



مبانی و اصول سنجش از دور

(قسمت اول)

نوشته : Lilesand. Klefer

مترجم : مهندس حمید الممبریان

(۱-۱) معرفی

سنجش از دور علم و هنر به دست آوردن اطلاعات درباره یک شیء، منطقه، یا پدیده از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله به وسیله ابزاری است که در تماس فیزیکی با شیء، منطقه و یا پدیده تحت بررسی نباشد. همان طوری که شما این کلمات را می‌خوانید، در حال به کار بردن (علم) سنجش از دور هستید. چشمهای شما به عنوان سنجنده‌هایی که نسبت به نور منعکسه از این صفحه از خود واکنش نشان می‌دهند، عمل می‌کنند. «داده‌هایی که چشمان شما می‌بینند (عکسبرداری می‌کنند) ناشی از میزان نور منعکسه از مناطق تاریک و روشن این صفحه می‌باشد. این داده‌ها در کامپیوتر مغز شما به منظور قادر ساختن شما جهت تشریح مناطق تاریک بر روی صفحه، به عنوان مجموعه‌ای از حروف تشکیل دهنده لغات، تجزیه و تحلیل و یا تفسیر می‌گردند.

علاوه بر این، کلمات، جملات را تشکیل می‌دهند و شما اطلاعاتی را که از طریق جملات منتقل می‌شوند، تفسیر می‌کنید.

در بسیاری از جهات، سنجش از دور می‌تواند به عنوان یک فرآیند خواندن، تلقی شود. با استفاده از انواع سنجنده‌های گوناگون، از فاصله دور «داده‌هایی را جمع‌آوری کرده که به منظور دسترسی اطلاعات درباره اشیاء، مناطق، یا پدیده‌های تحت بررسی، امکان تجزیه و تحلیل داشته باشند.

داده‌هایی که از دور جمع‌آوری می‌شوند، می‌توانند به اشکال مختلف، از جمله تغییرات در توزیع نیرو، پخش امواج صوتی یا انرژی الکترومغناطیسی باشند.

برای مثال، یک ثقل سنج، داده را بر اساس تغییرات در توزیع نیروی ثقل ثبت می‌کند. سونار، مانند سیستم هدایت یک خفاش، داده‌ها را بر اساس تغییرات در توزیع امواج صوتی ثبت می‌نماید. چشمان ما داده‌ها را

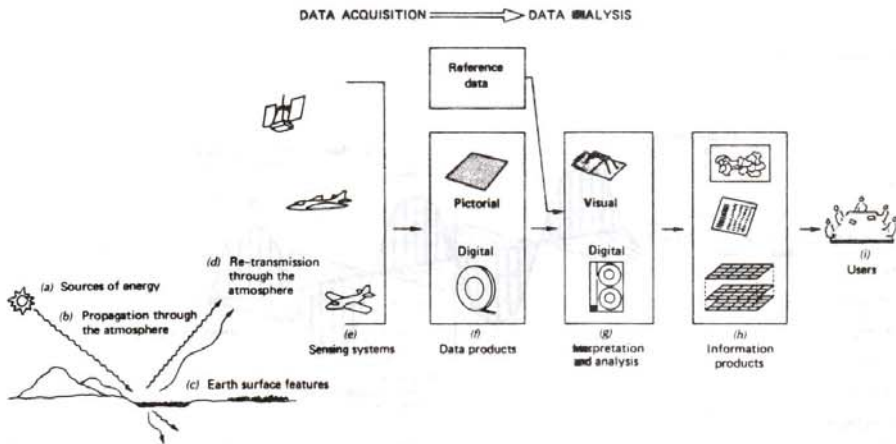
بر اساس تغییرات در توزیع انرژی الکترومغناطیسی کسب می‌کنند. این کتاب درباره سنجنده‌های انرژی الکترومغناطیسی است که به طور متداول از سکوها‌ی هوایی و فضایی به منظور کمک به ثبت، تهیه نقشه و تجسس منابع زمین فعالیت می‌نمایند. این سنجنده‌ها در مسیر انرژی الکترومغناطیسی، نوره‌ای منعکسه و یا ساطع شده از انواع مختلف عوارض سطحی زمین قرار گرفته و داده‌ها را به دست می‌آورند و این داده‌ها جهت فراهم نمودن اطلاعات درباره منابع تحت بررسی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

