

این روزها یکی از کلماتی که در دنیای دوربین و دوربین گوشی و تبلت و همین‌طور صفحه نمایش‌ها شامل صفحه نمایش گوشی، تلویزیون و مانیتور مطرح می‌شود، HDR است. منظور از صفحه نمایشی HDR، این است که نسبت روشنایی روشن‌ترین نقاط به روشنایی تاریک‌ترین نقاط نسبتاً بالاست. در عرصه‌ی دوربین و فیلم و بازی هم زمانی که گفته می‌شود محدوده‌ی دینامیکی بالاتر از حد معمول است، به این معنی است که طیف گسترده‌تری از تاریکی و روشنی پشتیبانی می‌شود.

در این مقاله با مفهوم HDR و استانداردهای امروزی در این عرصه آشنا می‌شویم.

HDR یکی از مزایای اساسی نمایشگرها

تقریباً از سال ۲۰۱۵، مقوله‌ی HDR یا محدوده‌ی دینامیکی بالا به یکی از ویژگی‌های مهم و اساسی تلویزیون‌ها و مانیتورها تبدیل شد. در واقع تنها لازمه‌ی بهبود کیفیت تصویر این نیست که تعداد پیکسل‌ها بیشتر باشد بلکه کیفیت نمایش رنگ‌ها و نمایش تاریکی و روشنی نیز بسیار مهم است. ممکن است نمایشگری داشته باشید که رزولوشن آن فقط Full HD یا 1080p است اما به دلیل بالا بودن کیفیت تصویر، آن را به نمایشگرهای 4K یا UltraHD ترجیح دهید چرا که رنگ‌ها را واقعی‌تر و زیباتر نمایش می‌دهد.

به صورت خلاصه، پشتیبانی از HDR یک مزیت مهم و اساسی است. موضوع صرفاً نقاط تاریک و روشن تصویر نیست. رنگ‌ها نیز متنوع‌تر و زنده‌تر است. همان‌طور که در تصویر زیر مشاهده می‌کنید، گاهی رنگ‌های کدر و بی‌روح یک فیلم با فعال‌سازی HDR متحول می‌شود. البته منظورمان این نیست که فیلم معمولی را دانلود کنید و با فعال کردن گزینه‌ی در تنظیمات تلویزیون، آن را به صورت مصنوعی به فیلم HDR تبدیل کنید. روش صحیح دانلود کردن نسخه‌ی HDR فیلم و تماشا کردن در تلویزیون‌هایی است که از HDR پشتیبانی می‌کنند.



HDR یا محدوده‌ی دینامیکی به نسبت روشنایی روشن‌ترین نقاط به تاریک‌ترین نقاط تصویر گفته می‌شود. اما تعریف علمی و خلاصه‌وار HDR چندان برای عموم کاربران روشن نیست. لذا این اصطلاح در بازار متداول شده که HDR یعنی رنگ سفید روشن‌تر و رنگ مشکی عمیق‌تر.

