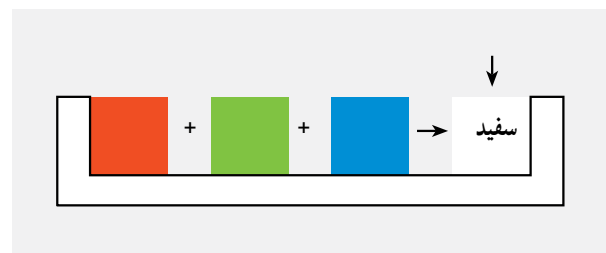
شکل ۱-۱۶

از ترکیب مقادیر مختلفی از هر یک از این سه رنگ، رنگ‌های دیگری ساخته می‌شوند (شکل ۱-۱۶).



شکل ۱-۱۷

مثلاً از ترکیب رنگ‌های قرمز و سبز رنگ زرد، از ترکیب رنگ‌های سبز و آبی رنگ فیروزه‌ای و از ترکیب آبی و قرمز رنگ ارغوانی به وجود می‌آید (شکل ۱-۱۷).



شکل ۱-۱۸

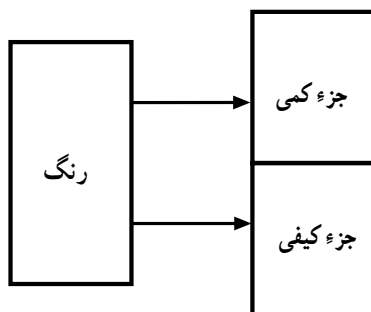
۴-۳-۱ رنگ‌های مکمل: رنگ‌های مکمل رنگ‌هایی هستند که از ترکیب آن‌ها رنگ سفید به دست آید. رنگ‌های مکمل عبارتند از:

$$\text{سفید} = \text{آبی} + \text{زرد}$$

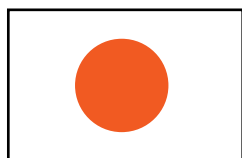
$$\text{سفید} = \text{نیلی} + \text{قرمز}$$

$$\text{سفید} = \text{ارغوانی} + \text{سبز}$$

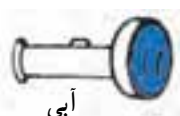
۵-۳-۱ تولید نور سفید: هرگاه سه نور قرمز، سبز و آبی را با شدت‌های معینی با هم ترکیب کنیم نور سفید به دست می‌آید (شکل ۱-۱۸).



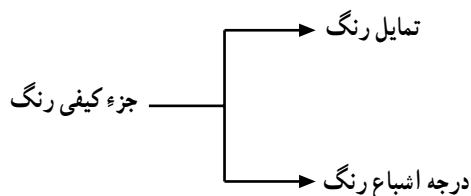
شکل ۱-۱۹



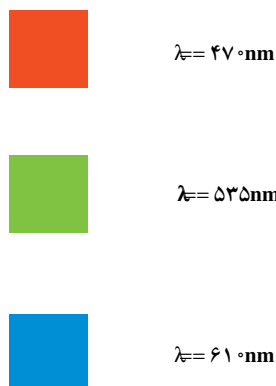
شکل ۱-۲۰



شکل ۱-۲۱



شکل ۱-۲۲



شکل ۱-۲۳

۶-۳-۱- خصوصیات رنگ: هر رنگ از دو جزء کمی و کیفی تشکیل می‌شود (شکل ۱-۱۹).
الف) جزء کمی رنگ: جزء کمی رنگ روشنایی یا لومینانس نام دارد. لومینانس میزان روشن بودن رنگ را مشخص می‌کند. برای درک بهتر مثالی می‌زنیم.

اگر دایره شفاف قرمز رنگ را یک بار روی صفحه سفید و بار دیگر روی صفحه سیاه قرار دهید تفاوت زیادی در مقدار روشنایی دایره قرمز رنگ مشاهده می‌کنید (شکل ۱-۲۰).

همچنین اگر به دو منبع نور سبز و آبی با توان‌های مساوی توجه کنید، نور سبز روشن‌تر از نور آبی دیده می‌شود؛ پس روشنایی در واقع میزان تأثیر رنگ را روی سلول‌های چشم بیان می‌کند (شکل ۱-۲۱).

ب) جزء کیفی رنگ: جزء کیفی رنگ را رنگینی رنگ می‌نامند. رنگینی رنگ به دو بخش تمایل رنگ و درجه اشباع رنگ تقسیم‌بندی می‌شود (شکل ۱-۲۲).

تمایل رنگ: تمایل رنگ، رنگ اصلی جسم را مشخص می‌کند. هر رنگ دارای طول موج معینی است که با طول موج رنگ‌های دیگر متفاوت است؛ مثلاً رنگ قرمز هیچ تمایلی به رنگ سبز ندارد. رنگ قرمز دارای طول موج ۶۱۰ نانومتر، رنگ آبی ۴۷۰ نانومتر و رنگ سبز دارای طول موج ۵۳۵ نانومتر است (شکل ۱-۲۳).



رنگ زرد با درجه اشباع بیشتر



رنگ زرد با درجه اشباع کمتر

شکل ۱-۲۴

درجه اشباع رنگ: میزان نور سفید موجود در رنگ، درجه اشباع رنگ را مشخص می‌کند. هر رنگی که خالص بوده و اصلاً نور سفید نداشته باشد دارای درجه اشباع صد درصد است. هرچه میزان نور سفید در نور رنگی بیشتر باشد درجه‌ی اشباع آن کم‌تر است (شکل ۱-۲۴).

به‌عنوان مثال اگر به رنگ قرمز به تدریج نور سفید اضافه کنیم میزان قرمزی رنگ یعنی تمایل رنگ ثابت می‌ماند ولی درجه‌ی اشباع آن به تدریج تغییر می‌کند و از قرمز سیر به قرمز روشن تبدیل می‌شود (شکل ۱-۲۵).

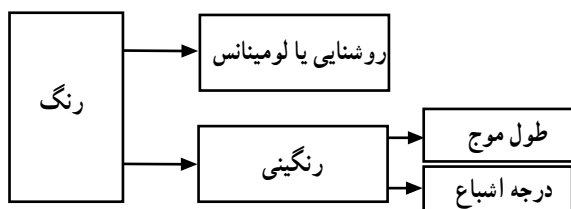


قرمز تیره

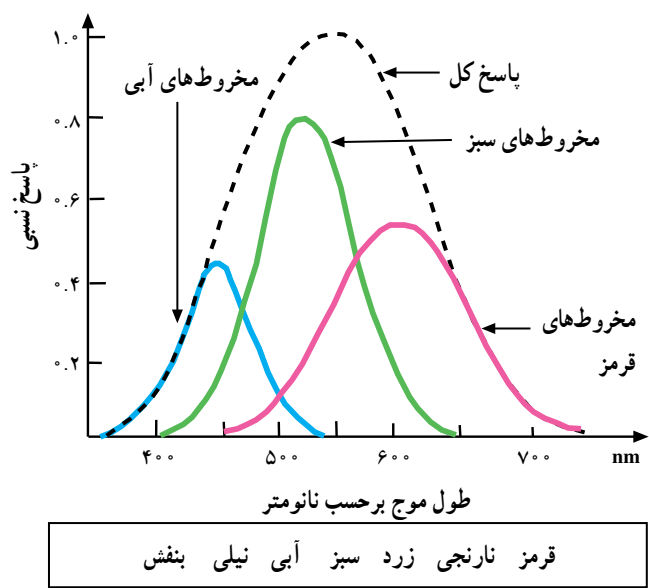
قرمز روشن

شکل ۱-۲۵

اجزای رنگ را می‌توان به‌صورت بلوک دیاگرام شکل ۱-۲۶ نشان داد.

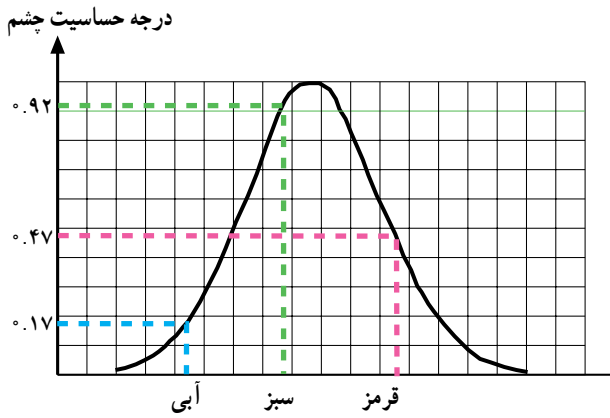


شکل ۱-۲۶



شکل ۱-۲۷

۱-۳-۷- درجه حساسیت چشم انسان نسبت به رنگ‌های مختلف: در چشم انسان سه نوع سلول رنگ وجود دارد. این سلول‌ها به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی حساس هستند. با دیدن تصویر رنگی، هرکدام از سلول‌ها رنگ مربوط به خود را حس می‌کند و احساس هر رنگ به‌طور مستقل به مغز انتقال می‌یابد. در مغز رنگ‌های حس شده متناسب با نسبت‌هایی که دارند با هم ترکیب می‌شوند و رنگ جسم را مشخص می‌کنند. درجه‌ی حساسیت چشم نسبت به طول موج‌های مختلف مطابق نمودار شکل ۱-۲۷ است.



شکل ۱-۲۸

با توجه به منحنی، می‌توان منحنی حساسیت چشم انسان را نسبت به سه رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی به صورت شکل ۱-۲۸ نشان داد.