نگاره (۱-۱) به طور شماتیک فرآیند کلی و عناصر مؤثر در سنجش از دور (الکترومغناطیسی) منابع زمین را نشان می‌دهد. دو فرآیند مبنایی شامل اخذ داده و تجزیه و تحلیل داده است. عناصر فرآیند اخذ داده، شامل منابع انرژی (a)، انتشار انرژی از میان جو (b)، فعل و انفعالات انرژی بر اثر برخورد با عوارض سطحی زمین (c)، انتقال مجدد انرژی از میان جو (d)، سنجنده‌های هوایی و یا فضایی (e)، می‌باشد. که منجر به تولید داده به صورت رقمی و یا تصویری می‌گردد (f). به طور خلاصه، سنجنده‌ها را به منظور ثبت تغییرات انرژی الکترومغناطیسی منعکسه و ساطع شده از عوارض سطحی زمین به کار می‌بریم.

فرآیند تجزیه و تحلیل داده (g) شامل بررسی داده یا به کارگیری وسایل مختلف دیداری و تعبیر و تفسیر، به منظور آنالیز داده‌های عکسی و پایه و وسیله یک کامپیوتر به منظور آنالیز داده‌های رقمی سنجنده می‌باشد.

از داده‌های مرجع در خصوص منابع تحت مطالعه (مانند نقشه‌های خاک‌شناسی، آمار محصولات یا داده‌های میدانی کنترل شده) در هر زمان و مکانی که به منظور کمک در آنالیز داده نیاز باشد، استفاده می‌گردد.

با کمک داده‌های مرجع، تجزیه و تحلیل کننده، اطلاعات مربوط به نوع، میزان، موقعیت و شرایط منابع مختلف زمین را که داده‌های آنها توسط



نگاره (۱-۱): سنسجش از دور منابع زمینی

نور حرکت می‌کند، توصیف می‌نماید. فاصله بین دو قله موج متوالی را طول موج می‌گویند که با علامت λ نشان داده می‌شود و تعداد قله‌هایی که در واحد زمان از یک نقطه ثابت در فضا عبور می‌کند فرکانس نامیده می‌شود که با علامت ν نمایش داده می‌شود. با استفاده از فیزیک پایه، سرعت امواج از معادله کلی زیر تبعیت می‌کنند.

$$C = \nu \lambda \quad (1-1) \text{ معادله}$$

از آنجایی که C ثابت می‌باشد (3×10^8 m/sec)، فرکانس ν و طول موج λ برای یک موج داده شده با یکدیگر نسبت معکوس دارند. هر یک از آنها می‌توانند جهت مشخص نمودن یک موج به یک شکل خاص مورد استفاده قرار گیرند.

در سنسجش از دور طبقه‌بندی امواج الکترو مغناطیسی برابر با موقعیت طول موج آنها در طیف الکترو مغناطیسی انجام می‌گیرد.

متداولترین واحدی که برای اندازه‌گیری طول موج در امتداد طیف الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، میکرومتر (μm) است. یک میکرومتر معادل 1×10^{-6} متر می‌باشد. جداول واحدهایی که اغلب در این کتاب مورد استفاده قرار گرفته به ضمیمه آمده است. اگرچه جهت تسهیل، برای محدوده‌های طیف الکترومغناطیسی نام‌گذاری شده است (مانند ماوراء بنفش و امواج کوتاه)، لکن یک مرز صددرصد قطعی برای جداسازی مناطق از یکدیگر وجود ندارد. تقسیم‌بندی طیف، بیشتر از طریق روش‌های سنسجش هر نوع تابش حاصل شده است تا از طریق اختلاف ذاتی در خصوصیات انرژی انواع طول موجها. نگاره (۱-۳)