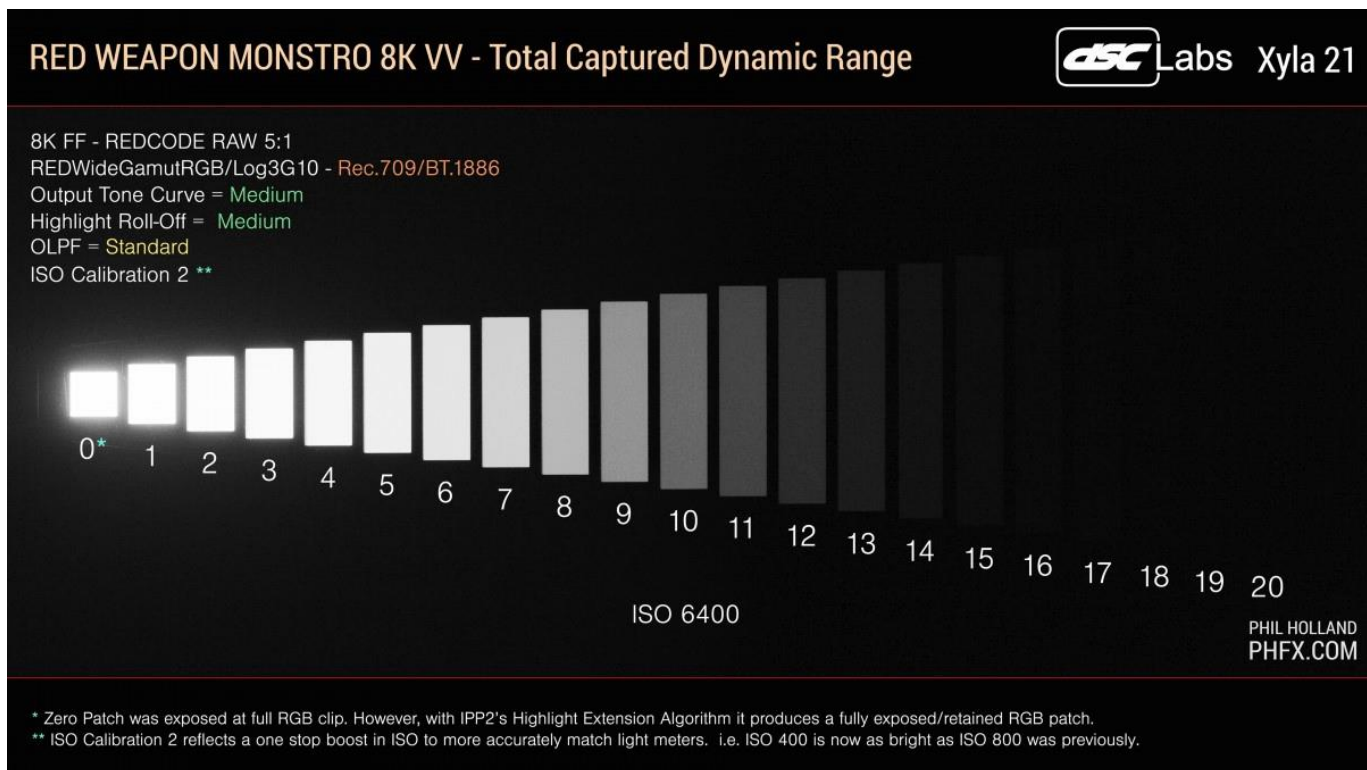
محدوده دینامیکی یا Dynamic Range چیست؟

قبل از بحث کردن در مورد مفهوم High Dynamic Range یا محدوده دینامیکی بالا، می‌بایست در مورد محدوده دینامیکی صحبت کنیم.

در حالت کلی محدوده دینامیکی به نسبت بین کمترین مقدار و بیشترین مقدار یک کمیت گفته می‌شود. به عنوان مثال در اسپیکری که محدوده دینامیکی بالایی دارد، نسبت بیشتری صدا به کمترین صدا بالاتر از حد معمول اسپیکرهاست.

مثال دیگر حسگر دوربین است. در دوربینی که حسگری با محدوده دینامیکی بالا دارد، زمانی که نور به حسگر می‌رسد و سیگنال الکتریکی تولید می‌کند، اختلاف بین بیشترین سطح سیگنال تولید شده با کمترین مقدار سیگنال بیشتر است. لذا توانایی ثبت جزئیات بیشتری در نقاط تاریک نظیر سایه‌ها و نقاط نزدیک به سفید کامل نظیر ابرها وجود دارد.

لذا به صورت خلاصه اختلاف بین سفیدترین و تیره‌ترین نقاط صفحه نمایش یا پیکسل‌های تصویر بیشتر است.



برای لذت بردن از محتوای HDR می‌بایست همه‌ی دیوایس‌ها از یکی از استانداردها پشتیبانی کنند. به عنوان مثال اگر دوربین گوشی شما قابلیت فیلم‌برداری HDR داشته باشد و فیلم را در تلویزیون معمولی تماشا کنید، فیلمی که می‌بینید عملاً HDR نیست و برعکس آن هم صادق است. اگر فیلم معمولی را در تلویزیون‌های HDR ببینید، شبیه سایر تلویزیون‌ها خواهد بود، البته اگر تنظیمات تبدیل مصنوعی ویدیوی معمولی به HDR را فعال نکرده باشید.

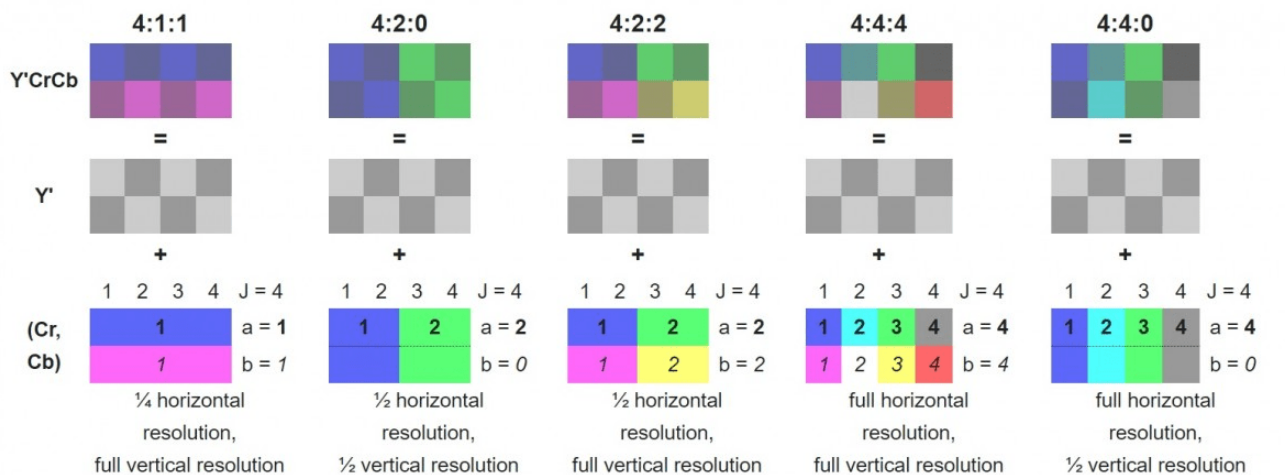
محدوده دینامیکی معمولی یا Standard Dynamic Range

