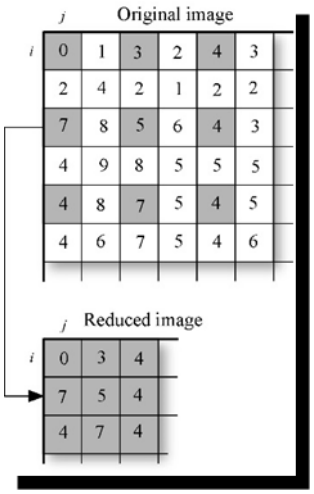
# فصل ۸ کتاب مقدمه ای بر پردازش تصاویر رقومی : Image Enhancement

عملگرهای مورد استفاده برای تقویت تصویر، ارزش روشنایی(BV) هر پیکسل را با توجه به ویژگی های پیکسل های همسایه تعدیل می کنند.

## کاهش دادن (کوچک کردن) و بزرگ نمائی تصویر (Image Reduction and Magnification)

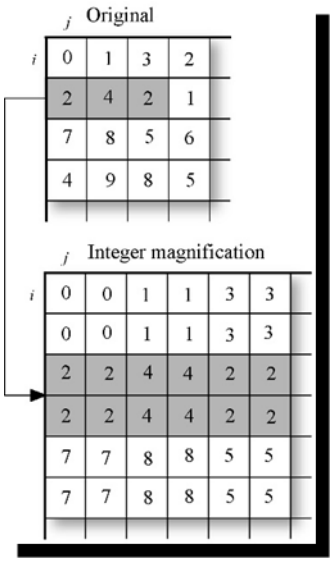
### کوچک نمایی تصویر (Image Reduction)

دیدی کلی و یکپارچه از تصویر به دست می دهد. کل تصویر را به طور همزمان می توان مشاهده کرد. بیشتر نرم افزارهای سنجش از دور قادرند تنها ۱۰۲۴ * ۱۰۲۴ پیکسل را روی صفحه نمایش نشان دهند. در مواردی که نیاز است تا تمام تصویر به صورت یکپارچه مشاهد شود از تکنیک های کوچک سازی تصویر استفاده می شود. نحوه کار به این صورت است که با جذف یک سری از پیکسل ها به صورت منظم، اندازه تصویر اولیه کوچک تر می شود تا بتوان آن را یکجا در صفحه نمایش مشاهده کرد. به عبارت دیگر تعدادی از پیکسل ها (متناسب با قدرت تفکیک مانیتور) به صورت سیستماتیک انتخاب و نمایش داده می شوند. میزان اطلاعات نمایش داده شده در تصویر کوچک سازی شده نسبت به تصویر اولیه، $1/M^2$ خواه بود. M تعداد سطر یا ستون هایی است که به طور سیستماتیک برای نمایش پیکسل ها انتخاب می شوند. به طور مثال اگر M را ۲ در نظر بگیریم، ستون ها و ردیف ها به طور منظم یک در میان حذف می شوند و پیکسل های باقیمانده نمایش داده می شوند. در این صورت تصویر حاصل شده ۰,۲۵ ($1/2^2$) تصویر اولیه را نمایش خواهد داد. اگر M، ۸ در نظر گرفته شود، این نسبت به ۰,۰۱۵۶۲۴ (۱,۵۶۲۵ درصد) می رسد.



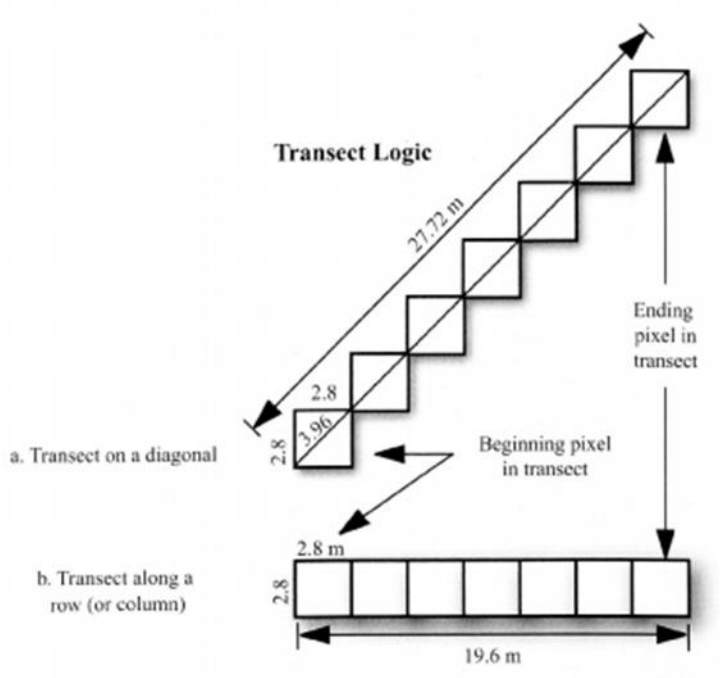
**بزرگ نمائی تصویر** : (Image magnification) = زوم کردن