همچنین باید توجه داشت که بخشهای طیف الکترومغناطیسی به کار رفته در سنسجش از دور در امتداد یک طیف پیوسته‌ای قرار می‌گیرند که مقدار آنها نسبت به یکدیگر تا حد توان ده (به‌طور بی‌دری) تفاوت دارد. براین اساس استفاده از نمودار لگاریتمی برای نشان دادن طیف الکترو

سنجنده جمع‌آوری شده است، استخراج می‌نماید. سپس این اطلاعات (h)، به‌طور کلی به‌صورت نقشه‌ها و جداول چاپی یا به‌صورت فایل‌های کامپیوتری که می‌تواند با لایه‌های دیگر اطلاعات در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ادغام گردند، تهیه و آماده می‌شوند.

در نهایت اطلاعات برای کاربرانی که می‌خواهند از آن، جهت سیستم‌های تصمیم‌گیری خود استفاده نمایند، پردازش می‌گردد. در این فصل، اصول پایه‌ای، تحت عنوان پردازش سنسجش از دور را مورد بحث قرار می‌دهیم.

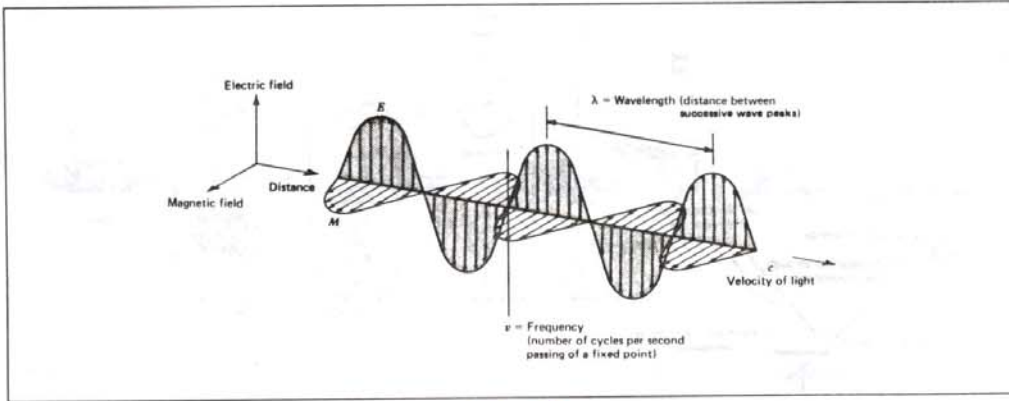
بحث را با مبانی انرژی الکترومغناطیسی شروع می‌نماییم و سپس چگونگی برخورد انرژی با اتمسفر زمین و عوارض سطحی زمین را بررسی خواهیم نمود. همچنین نقش داده‌های مرجع را در روشهای تجزیه و تحلیل مورد ارزیابی قرار خواهیم داد. این مبانی، یک سیستم ایده‌آل و مطلوب سنسجش از دور را برای ما مشخص خواهد نمود. با این زمینه به‌عنوان یک چارچوب، محدودیتهایی که در سیستم‌های سنسجش از دور وجود دارد، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همچنین به اختصار در خصوص مقدمات تکنولوژی GIS بحث خواهیم کرد و در پایان فصل، خواننده باید یک برداشت کلی از مبانی و مفاهیم کاربردهای سنسجش از دور و درک ارتباط نزدیک بین سنسجش از دور و GIS داشته باشد.

۲-۱ منابع انرژی و اصول تابش

نور مرئی تنها یکی از اشکال مختلف انرژی الکترومغناطیسی است. امواج رادیویی، گرمایی، اشعه ماوراء بنفش و ایکس انواع دیگری از اشکال انرژی الکترومغناطیسی هستند. تمام آنها ذاتاً به یکدیگر شبیه هستند و براساس اصول تئوری موج، تابش می‌کنند.