منظور از SDR یا محدوده دینامیکی استاندارد، همان چیزی است که از سال‌ها پیش تجربه کرده‌ایم. ویدیوهای HD و FullHD و حتی 4K زیادی تماشا کرده‌ایم که محدوده دینامیکی معمولی داشته‌اند. به عنوان مثال روی دیسک‌های بلوری معمولاً ویدیویی با کدک H.264 و عمق رنگ ۸ بیت و نمونه‌برداری 4:2:0 موجود است. این سه مشخصه را در ادامه توضیح می‌دهیم:

مشخصه‌ی اول کدک ویدیو است. کدک برای فشرده‌سازی و از حالت فشرده خارج کردن ویدیو و صدا به کار می‌رود. اگر از کدک استفاده نکنیم و ویدیو را به صورت خام ذخیره کنیم، حجم آن ده‌ها برابر بیشتر خواهد بود! کدک با در نظر گرفتن تشابه و اختلاف فریم‌های ویدیو، اطلاعات اضافی یا غیرضروری را به حداقل می‌رساند و حجم ویدیو را به شدت کاهش می‌دهد. البته برخی از اطلاعات مفید نظیر جزئیات کامل بافت اجسام که توسط دوربین ثبت شده هم از بین می‌رود H.264. یک استاندارد معروف برای فشرده‌سازی ویدیو است که اکنون H.265 جای آن را تدریجاً می‌گیرد و بهینه‌تر است. به عبارت دیگر حجم ویدیوها را تا حد بیشتری کاهش می‌دهد. برای اطلاعات بیشتر به مطلب دیگری از دانش‌نامه‌ی اینتوتک توجه فرمایید:

اما دومین مفهوم: منظور از عمق رنگ ۸ بیت این است که مقدار سه رنگ اصلی یعنی قرمز و سبز و آبی، هر یک با ۸ بیت حافظه مشخص می‌شود و در واقع ۲ به توان ۸ حالت یا ۲۵۶ حالت دارد. با توجه به این که مقدار این سه رنگ هر یک ۲۵۶ حالت دارد، در مجموع ۲۵۶ در ۲۵۶ در ۲۵۶ حالت رنگ که معادل حدود ۱۶/۷ میلیون رنگ است، خواهیم داشت.

سومین موردی که به آن اشاره کردیم، Chroma Subsampling یا نمونه‌برداری رنگ است. برای کاهش داده‌های موردنیاز برای توصیف رنگ‌های پیکسل‌های مجاور و در نتیجه کاهش حجم ویدیو، از نمونه‌برداری استفاده می‌شود. اگر نمونه‌برداری 4:4:4 باشد، هیچ داده‌ای حذف نمی‌شود و کیفیت کامل است. اما در نمونه‌برداری 4:2:0، رزولوشن افقی و عمودی نصف حالت کامل است. لذا به جای داشتن ۸ پیکسل مجاور با رنگ مستقل، عملاً دو پیکسل بزرگتر با رنگ مستقل خواهیم داشت.