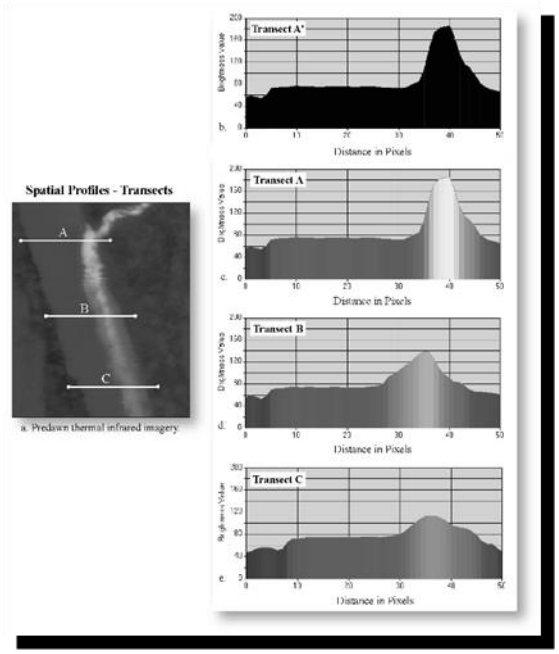
جهت بهبود مقیاس تصویر به کار می رود. هر پیکسل در تصویر اولیه جایگزین یک بلوک m*m پیکسل می شود. همه این پیکسل ها ارزش روشنایی یکسان خواهند داشت. به عبارتی در تصویر اولیه اگر هر پیکسل تصویر تنها یک پیکسل از صفحه نمایش را اشغال می کند، در تصویر بزرگنمائی شده، هر پیکسل تصویر $M^2$ پیکسل از صفحه نمایش را اشغال خواهد کرد. (M = فاکتور بزرگنمائی یا کوچک نمائی). (شکل روبه رو)




## برش عرضی (پروفایل مکانی) : Transect (Spatial Profile)

با استفاده از برش عرضی می توان پیکسل های بین دو نقطه خاص را به صورت خطی برش داد و پروفایل آن را نمایش داد. این خط می تواند افقی، عمودی و یا قطری باشد. هدف این عملگراستخراج ارزش روشنایی( یا ویژگی دیگر مانند انعکاس و ...) تعدادی از پیکسل در یک فاصله مشخص می باشد. به این ترتیب تغییرات درجه روشنایی در یک فاصله مشخص و مربوط به محدوده ای خاص  شناسایی می شود.