۱-۴ سیگنال رنگ‌های اولیه

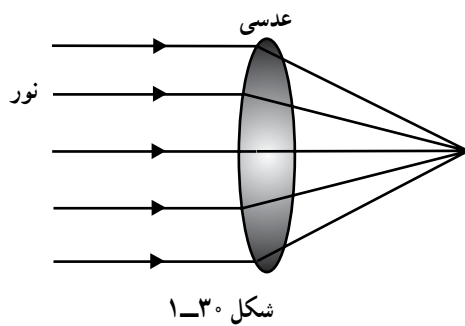
برای تهیه‌ی سیگنال‌های رنگ اولیه ابتدا به صحنه، نور تابانده می‌شود سپس نور منعکس‌شده از صحنه توسط دوربین تلویزیون رنگی به سه سیگنال رنگ اولیه قرمز، سبز و آبی تجزیه می‌شود (شکل ۱-۲۹).



شکل ۱-۲۹

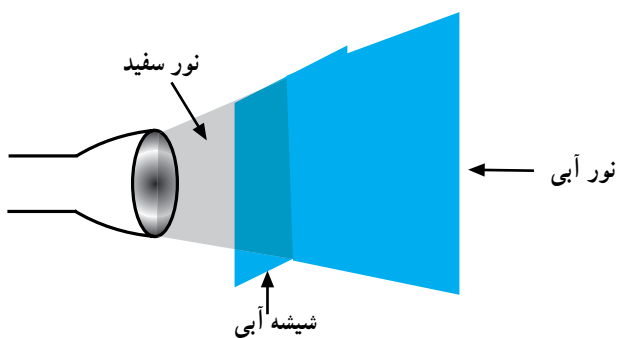


دوربین



شکل ۱-۳۰

نور منعکس‌شده از صحنه پس از عبور از عدسی در داخل دوربین متمرکز می‌شود (شکل ۱-۳۰).

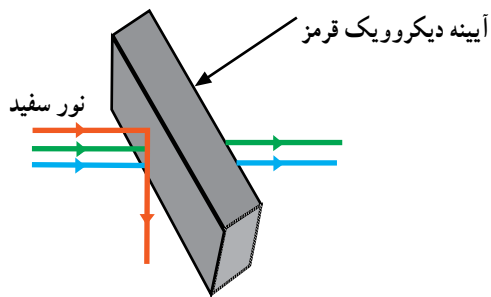


شکل ۱-۳۱

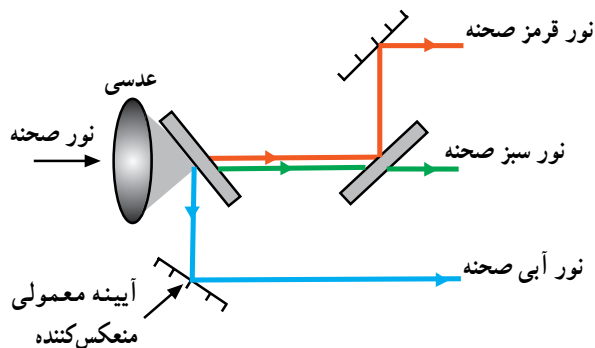
در داخل دوربین، سه آینه‌ی منکسرکننده (تجزیه‌کننده) وجود دارد که رنگ‌ها را تجزیه می‌کند. به این آینه‌ها، آینه‌های دیکروویک^۱ می‌گویند. می‌دانیم هر شیشه‌ی رنگی نور مربوط به خود را عبور می‌دهد و بقیه‌ی رنگ‌ها را جذب می‌کند. مثلاً وقتی به شیشه‌ی آبی نور سفید بتابانیم، شیشه‌ی آبی فقط طیف نور آبی را از خود عبور می‌دهد و نورهای قرمز و سبز را حذف می‌کند (شکل ۱-۳۱).

۱- Dichroic

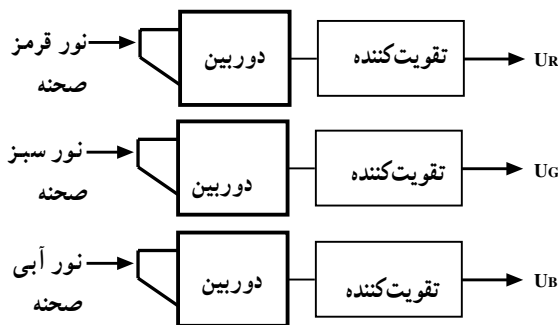
دو رنگ



شکل ۱-۳۲



شکل ۱-۳۳



شکل ۱-۳۴

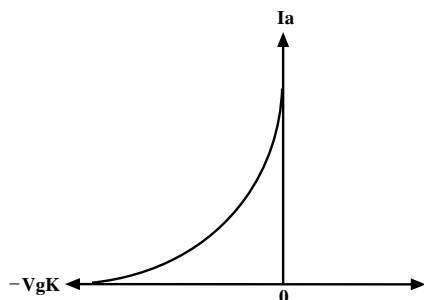


صحنه



تصویر در تلویزیون

شکل ۱-۳۵



شکل ۱-۳۶

آینه‌های منکسرکننده یا دیکروویک از بین نورهای قرمز و سبز و آبی، یک نور را می‌شکند و بقیه‌ی نورها از آن عبور می‌کند. مثلاً در آینه‌ی دیکروویک قرمز نور قرمز منکسر می‌شود و از آینه عبور نمی‌کند؛ درحالی که نورهای سبز و آبی از آن می‌گذرد (شکل ۱-۳۲).

در دوربین ابتدا سه نور قرمز و سبز و آبی صحنه به وسیله‌ی آینه‌های دیکروویک از هم جدا می‌شود، سپس نورهای جدا شده توسط آینه‌های معمولی منعکس کننده، در راستای مورد نظر تنظیم می‌شوند (شکل ۱-۳۳).

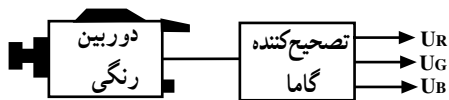
از نورهای قرمز و سبز و آبی مربوط به صحنه، توسط سه دوربین سه نوع سیگنال الکتریکی تهیه می‌شود. سیگنال‌های تهیه شده بعد از عبور از تصحیح کننده‌ی گاما، به میزان لازم تقویت می‌شود (شکل ۱-۳۴).

این سه سیگنال را U_R و U_G و U_B می‌نامیم. سیگنال رنگ اولیه قرمز، U_G سیگنال رنگ اولیه سبز و U_B سیگنال رنگ اولیه آبی نام دارد.

۱-۴-۱- تصحیح کننده‌ی گاما: برای حفظ کیفیت

تصویر، باید مقدار نوری که در گیرنده از لامپ تصویر پخش می‌شود برابر با مقدار نوری باشد که در فرستنده از صحنه به دوربین تلویزیون تابیده می‌شود. برای این منظور باید بین مقادیر نور در فرستنده و گیرنده یک رابطه خطی برقرار باشد (شکل ۱-۳۵).

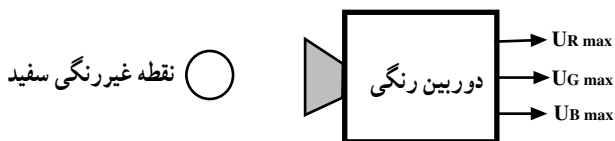
از طرفی چون رابطه‌ی بین جریان لامپ تصویر و ولتاژ شبکه‌ی کنترل در گیرنده تلویزیون غیر خطی است (شکل ۱-۳۶). همواره در ارتباط با سیگنال‌های رنگ بین دوربین تلویزیونی فرستنده تا لامپ تصویر در گیرنده رابطه غیر خطی برقرار می‌شود.



شکل ۱-۳۷



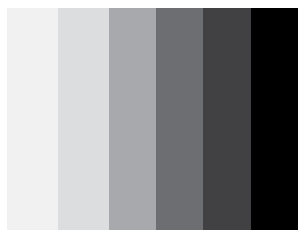
شکل ۱-۳۸



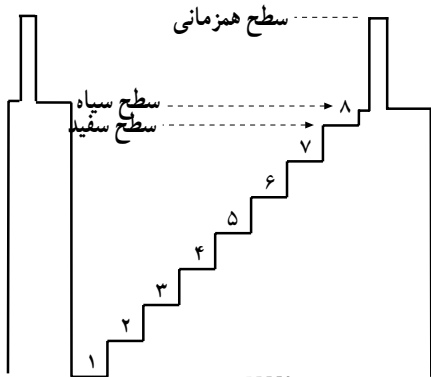
شکل ۱-۳۹



شکل ۱-۴۰



شکل ۱-۴۱



سیگنال روشنایی همراه با پالس‌های همزمانی و محور

شکل ۱-۴۲

تصحیح کننده گاما برای جبران رابطه‌ی غیر خطی بین جریان لامپ تصویر و ولتاژ شبکه فرمان به کار می‌رود. تصحیح کننده‌ی گاما در واقع نوعی تقویت کننده است که با تقویت سیگنال رنگ‌های اولیه سبب می‌شود تا میزان نور موجود در صحنه با میزان نور تولید شده در صفحه‌ی لامپ تصویر گیرنده برابر شود (شکل ۱-۳۷).

۲-۴-۱- تعادل سفید: تمام دوربین‌های تلویزیون رنگی طوری تنظیم می‌شوند که سیگنال‌های رنگ اولیه برای یک نقطه غیر رنگی مقادیر مساوی داشته باشند؛ یعنی برای یک نقطه غیر رنگی باید $U_R = U_G = U_B$ باشد (شکل ۱-۳۸). اگر نقطه غیر رنگی، سفید و منعکس کننده ایده‌آل باشد، دیافراگم دوربین طوری تنظیم می‌شود که سیگنال رنگ‌های اولیه ماکزیمم و مقدار آن مساوی ۱ ولت شود (شکل ۱-۳۹).

$$U_{Rmax} = U_{Gmax} = U_{Bmax} = 1V$$

این حالت از تنظیم دوربین را تعادل سفید گویند.