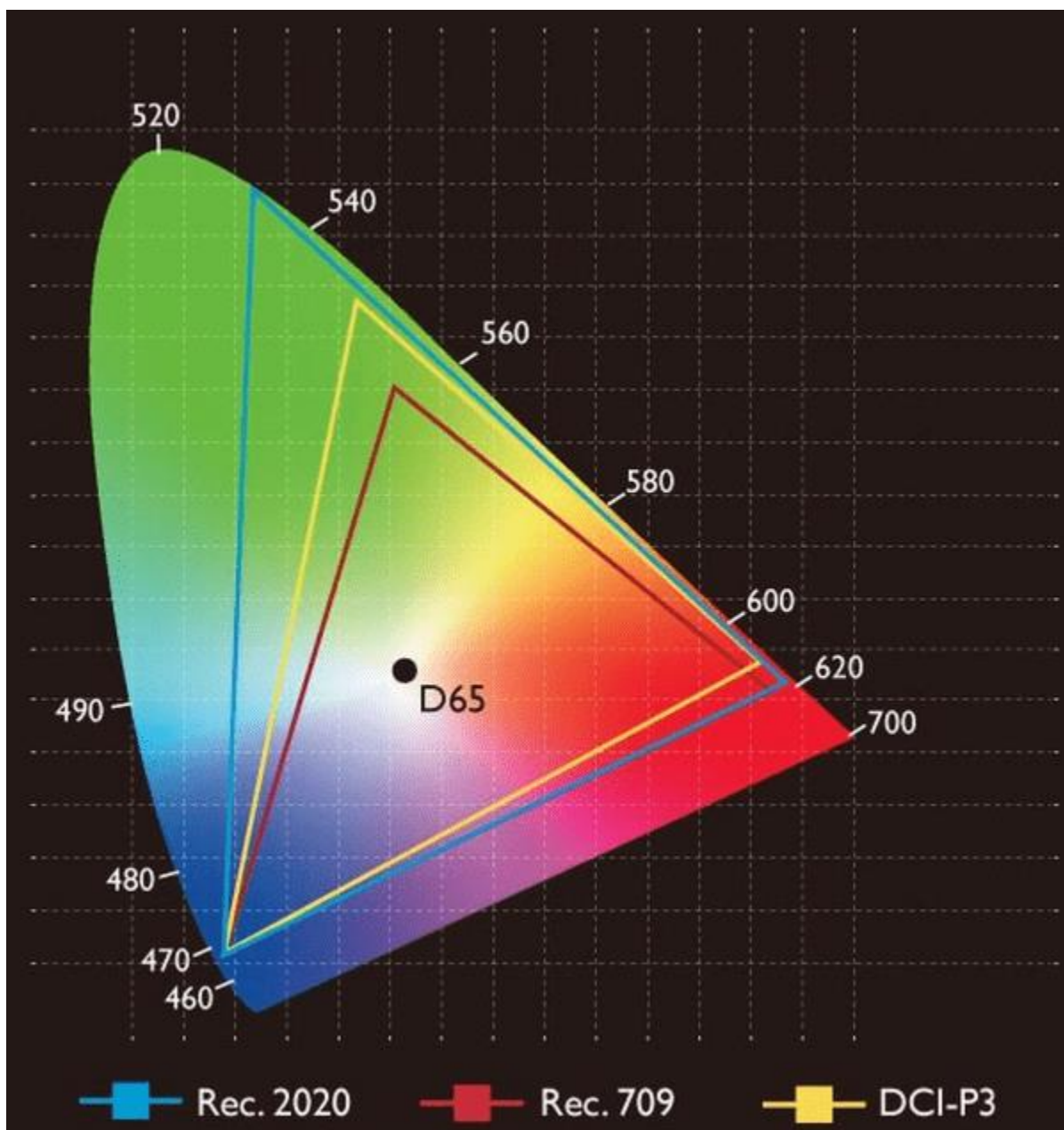


برای اطلاعات دقیق‌تر به مقاله‌ای از دانش‌نامه‌ی اینتوتک توجه فرمایید:

موضوع بعدی در خصوص ویدیوها و نمایشگرها، گستره‌ی رنگ یا Color Gamut است.

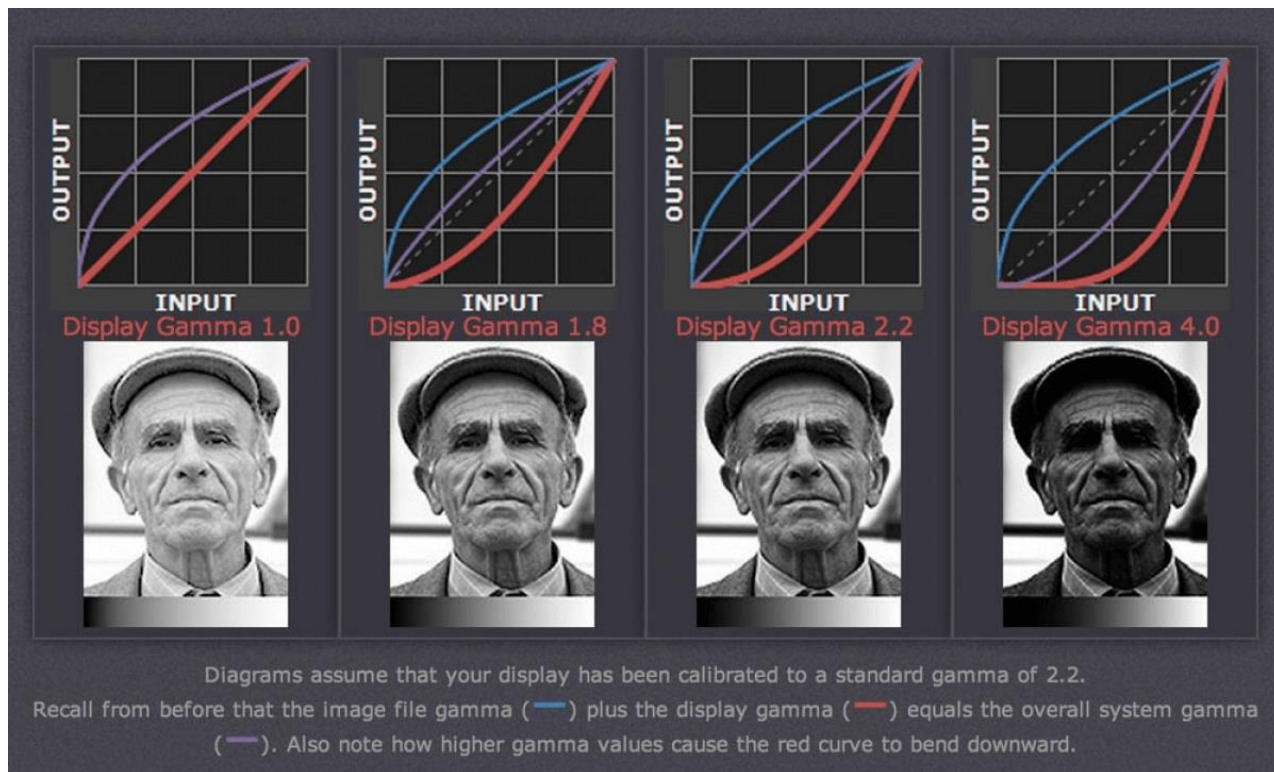
البته در بسیاری از سایت‌های فارسی، به جای گستره‌ی رنگ به اشتباه از عبارت فضای رنگ یا Color Space استفاده می‌شود که معنای دیگری دارد.