همان‌طوری که در نگاره (۲-۱) نشان داده شده است، این تئوری، انرژی الکترومغناطیسی را که به‌صورت هارمونیک و سینوسی و با سرعت



نگاره (۲-۱)

الکترومغناطیسی از تعداد زیادی واحدهای مجزا بنام فوتون یا کوانتا تشکیل یافته است، که انرژی یک کوانتم به وسیله معادله زیر قابل محاسبه است.

معادله (۲-۱)

$$Q = h\nu$$

به طوری که:

$$Q = \text{انرژی یک کوانتم برحسب ژول (j)}$$

$$h = \text{ثابت پلانک، } 6.626 \times 10^{-34} \text{ ژول ثانیه}$$

$$\nu = \text{فرکانس}$$

ما می‌توانیم به وسیله حل معادله (۱-۱) و با استفاده از رابطه (۲-۱) و جایگزینی برای ν مدلهای رفتاری تابش الکترومغناطیسی کوانتم و امواج را به یکدیگر مرتبط سازیم.

معادله (۳-۱)

$$Q = \frac{hc}{\lambda}$$

بنابراین، ملاحظه می‌کنیم که انرژی یک کوانتم با طول موج خود نسبت معکوس دارد. هر چقدر طول موج بزرگتر باشد، انرژی یک کوانتم کمتر خواهد بود. این موضوع به لحاظ آنکه سنجش امواج طبیعی ساطع شده با طول موج بلند نظیر امواج مایکروویو از عوارض زمینی، بسیار مشکلتر از سنجش امواج طبیعی ساطع شده از عوارض زمینی در طول موجهای کوتاهتر مانند انرژی ساطع شده در محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی می‌باشد. و این مطلب در سنجش از دور حائز اهمیت کاربردی بسیار است.

مقدار کم انرژی تشعشعات طول موج بلند به این معناست که به طور کلی، سیستمهایی که در طول موجهای بلند فعالیت می‌نمایند لازم است مناطق وسیعی از زمین را در هر لحظه از زمان، به منظور دریافت یک سیگنال انرژی، آشکار ببینند.

خورشید روشنترین منبع تشعشعات الکترومغناطیسی سنجش از دور است. به هر صورت، تمام مواد در درجه حرارت بالای صفر مطلق (C) 273° - یا $0^\circ K$ به‌طور پیوسته از خود امواج الکترومغناطیس ساطع می‌کنند.

مغناطیسی معمول است. بخش مرئی یک چنین نموداری بی‌نهایت کوچک است. زیرا حساسیت طیفی چشم انسان بین 0.4 میکرومتر تا 0.7 میکرومتر است.

رنگ آبی تقریباً بین طول موج 0.4 میکرومتر تا 0.5 میکرومتر می‌باشد.

رنگ سبز تقریباً بین طول موج 0.5 میکرومتر تا 0.6 میکرومتر می‌باشد.

رنگ قرمز تقریباً بین طول موج 0.6 میکرومتر تا 0.7 میکرومتر می‌باشد.

انرژی ماورا بنفش (UV) به انتهای نور آبی بخش طیف مرئی متصل است.

در انتهای نور قرمز محدوده طیف مرئی، سه نوع امواج مادون قرمز وجود دارد که عبارت هستند از:

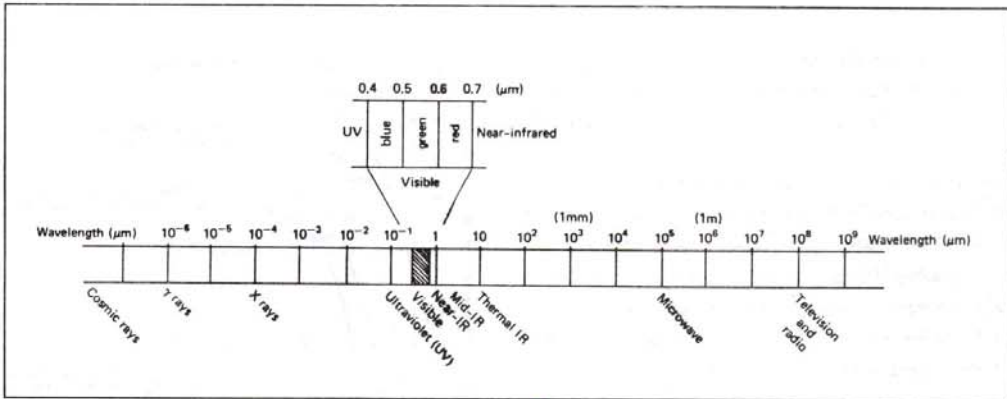
- مادون قرمز نزدیک (از 0.7 میکرومتر تا 1.3 میکرومتر)

- مادون قرمز میانی (از 1.3 میکرومتر تا 3 میکرومتر)

- مادون قرمز حرارتی (بیش از 3 میکرومتر)

در طول موجهای بیشتر (۱ میلی‌متر تا ۱ متر) بخش امواج کوتاه (مایکروویو) طیف وجود دارد. اکثر سیستمهای سنجش متداول در یک یا چندین بخش از قسمت‌های مرئی، مادون قرمز و یا میکروویو طیف الکترومغناطیسی فعالیت می‌کنند. باید توجه داشت که در بین بخش مادون قرمز طیف، تنها انرژی حرارتی مادون قرمز مستقیماً مربوط به حساسیت حرارت می‌شود، لکن انرژی مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی ارتباطی به انرژی حرارتی ندارند. اگرچه بسیاری از خصوصیات تشعشعات الکترومغناطیسی به سهولت به وسیله تئوری امواج قابل توصیف است، لکن تئوری دیگری، دید بهتری در خصوص چگونگی فعل و انفعال انرژی الکترومغناطیسی رایبان می‌کند.

ایسن تئوری (تئوری ذرات) بیان می‌دارد که تشعشعات



نگاره (۳-۱)

بگوییم که انرژی ساطع شده از یک شیء در آغاز تابعی از درجه حرارت آن شیء می‌باشد، همان‌طوری‌که در معادله (۴-۱) بیان شده است. همان‌طوری‌که کل انرژی ساطع شده از یک شیء با درجه حرارت تغییر می‌کند، توزیع انرژی ساطع شده نیز تغییر می‌کند. نگاره (۴-۱) منحنی توزیع طیفی انرژی را برای یک جسم سیاه در درجه حرارت بین ۳۰۰ کلوین تا ۶۰۰۰ کلوین نشان می‌دهد.

واحد محور عرضها (محور ν) $(\text{wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1})$ میزان توان انرژی ساطع شده از جسم سیاه را در فواصل هر یک میکرومتر طول موج نشان می‌دهد.

بنابراین مساحت زیر این منحنی برابر کل تابش ساطع شده یعنی M می‌باشد و طور گرافیکی منحنیها آنچه را که قانون استفان - بولتزمن به طور یاقه بیان کرده است، نشان می‌دهند. هر چه میزان درجه حرارت تشعشع زنده بیشتر باشد، میزان کل تشعشعات ساطع شده از آن بیشتر خواهد بود.

منحنی‌ها همچنین نشان می‌دهند، هنگامی که درجه حرارت افزایش می‌یابد یک جایجایی به سمت طول موجهای کوتاه در نقطه اوج منحنی توزیع تشعشعات جسم سیاه وجود دارد. طول موج غالب، یا طول موجی که در آن تشعشعات جسم سیاه به حداکثر می‌رسد، مربوط به درجه حرارت آن جسم می‌شود که به وسیله قانون جایجایی قابل محاسبه است.