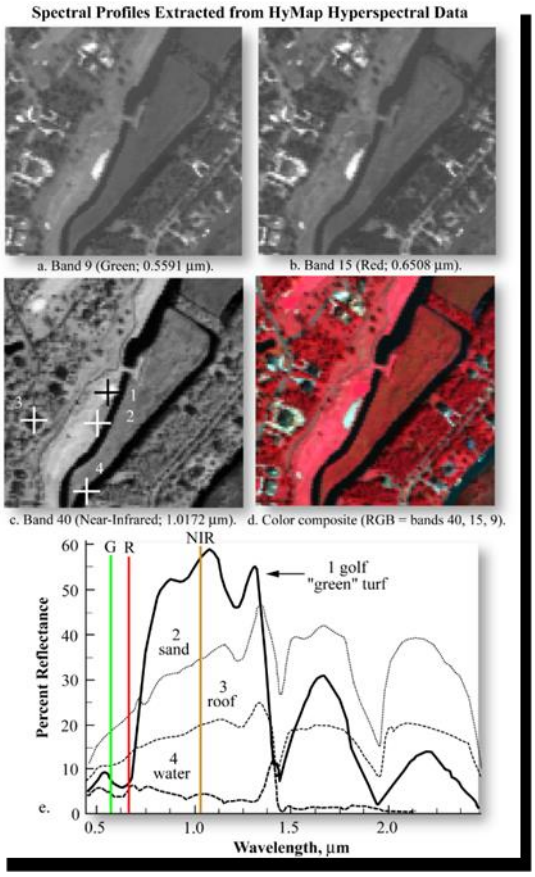



## پروفایل طیفی (Spectral Profiles)

استخراج طیف کامل درجه روشنایی در چند باند برای یک پیکسل خاص. در یک پروفایل طیفی، محور X تعداد باندها و محور Y درجه روشنایی یا رفلکتنس را برای هر باند نشان می دهد. کارآیی و سودمندی پروفایل طیفی به کیفیت اطلاعات داده های طیفی وابسته است. این پروفایل ها اطلاعات کمی (عددی) درباره ویژگی های طیفی پدیده های مورد مطالعه بدست می دهد.

– چمن زمین گلف : جذب کلروفیل در بخش آبی و قرمز طیف و انعکاس بالا در ناحیه مادون قرمز نزدیک (اطراف ۱ میکرون). رفلکتنس در باندهای مادون قرمز میانی(۱,۷۵-۱,۵۵ و ۲,۳۵-۲,۰۸) نیز بالا است. باند های جذبی آب اتمسفری در محدوده های ۱,۴ و ۱,۹ میکرون مشهود است. انعکاس زمین های ماسه ای در محدوده مرئی بالا است و روشن دیده می شود. انعکاس نواحی مسکونی در محدوده مرئی کمتر است و خاکستری دیده می شود. آب از محدوده مرئی به سمت مادون قرمز نزدیک و میانی، انرژی بیشتری جذب می کند(جذب از محدوده مرئی به سمت مادون قرمز افزایش می یارد).




## افزایش کنتراست (Contrast Enhancement)

**عوامل کاهش کنتراست** : ۱- نزدیک بوده میزان انعکاس دو ماده در یک طول موج خاص(بویژه در محدوده های مرئی، مادون قرمز نزدیک و میانی). ۲- ویژگی فرهنگی : استفاده از مصالح موجود در محیط در ساخت سکونتگاه ها(در کشور های در حال توسعه). ۳- حساسیت Detector و اشباع شدن آن(تفکیک رادیومتریک). ۲۵۵- ۰ برای TM لندست : در بعضی موارد ممکن است این محدوده برای ثبت انرژی رسیده از سطح زیر سنجنده کافی نباشد و به این صورت اشباع شود که منجر به کاهش کنتراست می شود. ولی در اغلب موارد از تمام این محدوده استفاده نمی شود. با استفاده از تکنیک هایی می توان از تمام این محدوده استفاده کرد و کنتراست تصویر را افزایش داد.

دو تکنیک برای افزایش کنتراست : ۱- خطی (Linear) ۲- غیر خطی (Nonlinear)

**1- افزایش کنتراست خطی (بسط تباین خطی) : Linear Contrast Enhancement (Contrast Stretching)**

بسط یا کشیده درجه روشنایی اولیه تصویر جهت استفاده از تمام محدوده حساسیت رادیومتریک Detector .

۱- بسط تباین حداقل – حد اکثر : minimum – maximum contrast stretch

بهتر است که افزایش کنتراست خطی با هیستوگرام گوسین یا نزدیک به گوسین به کار رود. زیرا وقتی که تمام درجات روشنایی یکجا (در یک محدوده طیفی محدود) جمع می شود، محدوده نسبتا باریکی از هیستوگرام و تنها یک مد ظاهر می شود.

$$BV_{out} = \left(\frac{BV_{in} - \min_k}{\max_k - \min_k}\right)\text{quant}_k,$$