منظور از گستره‌ی رنگ، طیفی از انواع رنگ‌های قابل نمایش در نمایشگر و در مقال دوربین و ویدیو، طیف رنگ‌های ذخیره شده در ویدیو است. در فیلم‌هایی که به صورت بلوری منتشر می‌شود، گستره‌ی رنگ Rec. 709 است که تقریباً معادل sRGB است که در دنیای کامپیوتر و اینترنت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این گستره‌ی رنگ، نقطه‌ی سفید دمای رنگ ۶۵۰۴ کلوین دارد و D65 گفته می‌شود.



دقت کنید که گاما در گستره‌ی رنگ Rec. 709 عدد $2/4$ واحد است و در گستره‌ی رنگ sRGB عدد $2/2$ واحد است. در مورد مفهوم گاما به صورت خلاصه بگوییم که رابطه‌ی بین سطح سیگنال و سطح روشنایی را مشخص می‌کند و عدد است که به عنوان توان استفاده می‌شود. با کاهش مقدار گاما، روشنایی کلی تصویر بیشتر می‌شود و با افزایش آن، روشنایی کلی

کمتر می‌شود. البته باید گامای نمایشگر را کالیبره کرد تا تصویر به آن چیزی که دوربین ثبت کرده و واقعیت دارد، نزدیک شود.



برای آشنایی با مفهوم گاما مقاله‌ی زیر را توصیه می‌کنیم:

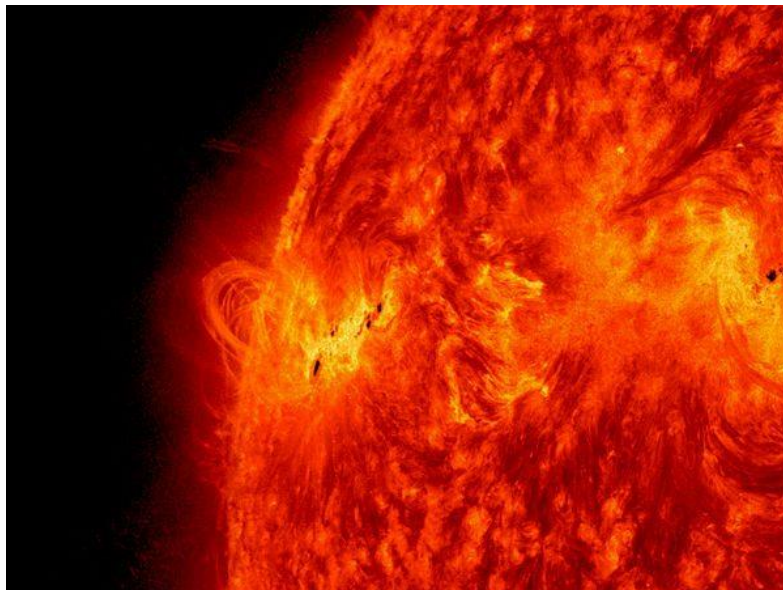
حداکثر مقدار روشنایی هم موضوع مهمی در تدوین ویدیو است. در ویدیوهای SDR، حداکثر مقدار روشنایی ویدیو روی ۱۰۰ نیت یا شمع بر متر مربع تنظیم می‌شود. لذا برای تماشا کردن ویدیو با نور طبیعی، باید روشنایی مانیتور را روی ۱۰۰ شمع بر متر مربع تنظیم کرد، البته این در حالتی است که روشنایی محیط اطراف تلویزیون یا مانیتور، به صفر نزدیک است و در واقع تاریک است. در غیر این صورت نور محیط پیرامون روی ویدیو تأثیر می‌گذارد.

نکته‌ی جالب این است که با افزایش روشنایی، می‌توانید جزئیات بخش‌های تاریک را ببینید اما در مقابل بخش‌های روشن، کاملاً سفید و فاقد جزئیات می‌شوند! در واقع این محدودیت تلویزیون و صفحه نمایش SDR است.