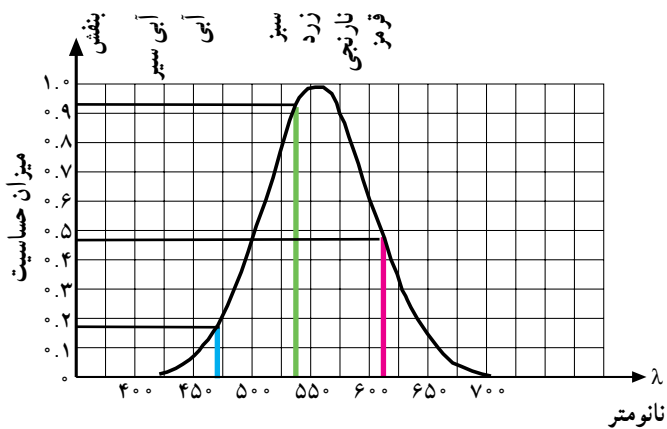
۱-۵- سیگنال تکائف درخشندگی

برای برقراری سازش و هماهنگی بین تلویزیون سیاه و سفید و رنگی لازم است در فرستنده تلویزیون رنگی سیگنالی تهیه کنیم که فقط حاوی اطلاعات مربوط به تکائف درخشندگی باشد. یعنی سیگنالی تهیه کنیم، مشابه سیگنالی که یک تلویزیون سیاه و سفید از صحنه تهیه می‌کند (شکل ۱-۴۰).

این سیگنال را در تلویزیون رنگی سیگنال تکائف درخشندگی یا سیگنال روشنایی یا لومینانس می‌نامند و آن را با U_Y نشان می‌دهند. برای سادگی در نوشتن، U_Y را با Y نشان می‌دهیم.

(شکل ۱-۴۱ و ۱-۴۲) پترن نوارهای استاندارد و سیگنال روشنایی این نوار را نشان می‌دهد. در تلویزیون رنگی Y از ترکیب نسبت معینی از U_R و U_G و U_B به دست می‌آید.

$$UY = aUR + bUG + cUB$$



شکل ۱-۴۳

$$a = \frac{0.47}{1.56} = 0.30$$

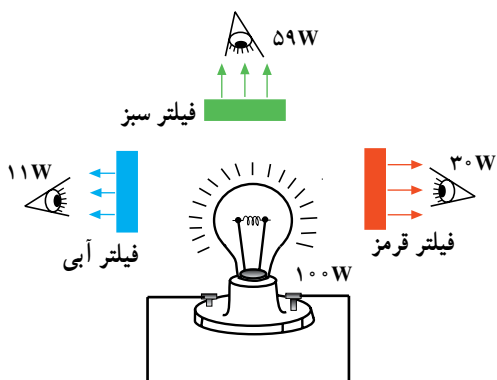
$$b = \frac{0.92}{1.56} = 0.59$$

$$c = \frac{0.17}{1.56} = 0.11$$



چشم نورها را سفید می بیند

شکل ۱-۴۴



شکل ۱-۴۵

ضرایب a و b و c اعداد ثابتی هستند این ضرایب به میزان حساسیت چشم به سه رنگ قرمز و سبز و آبی بستگی دارند. اگر حداکثر حساسیت چشم را ۱ در نظر بگیریم درجه حساسیت چشم نسبت به رنگ قرمز 0.47° و نسبت به رنگ سبز 0.92° و نسبت به رنگ آبی 0.17° است.

(شکل ۱-۴۳) درجه حساسیت چشم را نسبت به رنگ های قرمز و سبز و آبی نشان می دهد. ضرایب a و b و c را باید طوری انتخاب کنیم که جمع آن ها برابر با ۱ شود.

$$a + b + c = 1$$

چون $0.17 + 0.92 + 0.47$ برابر 1.56 می شود لذا باید ضرایب a و b و c را با استفاده از روابط مقابل اصلاح کنیم. با استفاده از این ضرایب رابطه بین سیگنال تکائف درخشندگی و سیگنال رنگ های اولیه به دست می آید.

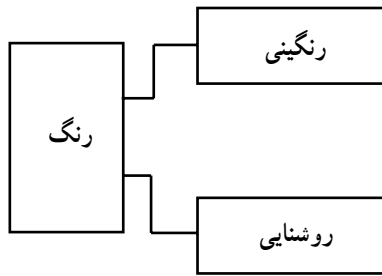
$$U_Y = 0.30 U_R + 0.59 U_G + 0.11 U_B$$

با یک آزمایش ساده می توان رابطه فوق را اثبات کرد. چنانچه یک لامپ قرمز با توان 30° وات، یک لامپ سبز با توان 59° وات و یک لامپ آبی با توان 17° وات را روشن کنیم، در صورتی که نسبت تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی نورانی در لامپ ها یکسان باشد. از مجموع نورهای تولید شده، نور سفید به وجود می آید به عبارت دیگر از ترکیب سه نور با نسبت های فوق، رنگ نور ایجاد شده به صورت سفید دیده می شود (شکل ۱-۴۴).

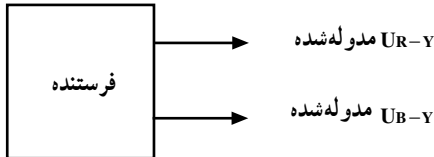
عکس این عمل نیز صادق است یعنی اگر نور چراغی که دارای توان 100° وات است و نور سفید می تاباند را توسط سه فیلتر قرمز، سبز و آبی تجزیه کنیم، مشاهده می شود که نور سفید تولید شده از توان الکتریکی، معادل 30° وات آن مربوط به نور قرمز، 59° وات مربوط به نور سبز و 11° وات مربوط به نور آبی است (شکل ۱-۴۵).

۱-۶-۱ سیگنال تفاضلی رنگ

هر رنگ از تکائف درخشندگی (روشنایی) و رنگینی رنگ تشکیل شده است (شکل ۱-۴۶). نقشه‌ی بلوکی اجزای رنگ را نشان می‌دهد. چون ارسال مستقیم سیگنال‌های U_R و U_G و U_B همراه با سیگنال روشنایی (U_Y) از نظر مقدار پهنای باند اشکال ایجاد می‌کند و در ضمن ارسال این سیگنال‌ها روی صفحه تصویر، ایجاد پارازیت می‌نماید، لذا در کلیه سیستم‌های تلویزیون رنگی سیگنال تفاضلی قرمز ($U_R - U_Y$) و سیگنال تفاضلی آبی ($U_B - U_Y$) را در فرستنده تولید و ارسال می‌کنند (شکل ۱-۴۷).

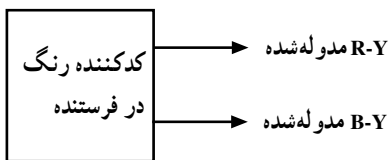


شکل ۱-۴۶



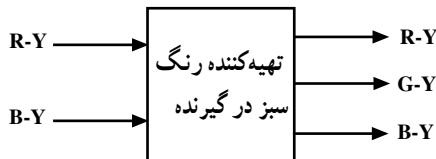
شکل ۱-۴۷

شکل ۱-۴۷ نقشه‌ی بلوکی ارسال سیگنال‌های آبی و قرمز را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴۸

به عبارت دیگر در فرستنده از هریک از سیگنال‌های رنگ U_R و U_B سیگنال روشنایی یعنی U_Y را کم می‌کنند. در ضمن سیگنال رنگ سبز را نیز ارسال نمی‌نمایند (شکل ۱-۴۸)



شکل ۱-۴۹

سیگنال‌های $U_R - Y$ و $U_B - Y$ را سیگنال تفاضلی رنگ می‌نامند.

در گیرنده سیگنال سبز را از ترکیب سیگنال روشنایی و سیگنال‌های تفاضلی $U_R - U_Y$ و $U_B - U_Y$ به دست می‌آورند. برای اختصار U_R و U_G و U_B را با R ، G و B و U_Y را با Y نشان می‌دهیم (شکل ۱-۴۹).

۱-۶-۱-۱ معادلات سیگنال‌های تفاضلی رنگ : با

توجه به رابطه سیگنال تکائف درخشندگی، معادلات مربوط به سیگنال‌های تفاضلی رنگ قرمز و آبی به سادگی به دست می‌آید.

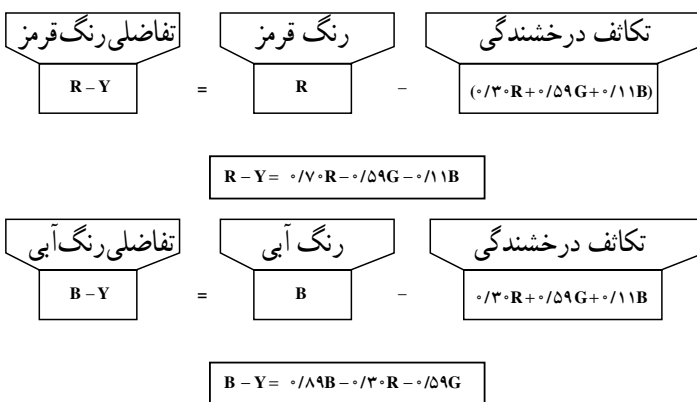
۱-۶-۲ خاصیت سیگنال تفاضلی : یکی از

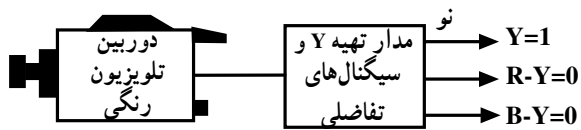
خصوصیات مهم سیگنال تفاضلی این است که در نقاط سفید و خاکستری تصویر، مقدار این سیگنال‌ها صفر می‌شود.

$$Y = \frac{1}{3}R + \frac{1}{3}G + \frac{1}{3}B$$

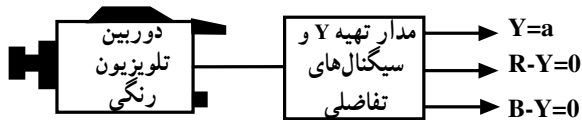
$$R = G = B = 1V \quad \text{در نقاط سفید ایده آل}$$

$$Y = \frac{1}{3}(1) + \frac{1}{3}(1) + \frac{1}{3}(1) = 1$$





شکل ۱-۵۰



شکل ۱-۵۱

با توجه به رابطه‌ی فوق، در نقاط سفید ایده‌آل مقدار سیگنال‌های تفاضلی رنگ صفر می‌شود (شکل ۱-۵۰).