معادله (۵-۱)

$$\lambda m = \frac{A}{T}$$

به طوری‌که:

$\lambda m =$ طول موج حداکثر طیف تابشی ساطع شده

(میکرومتر)

$$2898 \mu\text{mK} = A$$

$T =$ درجه حرارت، K

برحسب μm

بنابراین همچنین، عوارض زمینی منابع تابشی هستند، اگرچه به لحاظ کمیت و ترکیبات طیفی به طور قابل ملاحظه‌ای با امواج الکترومغناطیس تابشی خورشید فرق دارند.

میزان انرژی ساطع شده از هر ماده در بین سایر پارامترهای دیگر، تابعی از درجه حرارت سطحی ماده می‌باشد. این خاصیت به وسیله قانون استفان - بولتزمن (stefan - Boltzmann) بیان شده است که عبارت است از:

$$M = \sigma T^4$$

معادله (۴-۱)

به طوری‌که:

$M =$ کل تابش ساطع شده از سطح ماده برحسب وات بر

متر مربع wm^{-2}

$\sigma =$ ثابت استفان - بولتزمن، که برابر

$$5.6697 \times 10^{-8} \text{wm}^{-2}\text{k}^{-2}$$

است.

$T =$ درجه حرارت مطلق (k) ماده ساطع کننده

لازم نیست، واحدهای خاص و مقدار ثابت استفان را به خاطر

سپرده لکن توجه به این امر که کل انرژی ساطع شده از یک ماده با توان چهارم درجه حرارت مطلق ماده نسبت مستقیم دارد، دارای اهمیت است و بنابراین با افزایش درجه حرارت مطلق به سرعت تابش ساطع شده از ماده افزایش می‌یابد.

همچنین باید توجه داشت که این قانون برای منبعی از انرژی بیان شده است که به عنوان یک جسم سیاه رفتار می‌کند. یک جسم سیاه عبارت است از یک جسم فرضی تابش کننده ایده‌آل که به طور کلی تمام انرژی تابش شده به آن را جذب و کل آن را ساطع می‌سازد. در واقع اشیاء فقط به این ایده تشعشع کننده (جسم مادی فرضی) نزدیکی دارند. ما این حقیقت را در قسمتهای دیگر بیشتر مورد بررسی قرار خواهیم داد. کافی است فعلاً



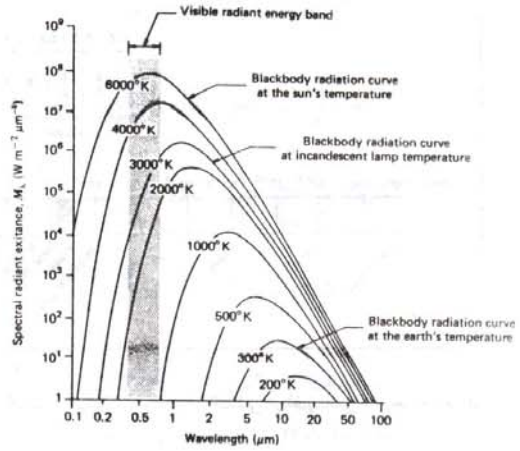
نورایی (با انرژی) یک فلاش، می‌تواند برای جبران این اثر مورد استفاده قرار گیرد و یا اینکه یک فیلم رنگی مخصوص محیط بسته، برای لامپ برقی با نور نقره‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

درجه حرارت محیط زمین (یعنی درجه حرارت مواد سطحی زمین مانند خاک، آب و رویدیدنها) تقریباً در حدود 300K یعنی معادل 27°C است. با استفاده از قانون جابجایی وین، این به معنای حداکثر گسیلندگی عوارض زمینی است که تقریباً در طول موجی برابر $9/7$ میکرومتر اتفاق می‌افتد. از آنجایی که این تابش مربوط به گرمای زمین می‌شود، به آن انرژی «مادون قرمز حرارتی» می‌گویند. این انرژی نه قابل دیدن است و نه قابل عکسبرداری است. اما برای وسایل حرارتی همچون رادیومترها و اسکنرها محسوس است.