روشنایی مهم‌ترین محدودیت در ویدیوهای SDR است. می‌توان عمق رنگ را به ۱۰ بیت افزایش داد و برای سه رنگ مجموعاً از ۳۰ بیت داده به جای ۲۴ بیت داده استفاده کرد. می‌توان نرخ نمونه‌برداری را به 4:4:4 تغییر داد تا حجم ویدیو بیشتر شود و همین‌طور می‌توان گستره‌ی رنگ گسترده‌تری به اسم Rec. 2020 را استفاده کرد اما روشنایی حداکثری همان ۱۰۰ شمع بر متر مربع است که نسبتاً کم است.

در بیان سطوح روشنایی، هر پله یا سطح جدید روشنایی دو برابر قبلی است. لذا تعداد حالت‌های بین روشنایی ۰ نیت و ۱۰۰ نیت، ۶ پله است. البته ۲ به توان ۶ یا ۶۴، کمتر از ۱۰۰ است اما به هر حال پله‌ی آخر ناقص است. بنابراین ویدیو و محتوای SDR، محدوده‌ی دینامیکی محدودی در حد ۶ پله دارد.

محدوده‌ی دینامیکی معمولی یا SDR با چیزی که چشم انسان در دنیای واقعی تجربه می‌کند، متفاوت است. به عنوان مثال در روزهای روشن، زمانی که به اجسام صیقلی نگاه می‌کنید که نور را بازتاب می‌کنند، چشم روشنایی چند هزار نیت را تجربه می‌کند! روشنایی خورشید نیز چند میلیارد نیت است که طبعاً چشم از دیدن و تشخیص دادن آن عاجز است. لذا خورشید را به صورت یک نقطه‌ی سفید و بدون جزئیات می‌بینیم در حالی که سطح خورشید یکنواخت و ساده نیست.

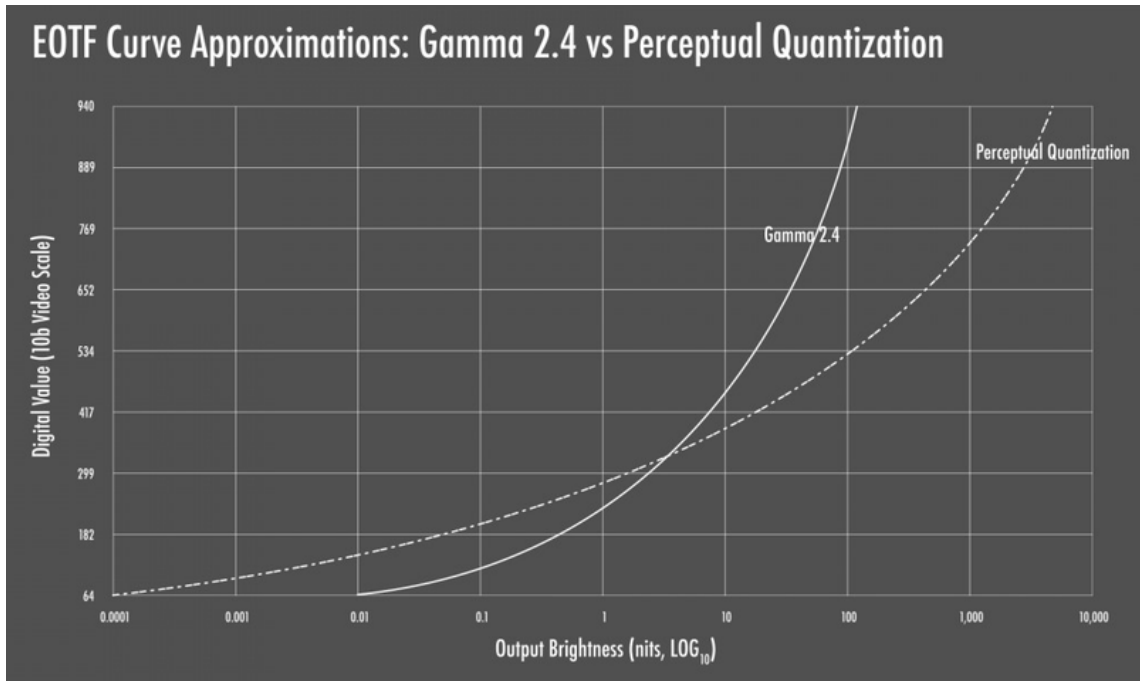


چشم انسان در تشخیص جزئیات بخش‌های تاریک محیط هم محدودیت دارد و در روزهای کاملاً روشن، اجسامی که در سایه و تاریکی قرار گرفته‌اند را به راحتی تشخیص نمی‌دهد. زمانی که به محیط داخل ساختمان وارد می‌شوید، اگر لامپی روشن نباشد شاید چیزی نبینید. پس از لحظاتی که چشم به روشنایی عادت کرد و به عبارت دیگر مردمک چشم گشادتر شد، می‌توانید جزئیات محیط پیرامون را تشخیص دهید.

آنچه مسلم است این است که توانایی چشم انسان بیش از چیزی است که تلویزیون‌های SDR نمایش می‌دهند و به همین جهت است که مقوله‌ی HDR مطرح می‌شود.