در نقاط خاکستری مقدار R, G و B با هم مساوی و کم‌تر از ۱ ولت می‌شود. به‌عنوان مثال اگر مقدار را برابر با a ولت در نظر بگیریم، مقدار UY برابر با a ولت و سیگنال‌های تفاضلی برابر با صفر می‌شود (شکل ۱-۵۱).

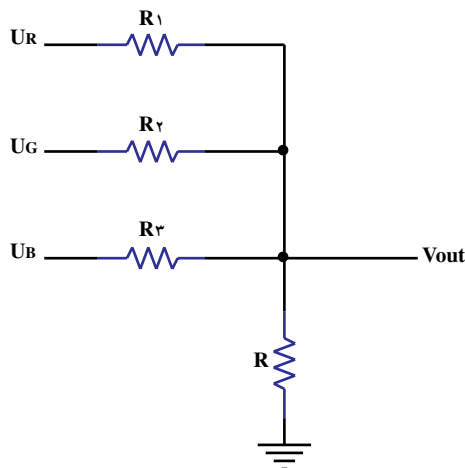
$$R = G = B = a$$

$$U_Y = \frac{1}{3}R + \frac{1}{3}G + \frac{1}{3}B = \frac{1}{3}a + \frac{1}{3}a + \frac{1}{3}a$$

$$U_Y = a$$

$$R - Y = a - a = 0$$

$$B - Y = a - a = 0$$



شکل ۱-۵۲

۱-۶-۳- تهیه‌ی سیگنال روشنایی (U_Y): برای

تهیه‌ی U_Y باید $3U_R$ ، $59U_G$ و $11U_B$ را با هم جمع کنیم. برای تهیه‌ی نسبت‌های معینی از سه سیگنال U_G ، U_R و U_B و به‌دست آوردن حاصل جمع آن‌ها جهت تولید سیگنال روشنایی، از مدار مخصوصی به نام ماتریس استفاده می‌کنند. نوع ساده‌ای از این مدار، ترکیبی از مقاومت‌هاست. شکل (۱-۵۲) مدار ماتریس مقاومتی را نشان می‌دهد. توضیح بیشتر چگونه تهیه‌ی سیگنال روشنایی U_Y در ضمیمه‌ی شماره ۱ آورده شده است.

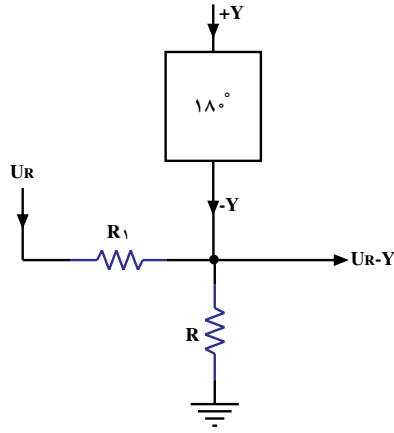


شکل ۱-۵۳

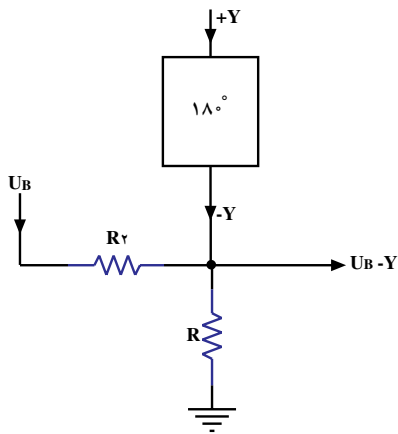
۱-۶-۴- تهیه‌ی سیگنال تفاضلی $U_R - U_Y$ و

$U_B - U_Y$: برای تهیه‌ی سیگنال تفاضلی، ابتدا سیگنال Y را با فاز مثبت وارد مداری می‌نمایند که در آن اختلاف فاز 180° درجه به‌وجود می‌آید. به این ترتیب Y به $-Y$ تبدیل می‌شود (شکل ۱-۵۳).

سپس قسمتی از U_R و U_B را به نسبت مورد نیاز با جمع می‌کنند تا سیگنال‌های تفاضلی $U_R - Y$ و $U_B - Y$ فراهم شود. شکل ۱-۵۴ نحوه تولید سیگنال $U_R - Y$ و شکل ۱-۵۵ نحوه تولید سیگنال $U_B - Y$ را نشان می‌دهد.

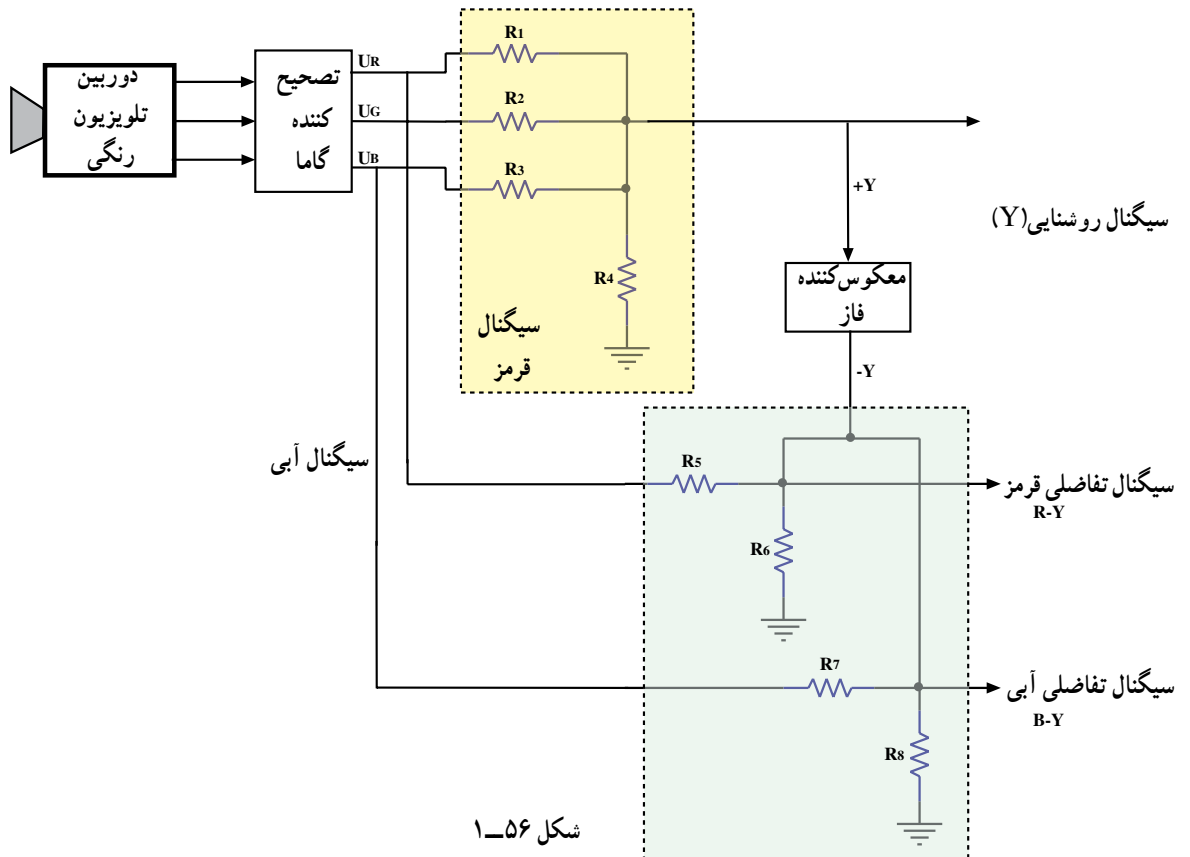


شکل ۱-۵۴



شکل ۱-۵۵

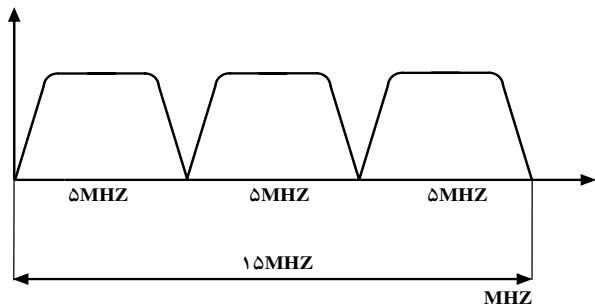
۱-۶-۵- نمای بلوکی کامل نحوه تهیه سیگنال روشنایی و سیگنال‌های تفاضلی رنگ: شکل ۱-۵۶ نمای بلوکی نحوه تهیه سیگنال روشنایی و سیگنال‌های تفاضلی رنگ را نشان می‌دهد.



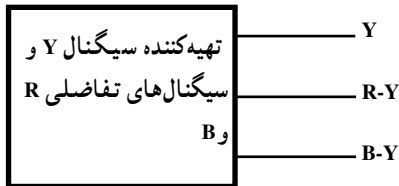
شکل ۱-۵۶

۱-۷- پهنای باند فرکانس در تلویزیون رنگی

اگر بخواهیم در تلویزیون رنگی هر سه سیگنال رنگ‌های اولیه را که از دوربین به دست می‌آیند مستقیماً بفرستیم به سه کانال که پهنای باند هر یک حدود صفر تا ۵ مگاهرتز است نیاز داریم (شکل ۱-۵۷).