در مقایسه، همان‌طور که در نگاره (۴-۱) نمایش داده شده، خورشید دارای حداکثر انرژی در طول موج تقریباً $0/5$ میکرومتر می‌باشد. چشمان ما (فیلم عکسبرداری) نسبت به انرژی در این حد و این طول موج حساس هستند. بنابراین، هنگامی که خورشید در آسمان دیده می‌شود، می‌توانیم در اثر انعکاس انوار خورشیدی (انرژی خورشیدی) از عوارض سطحی، زمین را رؤیت کنیم.

یکبار دیگر، هرچقدر طول موج کوتاه‌های انرژی ساطع شده به وسیله عوارض سطحی زمین که در درجه حرارت محیط قرار گرفته‌اند بیشتر باشد، آنها تنها به وسیله سیستم‌های سنجش غیرعکاسی قابل رؤیت هستند. خط تقسیم کلی بین طول موج‌های انعکاسی و ساطع شده تقریباً برابر 3 میکرومتر است. کمتر از این طول موج، انرژی منعکس شده غالب می‌شود و بیشتر از این طول موج، انرژی ساطع شده غالب می‌گردد.

سنجنده‌های خاص، مانند سیستم‌های راداری، به منظور روشنایی بخشیدن به عوارض مورد نظر، خودشان نسبت به تأمین منبع انرژی اقدام می‌کنند. در مقایسه با سیستم‌های «غیرفعال» یا «مجازی» (passive) که انرژی آماده طبیعی را می‌سنجند، این سیستم‌ها، فعال یا حقیقی (active) گفته می‌شوند. یکی از مثال‌های خیلی متداول سیستم‌های فعال، یک دوربین مجهز به فلاش است. چنانچه همین دوربین در نور آفتاب مورد استفاده قرار گیرد، دارای سنجنده مجازی یا غیرفعال یا passive خواهد بود. □



نگاره (۴-۱)

بنابراین برای یک جسم سیاه، طول موجی که در آن حداکثر طیف تابشی ساطع شده رخ می‌دهد، با درجه حرارت مطلق جسم سیاه، نسبت معکوس دارد. ما این پدیده را هنگامی ملاحظه می‌کنیم که یک جسم فلزی مانند یک قطعه آهن گرم شود. مادامی که شئ گرم‌تر می‌شود، شروع به قرمز شدن نموده و رنگش پی‌درپی به سوی طول موج کمتر - از قرمز تیره به نارنجی تا زرد و نهایتاً سفید - تغییر می‌کند. خورشید به همان صورتی که یک جسم سیاه در درجه حرارت مطلق 6000 کلوین می‌باشد دارای گسیلندگی است. نگاره (۴-۱).

بسیاری از لامپ‌های برقی از خود نور نقره‌ای رنگی ساطع می‌کنند، از خود تشعشعاتی را ساطع می‌کنند که روی منحنی توزیع طبیعی انرژی ساطع شده از اجسام سیاه در درجه حرارت 3000 کلوین قرار دارند. در نتیجه، لامپ‌های برقی که دارای نور نقره‌ای هستند دارای انرژی خروجی آبی‌رنگ نسبتاً کمی هستند و دارای وسعت طیفی، شبیه به نور خورشید نیستند. به همین علت فیلم‌های مختلفی برای فراهم نمودن توازن رنگ صحیح تحت شرایط نوردهی مختلف ساخته شده‌اند. فیلم‌هایی که در محیط باز در هوای روشن مورد استفاده قرار می‌گیرند برای نور خورشید از جهت رنگ، تنظیم شده‌اند. اگر این فیلم‌ها در استفاده از لامپ برقی با نور نقره‌ای به عنوان منبع نور مورد استفاده قرار گیرند عکس‌های حاصله دارای زمینه زرد خواهند بود.