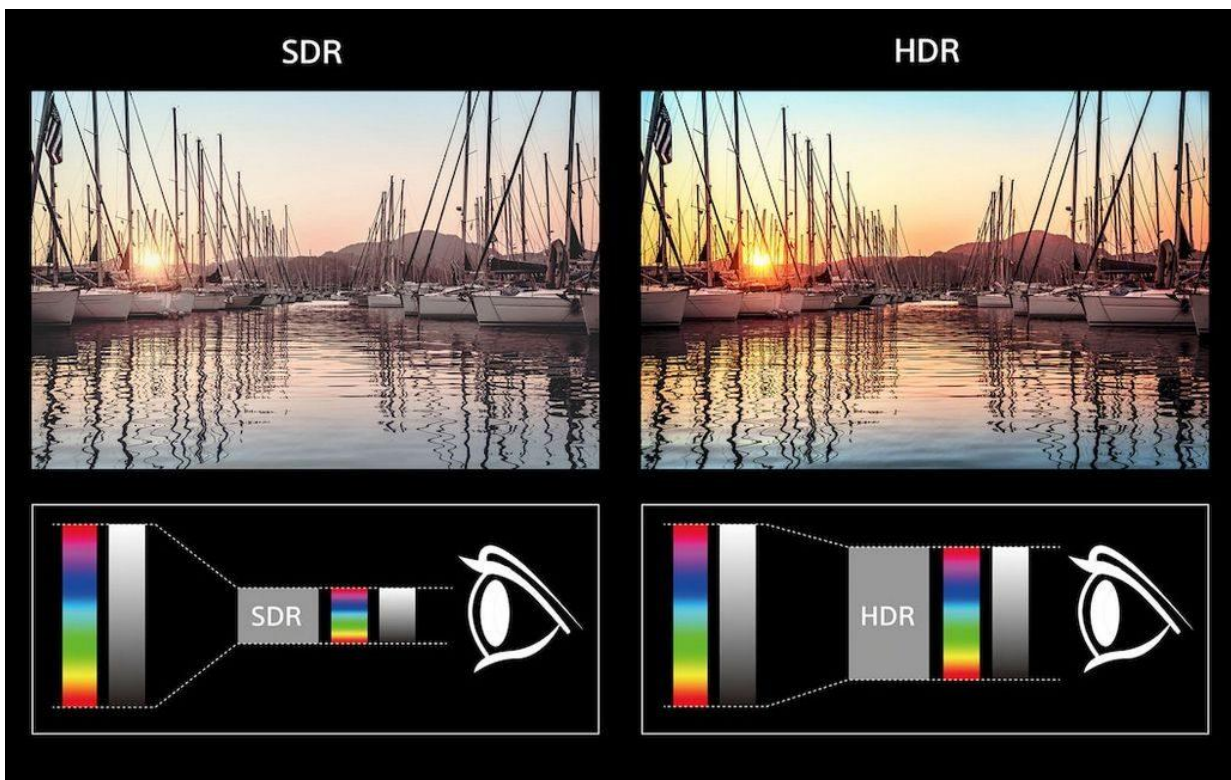
HDR یا High Dynamic Range چیست؟

مشکلات محدوده‌ی دینامیکی استاندارد یا معمولی که به اختصار SDR گفته می‌شود را بررسی کردیم. در ویدیوهای HDR، حداکثر مقدار روشنایی بیشتر است. این روشنایی بیشتر به کمک تابعی الکتروآپتیکال به اسم Perceptual Quantizer که با نام SMPTE ST 2084 نیز شناخته می‌شود، حاصل شده است. در واقع این تابع کاری می‌کند که مقدار روشنایی حتی به ۱۰۰۰۰ نیت هم برسد. مقدار حداقل روشنایی و در واقع روشنایی تاریک‌ترین نقطه نیز فقط 0.0001 نیت است در حالی که در ویدیوهای SDR حداقل مقدار روشنایی، 0.01 نیت است. اگر روشنایی از این مقدار حداقلی کمتر باشد، رنگ کاملاً سیاه جای خاکستری را می‌گیرد.