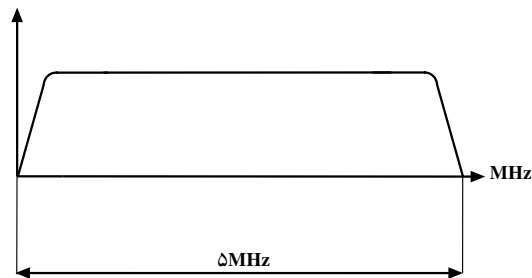


شکل ۱-۵۷



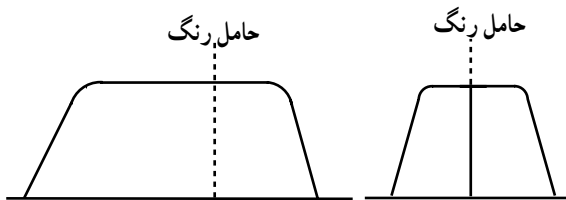
شکل ۱-۵۸

این پهنای زیاد باند دو اشکال عمده به وجود می‌آورد. اول اینکه با فرستنده‌ها و گیرنده‌های سیاه و سفید سازگاری ندارد و دیگر این که به علت زیاد شدن پهنای باند طراحی مدار مشکل می‌شود. با تبدیل این سه سیگنال به سیگنال روشنایی و سیگنال‌های تفاضلی R-Y و B-Y، از پهنای باند مورد لزوم کاسته می‌شود (شکل ۱-۵۸).



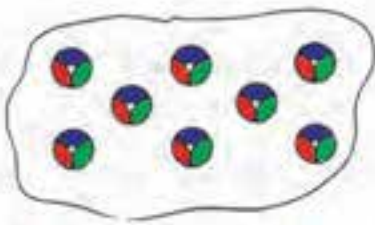
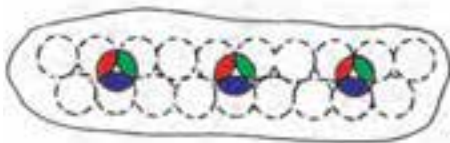
شکل ۱-۵۹

در تلویزیون سیاه و سفید یا رنگی برای تولید سیگنال روشنایی که وضوح تصویر را مشخص می‌کند پهنای باندی در محدوده صفر تا ۵ مگاهرتز نیاز است (شکل ۱-۵۹).



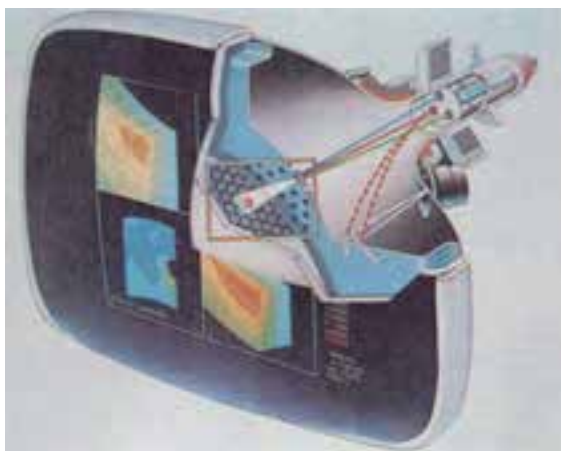
شکل ۱-۶۰

برای سیگنال‌های مشخص کننده نوع رنگ، پهنای باند مورد لزوم خیلی کم‌تر است شکل ۱-۶۰ طیف فرکانس سیگنال‌های رنگ را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶۱

همان‌طور که بیان شد رنگ‌های تصویر در تلویزیون رنگی از ترکیب سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی به دست می‌آید (شکل ۱-۶۱).



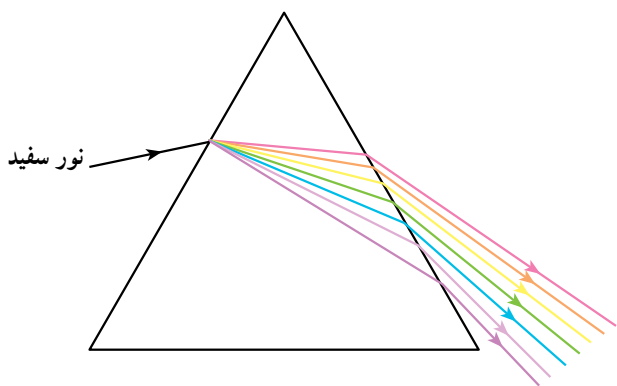
شکل ۱-۶۲

با توجه به این نکته هر نقطه از سطح تصویر شامل سه ذره است که در کنار هم قرار دارند و می‌توانند تحت شرایط خاصی از خود نور بتابانند (شکل ۱-۶۲).



شکل ۱-۶۳

بدین ترتیب در یک لحظه یکی از ذرات با نور قرمز، دیگری با نور آبی و ذره سوم با نور سبز روشن می‌شوند (شکل ۱-۶۳).



شکل ۱-۶۴

چون این سه ذره بسیار کوچک هستند و در مجاور هم قرار دارند بیننده هر سه نور را با هم می‌بیند. به عبارت دیگر به جای سه نور جداگانه ترکیبی از سه نور دیده می‌شود. اگر ابعاد نقطه‌های رنگی خیلی کوچک در نظر گرفته شوند تشخیص اختلاف رنگ‌ها میسر نخواهد بود و فقط نقطه‌ها به صورت تاریک یا روشن دیده می‌شوند. معمولاً ابعاد نقطه‌ها را باید در حدی در نظر بگیرند که تمام رنگ‌ها به درستی احساس شوند. با توجه به این دو حد از ابعاد نقاط رنگی، فرکانس سیگنال برای نمایش یک نقطه رنگی را محاسبه می‌کنند که محدوده فرکانس از $\frac{1}{6}$ تا $\frac{1}{8}$ مگاهرتز به دست می‌آید.

۱-۸- دایره رنگ

اگر به طیف نور خورشید توجه کنیم می‌بینیم که در این طیف به جز رنگ ارغوانی کلیه‌ی رنگ‌ها وجود دارد (شکل ۱-۶۴).

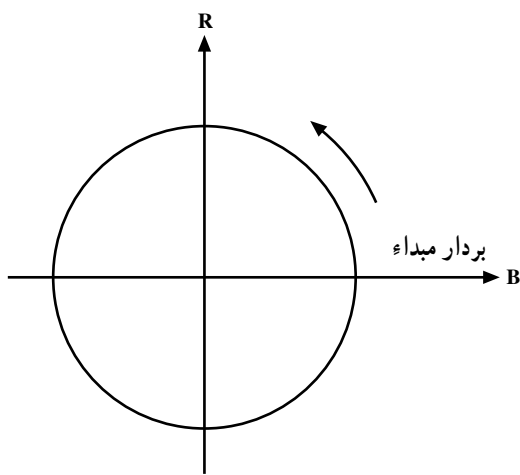


شکل ۱-۶۵

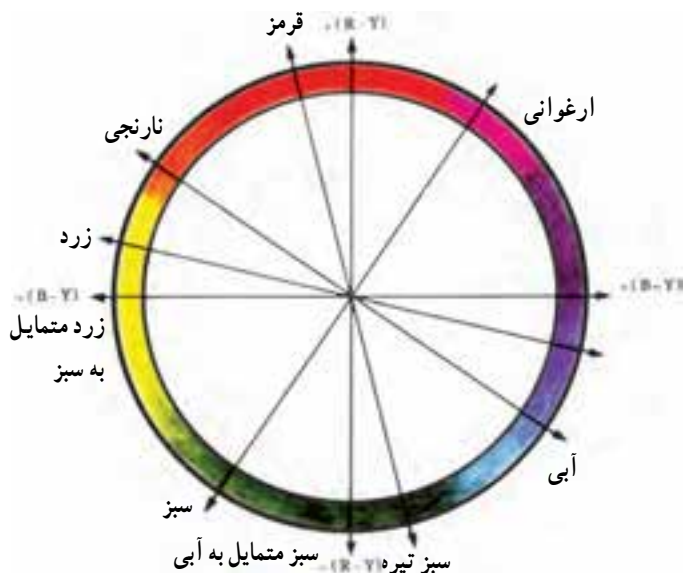
رنگ ارغوانی از ترکیب اشعه نور آبی و نور قرمز به دست می‌آید (شکل ۱-۶۵).



شکل ۱-۶۶



شکل ۱-۶۷

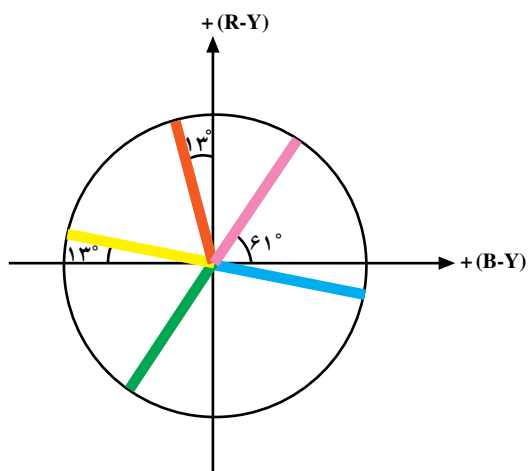


شکل ۱-۶۸

از این رو برای نمایش تمام رنگ‌ها لازم است طیف نور خورشید را با نور ارغوانی ترکیب کنیم. برای این منظور می‌توانیم تمام طیف رنگ را در یک حلقه دایره‌ای نمایش دهیم. در این دایره، رنگ ارغوانی از اتصال رنگ قرمز و رنگ آبی تشکیل می‌شود (شکل ۱-۶۶).