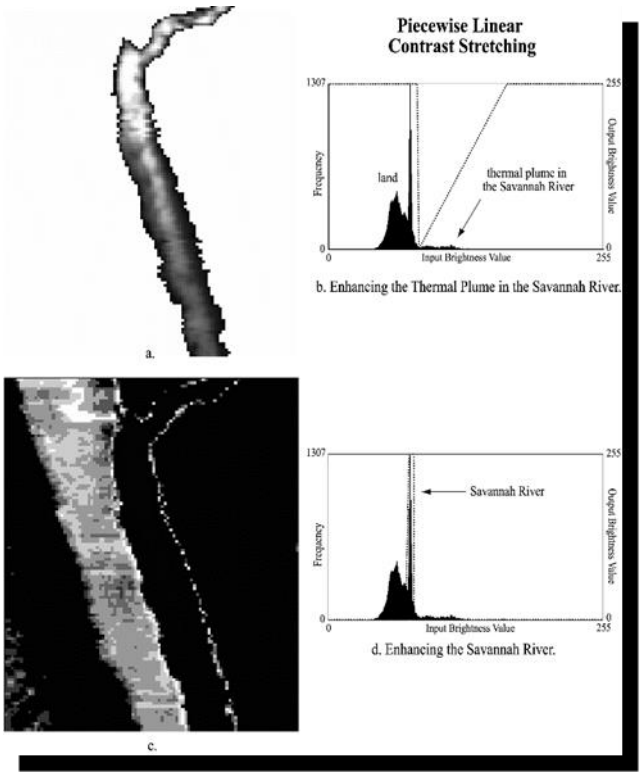
$BV_{in}$ = درجه روشنایی اولیه . $quant_k$ = درجه روشنایی حداکثر (۲۵۵).

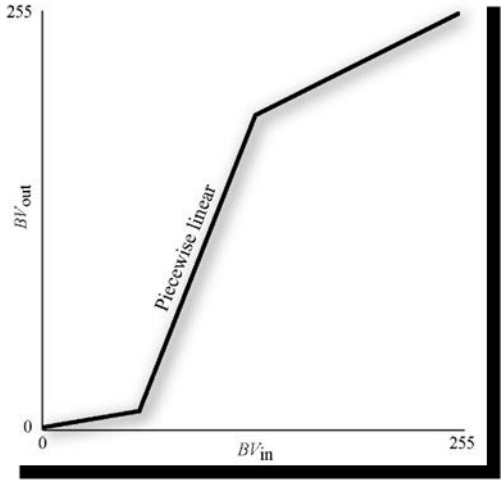
۲- بسط تباین خطی درصدی و بسط تباین انحراف معیار : Percentage linear and standard deviation contrast stretching

ابتدا درصد مشخصی از پیکسل ها در دو طرف میانگین هیستوگرام تصویر اولیه انتخاب می شود. این درصد می تواند بر درصد انحراف معیار منطبق باشد( ±1 Sd = %68 , ±2 Sd = %95.4 , ±3 Sd = %99.73 ). به عنوان مثال اگر میانگین درجه روشنایی ۲۷,۳ و انحراف معیار ۱۵,۷۶ و ۴ = min و ۱۰۵ = max باشد، اعمال 1± انحراف معیار به تصویر ۱۲ = min و ۴۳= max را بدست می دهد. ۶۸٪ پیکسل ها در این محدوده واقع شده اند. برای بسط تباین خطی به این روش پیکسل های ۱۱- ۰ ، صفر درنظر گرفته می شوند، پیکسل های ۲۵۵-۴۴ ، ۲۵۵ در نظر گرفته می شوند و پیکسل های محدوده ۱± انحراف معیار از میانگین یعنی ۴۳-۱۲ ، از صفر تا ۲۵۵ بسط داده می شوند.

۳- بسط تباین تکه ای : Piecewise linear contrast stretch

وقتی که هیستوگرام دارای توزیع گوسین نباشد از این روش استفاده می شود. در این روش کاربر برای افزایش کنتراست یک پدیده خاص، محدوده ای از درجه روشنایی تصویر را انتخاب می کند و بین ۲۵۵- ۰ بسط می دهد. پیکسل هایی که خارج از این محدوده قرار می گیرند، صفر یا ۲۵۵ در نظر گرفته می شوند.