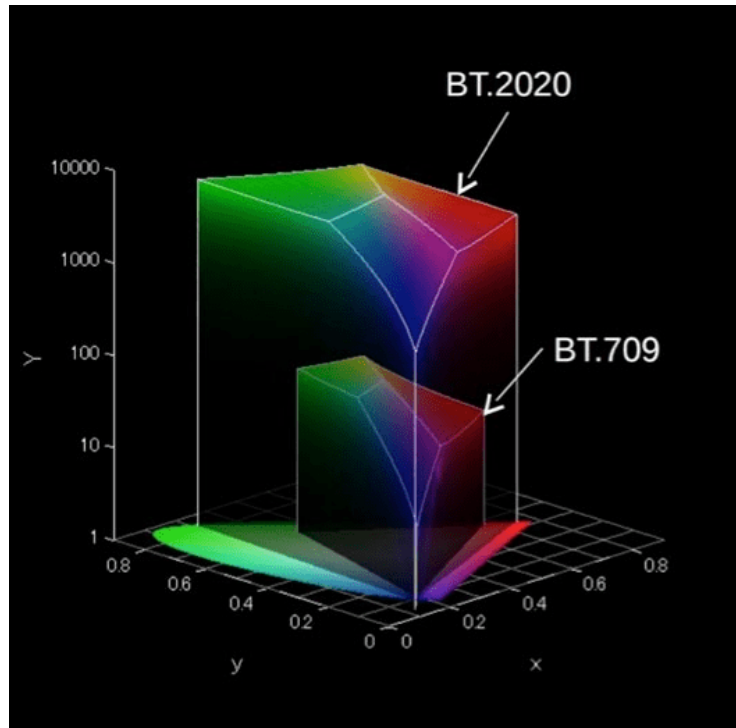
اما صرف نظر از محتوا و ویدیو، در حال حاضر تلویزیون و مانیتوری که روشنایی ۱۰ هزار نیت داشته باشد، موجود نیست. بهترین مانیتورها که برای مصارف معمولی تولید نمی‌شود، روشنایی حداکثر ۴۰۰۰ نیت دارند اما قیمت‌شان ده‌ها هزار دلار است! بیشتر نمایشگرها و تلویزیون‌های حرفه‌ای که برای بازار مصرف عمومی تولید می‌شود، حداکثر ۱۰۰۰ نیت روشنایی دارند. مدل‌هایی با پنل OLED نیز روشنایی پایین‌تری دارند.

البته فیلمسازان و تهیه‌کنندگان ویدیو، در تدوین ویدیو کاری می‌کنند که محدوده‌ی دینامیکی بیشتر شود و خود را محدودیت‌های فعلی نمایشگرها چندان محدود نمی‌کنند. در واقع بیشتر ویدیوهای امروزی که HDR است، ویدیوی معمولی است و مقدار روشنایی حداکثر فقط ۱۰۰ یا ۲۰۰ نیت است اما با تکنیک‌هایی، به ویدیوی HDR تبدیل شده است. به عنوان مثال سازنده‌ی فیلم می‌تواند روشنایی لامپی که در فیلمبرداری با دوربین‌های حرفه‌ای، حدود ۱۰۰ نیت روشنایی داشته را به صورت مصنوعی افزایش دهد و به ۱۰۰۰ نیت یا بیشتر برساند! لذا لامپ نورانی‌تر دیده می‌شود و تصویر به آن چیزی که چشم انسان تجربه کرده، نزدیک‌تر خواهد بود.



البته دقت کنید که HDR صرفاً روشنایی بیشتر نیست بلکه تاریکی عمیق‌تر را هم شامل می‌شود. در واقع کنتراست تصویر که نسبت روشنایی روشن‌ترین نقاط به تاریک‌ترین نقاط است، در ویدیوهای HDR بیشتر است اما به هر حال نقاط نورانی و منابع نور بیشتر جلب توجه می‌کند.

در معرفی SDR به گستره‌ی رنگ BT.709 اشاره کردیم، در HDR از گستره‌ی رنگ جامع‌تری به اسم BT.2020 استفاده می‌شود. اگر روشنایی را به عنوان محور سوم در نظر بگیریم، نسبت تعداد رنگ‌ها در ویدیوی HDR به ویدیوی SDR مثل نسبت دو حجمی است که در تصویر زیر مشاهده می‌کنید. البته دقت کنید که محور مدرج عمودی، خطی نیست بلکه لگاریتمی است.



اما سینماگران و تهیه‌کنندگان ویدیوی معمولاً از گستره‌ی رنگ کوچکتری به اسم DCI-P3 استفاده می‌کنند که البته باز هم از BT.709 گسترده‌تر است و تنوع رنگ‌ها بیشتر است. علت این است که صفحه نمایش‌های امروزی معمولاً تمام رنگ‌های گستره‌ی رنگ BT.2020 را پوشش نمی‌دهند.

در خصوص گستره‌ی رنگ هم تدوین‌گران ویدیو با دستکاری کردن و غلیظتر کردن رنگ‌ها، کاری می‌کنند که رنگ‌ها گسترده‌تر شده و به گستره‌ی رنگ BT.2020 نزدیکتر شود حال آنکه ممکن است ویدیوی خامی که توسط دوربین تهیه شده، اصولاً رنگ‌های غلیظ و اشباع نداشته باشد. بنابراین آنچه امروز به عنوان ویدیوی HDR دریافت می‌کنیم، ویدیوهای ویرایش شده است و نه ویدیویی که به صورت HDR ضبط شده است.

معمولاً ویدیوهای HDR با عمق رنگ ۱۰ بیت و بالاتر تولید می‌شوند که تعداد رنگ‌ها را بیشتر می‌کند.

در بخش بعدی این مقاله می‌خواهیم در مورد فرمت‌های مورداستفاده در ویدیوهای HDR بحث کنیم و ۳ فرمت محبوب‌تر که HDR10 و HDR10+ و Dolby Vision است را معرفی کنیم. اینتوتک را دنبال کنید.