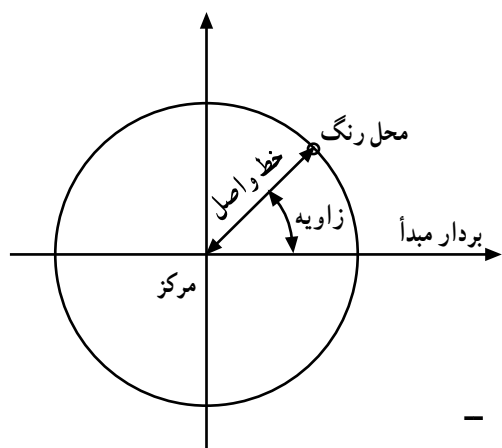
۱-۸-۱- محل رنگ: با توجه به دایره‌ی رنگ، اگر برداری را به عنوان بردار مبدا در نظر بگیریم هر رنگ را می‌توانیم به کمک یک زاویه از بردار مبدا مشخص کنیم. راستای بردار مبدا بین آبی و قرمز انتخاب می‌شود (شکل ۱-۶۷).

با افزایش زاویه در جهت عکس حرکت دورانی عقربه‌ی ساعت، رنگ‌های مختلف شامل رنگ‌های ارغوانی، قرمز، نارنجی، زرد، زرد متمایل به سبز، سبز، سبز متمایل به آبی، آبی تیره، آبی روشن، آبی و بنفش به دست می‌آید (شکل ۱-۶۸).



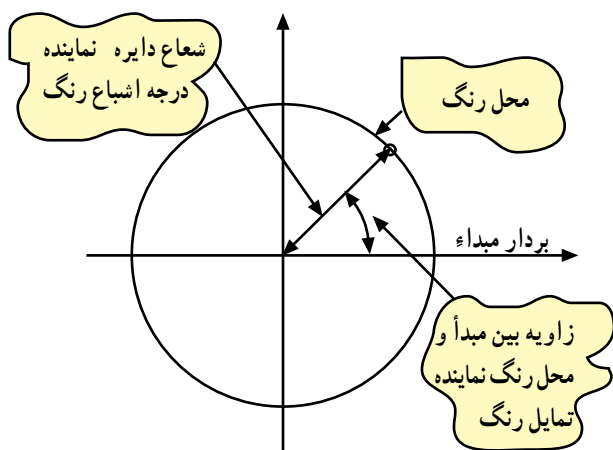
شکل ۱-۶۹

هر رنگ با تمایل رنگ و درجه اشباع رنگ مشخص می‌شود. در دایره‌ی رنگ تمایل رنگ را به وسیله‌ی یک زاویه مشخص می‌کنند. به عنوان مثال زاویه‌ی ۶۱ درجه تمایل رنگ ارغوانی و زاویه‌ی ۱۰۳ درجه تمایل رنگ قرمز و زاویه ۱۶۷ درجه تمایل رنگ زرد را مشخص می‌کند (شکل ۱-۶۹).



شکل ۱-۷۰

درجه‌ی اشباع رنگ توسط طول شعاعی از دایره که زاویه‌ی آن با راستای مبدأ تمایل رنگ را مشخص می‌کند، تعیین می‌شود. به این ترتیب هر رنگ توسط یک نقطه که محل رنگ نام دارد مشخص می‌شود (شکل ۱-۷۰).

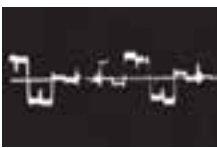


شکل ۱-۷۱

به عبارت دیگر زاویه‌ی بین راستای مبدأ و خط واصل محل رنگ و مرکز دایره، تمایل رنگ و فاصله محل رنگ از مرکز دایره، درجه اشباع رنگ را تعیین می‌کند (شکل ۱-۷۱).

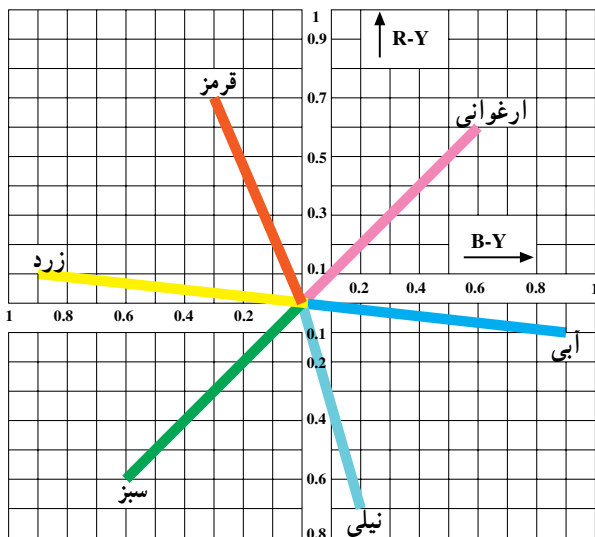


شکل ۱-۷۲

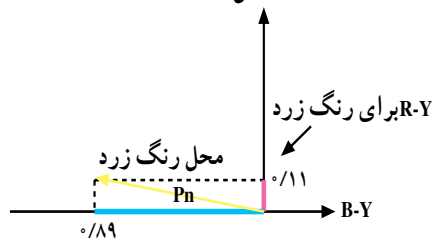


R-Y

شکل ۱-۷۳



شکل ۱-۷۴



B-Y برای رنگ زرد

شکل ۱-۷۵

چنانچه مشاهده می شود مرکز دایره نشان دهنده ی رنگ سفید است. هر قدر فاصله ی رنگ از مرکز دایره بیشتر شود، رنگ سیرتر و درجه اشباع آن بیش تر است (شکل ۱-۷۲).

۱-۹- ارتباط دایره ی رنگ با تلویزیون رنگی

در تلویزیون رنگی هر رنگ توسط دو سیگنال تفاضلی رنگ معین می شود. سیگنال های تفاضلی رنگ ولتاژهایی هستند که از تفاضل سیگنال نوع رنگ و سیگنال روشنایی به دست می آید، (یعنی دو سیگنال R-Y و B-Y) (شکل ۱-۷۳).

در دستگاه محورهای مختصات می توان رنگ ها را به کمک مؤلفه های R-Y و B-Y مشخص کرد (شکل ۱-۷۴).

در این شکل محل رنگ های قرمز، سبز، آبی، زرد، نیلی و ارغوانی مشخص شده اند.

فاصله ی بین مبدا مختصات و نقطه مربوط به هر رنگ درجه اشباع یا به عبارت دیگر حداکثر مقدار روشنایی آن رنگ را مشخص می کند. مثلاً اگر به محل رنگ زرد توجه شود (شکل ۱-۷۵).

مؤلفه R-Y رنگ زرد برابر $0/11+$ و مؤلفه B-Y آن برابر $0/89-$ است: دامنه رنگ زرد (حداکثر مقدار روشنایی) از رابطه زیر به دست می آید.

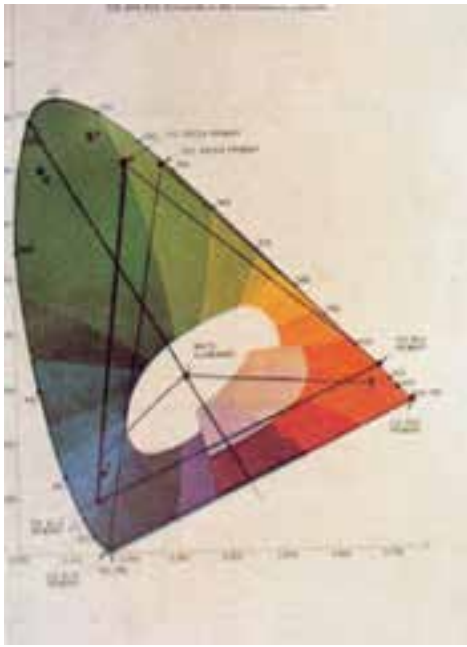
$$P_n = \sqrt{(R-Y)^2 + (B-Y)^2} = \sqrt{(-0/89)^2 + (0/11)^2}$$

$$P_n = 0/896$$

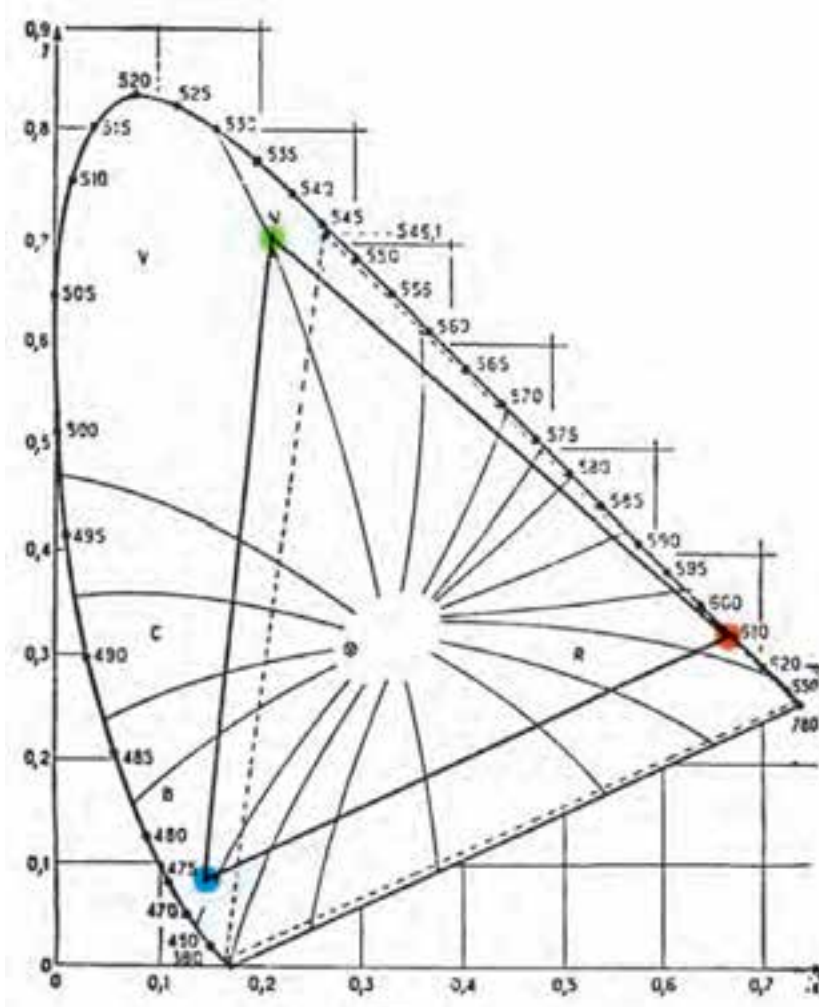
۱-۱۰- مثلث ماکسول

بر اساس فرضیه ماکسول می توان کلیه رنگ های طبیعت را که ایجاد آنها امکان پذیر است توسط یک (مثلث رنگ) نمایش داد (شکل ۱-۷۶).

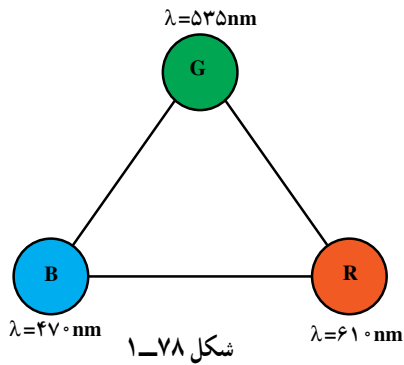
در مثلث ماکسول سه منبع نور اصلی با قدرت مساوی در سه رأس مثلث متساوی الاضلاع قرار می گیرند. در این حالت اگر یکی از این منابع نوری را روشن کنیم و از مقابل آن دور شویم شدت نوری که منبع می دهد کاهش می یابد. ابعاد مثلث RGB به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته می شود تا شدت نور منبع قرمز در رئوس G و B به سمت صفر میل کند. به همین ترتیب برای منابع های نور سبز و آبی نیز در سایر رئوس، نور به سمت صفر میل می کند (شکل ۱-۷۷).



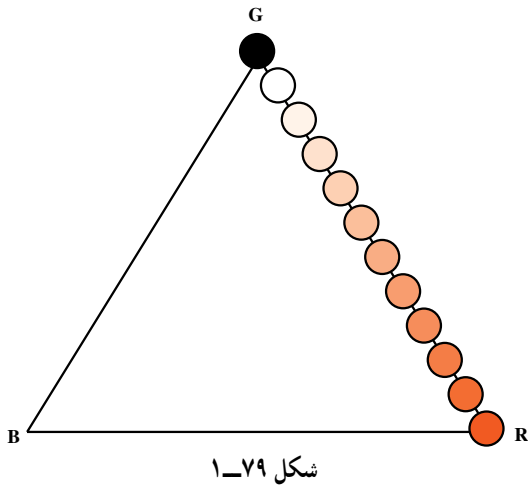
شکل ۱-۷۶



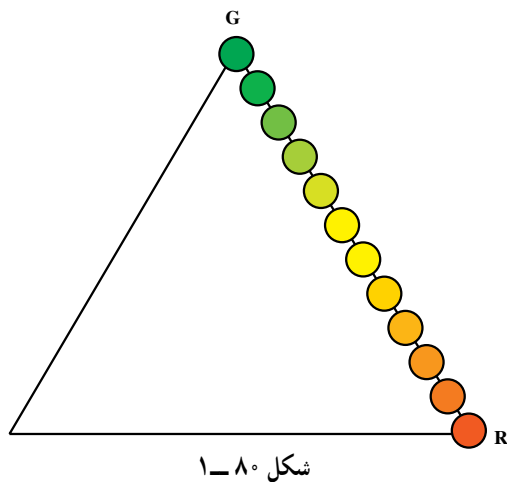
شکل ۱-۷۷



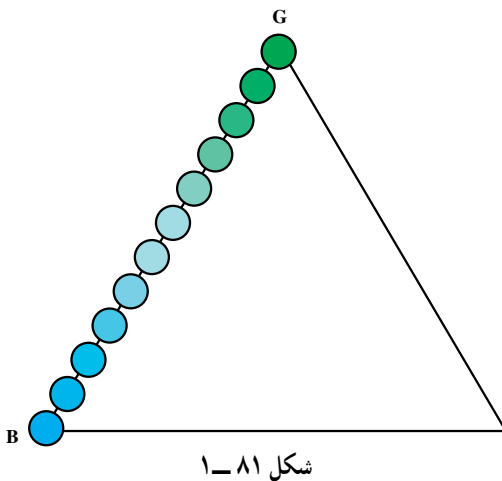
از روی مثلث RGB می‌توان طول موج و مختصات سه رنگ قرمز، سبز و آبی را به دست آورد (شکل ۷۸-۱). همان‌طور که مشاهده شد طول موج نور قرمز (R) برابر با ۶۱۰ نانومتر و طول موج نور سبز (G) برابر با ۵۳۵ نانومتر و طول موج نور آبی (B) برابر با ۴۷۰ نانومتر است برای نشان دادن قوانین اختلاط و ترکیب رنگ‌ها می‌توانید آزمایش‌های زیر را انجام دهید.



۱-۱۰-۱ اگر منبع نور قرمز را روشن کنید سپس کره‌ای شفاف و شیشه‌ای را در کنار منبع قرار دهید کره به وسیله نور منبع پوشانده و به رنگ قرمز دیده می‌شود. با حرکت دادن کره در طول خط RG یا RB به تدریج از شدت نور کم شده و در نقاط G و B کره به رنگ سیاه دیده می‌شود (شکل ۷۹-۱).

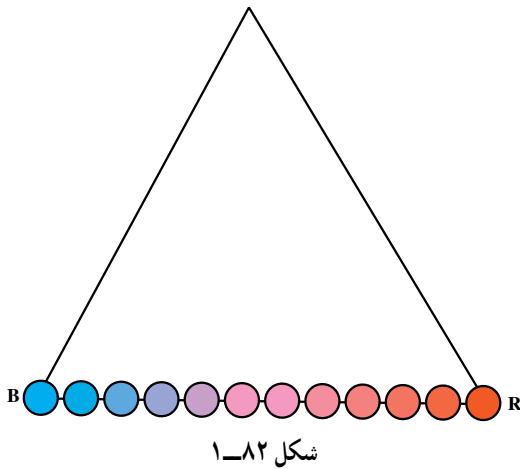


۲-۱۰-۱ اگر دو منبع نور R و G را روشن کنید، رنگ کره در نزدیکی هر یک از دو منبع به رنگ آن منبع در می‌آید و در حد وسط خط R_G رنگ آن بین قرمز و سبز تغییر می‌کند. با حرکت دادن کره از منبع نور قرمز به سمت منبع نور سبز به تدریج رنگ کره از قرمز به نارنجی و از نارنجی به زرد و از زرد به سبز تغییر می‌کند. پس رنگ‌های نارنجی و زرد را می‌توان از ترکیب دو رنگ قرمز و سبز تولید کرد. می‌توان گفت اختلاف رنگ نارنجی با رنگ زرد در مقدار نور قرمز آن‌ها است (شکل ۸۰-۱).

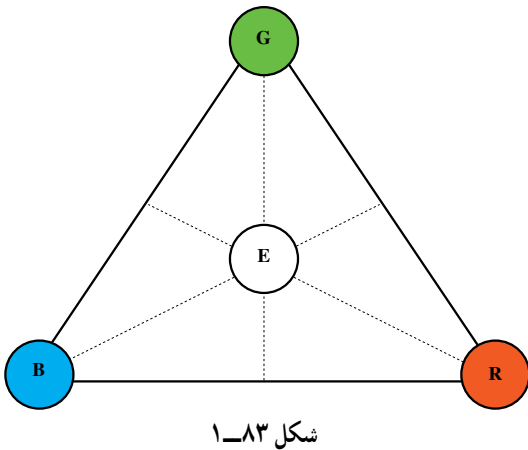


۳-۱۰-۱ اگر دو منبع G و B را روشن کنید با حرکت کره شیشه‌ای از B به سمت G به تدریج رنگ کره از آبی به آبی متمایل به سبز و از آبی متمایل به سبز به سبز متمایل به آبی و سپس به سبز کامل تغییر می‌یابد (شکل ۸۱-۱).

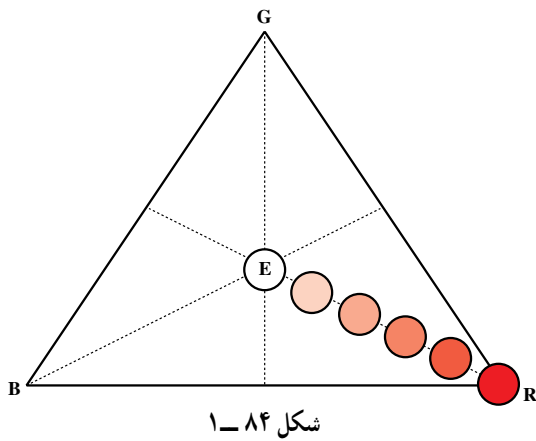
۴-۱۰-۱- با حرکت کره در طول خط BR مشاهده می‌شود که رنگ کره به ترتیب از آبی و بنفش کمرنگ به ارغوانی و از قرمز کم‌رنگ به قرمز کامل تغییر می‌کند (شکل ۱-۸۲).



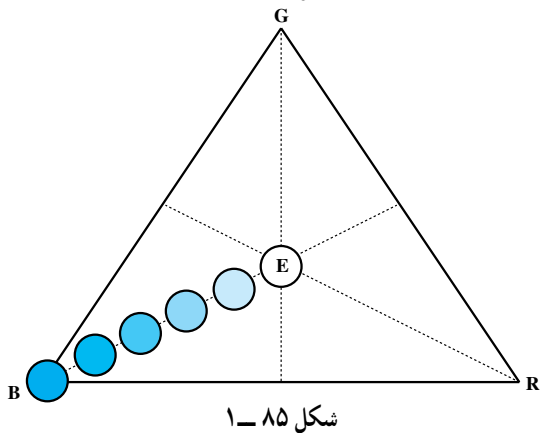
۵-۱۰-۱- هرگاه هر سه منبع نور را روشن کنید با تغییر مکان کره در داخل مثلث RGB نقطه‌ای به دست می‌آید که کره سفید رنگ به نظر می‌رسد. نتیجه می‌گیریم رنگ یا نور سفید از ترکیب مقادیر مناسبی از سه رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی به دست می‌آید. اگر انرژی هر سه رنگ اصلی ترکیب شونده با هم مساوی باشند در محل تقاطع میانه‌های مثلث انرژی معادل نور سفید به دست می‌آید (نقطه E) (شکل ۱-۸۳).

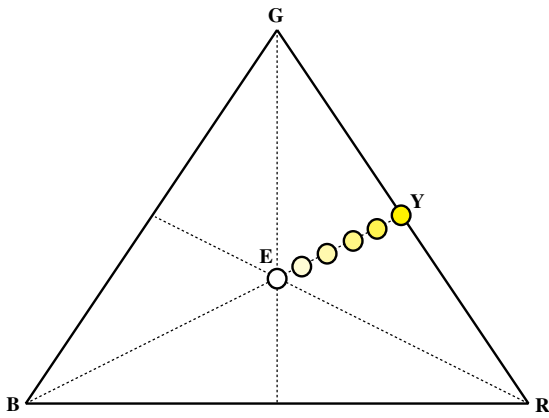


۶-۱۰-۱- اگر کره را در امتداد ER حرکت دهید رنگ قرمز آن تغییر نمی‌کند در حالی که غلظت آن تغییر نموده و رنگ قرمز با رنگ سفید مخلوط می‌شود. در نقطه R کره به رنگ قرمز کاملاً اشباع شده دیده می‌شود و با نزدیک شدنش به نقطه E رنگ قرمز آن از همه تمایل رنگ‌های صورتی عبور کرده و در نقطه E غلظت آن صفر می‌شود و به رنگ سفید کامل درمی‌آید (شکل ۱-۸۴).



در طول خط EB، کره رنگ آبی خود را حفظ می‌کند. در طول این خط رنگ کره که در نقطه B آبی اشباع شده است از همه‌ی تمایل‌های مربوط به رنگ آبی عبور کرده و در نقطه E کاملاً سفید دیده می‌شود (شکل ۱-۸۵).





شکل ۱-۸۶

این نتیجه برای هر خط راستی که از E به هر نقطه روی اضلاع مثلث وصل شود صادق است. مثلاً در طول خط EY در نقطه Y کره زرد و در طول خط EY از درجه اشباع رنگ زرد کاسته شده و در نقطه E کره به رنگ سفید دیده می شود (شکل ۱-۸۶).

۱-۱۱- طرز کار تلویزیون رنگی

برای تشکیل و نمایش تصویر در تلویزیون رنگی به سه مؤلفه‌ی نور قرمز و نور سبز و نور آبی از یک تصویر و همچنین سیگنال درخشندگی (روشنایی یا لومینانس) نیاز است. در شکل ۱-۸۷ مؤلفه‌ی قرمز صحنه و در شکل ۱-۸۸ مؤلفه‌ی سبز و نیز در شکل ۱-۸۹ مؤلفه‌ی آبی صحنه مشاهده می شود.



شکل ۱-۸۷ مؤلفه قرمز



شکل ۱-۸۸ مؤلفه سبز



شکل ۱-۸۹ مؤلفه آبی



شکل ۱-۹۰ سیگنال روشنایی

شکل ۱-۹۰ سیگنال تکاثر درخشندگی (روشنایی یا لومینانس) صحنه را نشان می دهد. این همان سیگنالی است که یک دوربین سیاه و سفید نیز از صحنه تهیه می کند.

اگر سه مؤلفه‌ی قرمز و سبز و آبی صحنه را با هم ترکیب کنیم سیگنال نوع رنگ تهیه می‌شود (شکل ۱-۹۱).

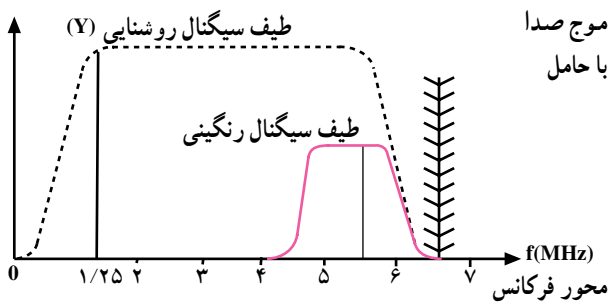


شکل ۹۱-۱- سیگنال نوع رنگ



شکل ۹۲-۱- تصویر اصلی

با توجه به شکل‌ها در می‌یابیم سیگنال نوع رنگ نسبت به سیگنال روشنایی دارای درجه وضوح کم‌تری است. اگر سیگنال روشنایی را به سیگنال نوع رنگ بیفزاییم تصویر اصلی تلویزیون رنگی به دست می‌آید. در تصویر اصلی مؤلفه‌های رنگی تصویر وضوح لازم را کسب می‌کنند (شکل ۱-۹۲).



شکل ۹۳-۱

عملاً مشاهده می‌شود درجه وضوح تصاویر رنگی به سیگنال روشنایی یا لومینانس بستگی دارد. از این رو در تلویزیون رنگی سیگنال تکاثر درخشندگی با حداکثر پهنای باند (۵/۵ مگاهرتز) انتقال داده می‌شود در حالی که برای سیگنال‌های تفاضلی رنگ پهنای باند کمتری را در نظر می‌گیرند (شکل ۱-۹۳).

آزمون پایانی (۱)

- ۱- اصل سازش و هماهنگی را شرح دهید.
- ۲- امواج نورانی قابل رؤیت دارای چه طول موجی هستند؟
- ۳- مشخصه‌های یک رنگ را نام ببرید.
- ۴- رنگ‌های مکمل کدامند؟
- ۵- سه رنگ اصلی مورد استفاده در تلویزیون رنگی کدامند؟
- ۶- طول موج انتخاب شده برای رنگ‌های اصلی تلویزیون چند نانومتر است؟
- ۷- وظیفه تصحیح کننده‌ی گاما چیست؟ شرح دهید.
- ۸- ضرایب a و b و c برای سیگنال‌های روشنایی را چگونه به دست می‌آورند؟
- ۹- تعادل سفید یعنی چه؟ شرح دهید.
- ۱۰- چرا فقط سیگنال‌های تفاضلی R-Y و B-Y از فرستنده ارسال می‌شوند؟
- ۱۱- معادله G-Y چگونه از R-Y و B-Y به دست می‌آید؟
- ۱۲- در دایره‌ی رنگ، تمایل رنگ و درجه‌ی اشباع رنگ چگونه مشخص می‌شود؟
- ۱۳- تصویر رنگی یک صحنه روی صفحه تصویر تلویزیون از چه سیگنال‌هایی درست شده است؟
- ۱۴- پهنای باند سیگنال تکائف درخشندگی (روشنایی) حدوداً چند مگاهرتز است؟
- ۱۵- کدام گزینه رنگ‌های مکمل را نشان می‌دهد؟

(الف) سبز + ارغوانی	(ب) فیروزه‌ای + سبز	(ج) زرد + قرمز	(د) ارغوانی + زرد
---------------------	---------------------	----------------	-------------------
- ۱۶- چشم انسان نسبت به چه رنگی دارای درجه حساسیت بیش تری است؟

(الف) آبی	(ب) قرمز	(ج) سبز	(د) زرد
-----------	----------	---------	---------
- ۱۷- رنگینی رنگ کدام است؟

(الف) روشنایی (درخشندگی)	(ب) طول موج
(ج) درجه‌ی اشباع رنگ	(د) طول موج و درجه‌ی اشباع رنگ
- ۱۸- در دایره رنگ‌ها، زاویه بردار و طول بردار (به ترتیب از راست به چپ) معرف چیست؟

(الف) درجه اشباع - تمایل رنگ	(ب) تمایل رنگ - درجه اشباع
(ج) روشنایی - درجه اشباع	(د) درجه اشباع - روشنایی
- ۱۹- معادله روشنایی (Y) کدام است؟

(الف) $0.30R + 0.59B + 0.11G$	(ب) $0.30G + 0.59B + 0.11R$
(ج) $0.30R + 0.59G + 0.11B$	(د) $0.30G + 0.11B + 0.59R$
- ۲۰- کدام سیگنال از فرستنده ارسال نمی‌شود؟

(الف) R-Y	(ب) B-Y	(ج) Y	(د) G-Y
-----------	---------	-------	---------
- ۲۱- جزء کیفی رنگ شامل است.
- ۲۲- علت استفاده از تصحیح کننده‌ی گاما در تلویزیون رنگی برای جبران رابطه بین و ولتاژ شبکه فرمان می‌باشد.
- ۲۳- برای پهنای باند رنگینی و ساده‌تر شدن مدارات فرستنده و گیرنده سیگنال رنگ از فرستنده ارسال نمی‌کنند.
- ۲۴- از ترکیب دو نور و نور زرد ایجاد می‌شود.