## ۲-افزایش کنتراست غیر خطی : Nonlinear Contrast Enhancement

یکی از کارآمد ترین روش های غیر خطی، معادله هیستوگرام است. معادله هیستوگرام بیشترین میزان افزایش کنتراست را روی محدوده ای از درجه روشنایی که بیشترین فراوانی را در تصویر دارد اعمال می کند. به طور اتوماتیک کنتراست قسمت های خیلی روشن یا خیلی تیره تصویر که مربوط به دنباله های هیستوگرام دارای توزیع نرمال است، کاهش می یابد. معادله هیستوگرام با سایر روش های افزایش کنتراست تفاوت دارد. زیرا داده ها بر اساس هیستوگرام فراوانی تجمعی شان از نو در تصویر توزیع می شوند(منظور از داده ها درجه روشنایی پیکسل ها است). در تصویر جدید بعضی از پیکسل ها که در تصویر اولیه درجه روشنایی متفاوتی داشتند، ارزش یکسانی می گیرند. از طرفی درجات روشنایی دیگری که خیلی به هم نزدیک بودند، کنتراستشان افزایش می یابد. بنابر این این روش می تواند برای بهبود بصری سازی جزئیات تصویر مناسب باشد. اما ممکن است رابطه بین درجه روشنایی و ساختار تصویر تغییر کند. بنا بر موارد ذکر شده، از تصاویری که معادله هیستوگرام رو آنها اعمال شده است، برای استخراج اطلاعات بافت و اطلاعات بیوفیزیکی کمتر استفاده می شود.

روش دیگر برای بسط تباین غیر خطی، بردن داده به مقیاس لگاریتمی است. این روش بیشترین تاثیر را روی درجه روشنایی تاریک ترین قسمت های هیستوگرام اولیه می گذارد. استفاده از روش لگاریتم معکوس، درجه

روشنایی قسمت های روشن تصویر را تقویت می کند. – انتخاب روش و الگوریتم افزایش کنتراست، بستگی به ماهیت هیستوگرام اولیه و عناصر و پدیده های مورد علاقه کاربر در تصویر دارد. – افزایش کنتراست شدید می تواند منجر به از دست رفتن اطلاعات مفید شود. – افزایش کنتراست معمولا برای بهبود تفسیر بصری تصویر به کار می رود و برای استفاده در طبقه بندی و کشف تغییرات و تحلیل های دیگر توصیه نمی شود.

## نسبت گیری باندی Band Rationing (B4TM/B3TM)

گاهی اوقات درجه روشنایی دو پدیده یکسان به دلیل تاثیر شرایط محیطی مانند جهت، شیب، سایه یا تغییرات فصلی زاویه و شدت انرژی خورشید، به صورت متفاوت در تصویر ثبت می شود. نسبت گیری طیفی بین باندهای مختلف می تواند تاثیر این عوامل را کاهش دهد. خروجی نسبت گیری باندی، تصویری با ارزش ۱/۲۵۵ تا ۲۵۵ خواهد بود. جهت تبدیل آن به مقیاس ۲۵۵-۰ از فرمول های زیر استفاده می شود. مقادیر ۱/۲۵۵ تا ۱ با استفاده از فرمول زیر بین ۱۲۸- ۱ قرار می گیرند :

$$BV_{i,j,n} = \text{Int}\,[(BV_{i,j,r} \times 127) + 1].$$

و مقادیر بین ۱ تا ۲۵۵ با استفاده از فرمول زیر بین ۱۲۸ تا ۲۵۵ قرار می گیرند.

$$BV_{i,j,n} = \text{Int}\left(128 + \frac{BV_{i,j,r}}{2}\right).$$

- برای انتخاب باند های بهینه جهت نسبت گیری می توان از فاکتور شاخص بهینه (Optimum Index Factor) و شاخص شفیلد استفاده کرد. - هر چقدر همبستگی بین دو باند کمتر باشد، اطلاعات بیشتری از نسبت گیری بین آن دو حاصل می گردد.

– Red/InFrared : اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی.

NearInFrared/ Mid-InFrared : آشکارسازی اراضی نمکزار (Salt marsh)

Red/Thermal InFrared : اطلاعات مربوط به ستون آب و ساختار شهری

## فیلتر گذاری مکانی (Spatial Filtering)

یکی از ویژگی های تصاویر سنجش از دور فراوانی یا تکرار مکانی (درجات روشنایی در تصویر) است. فراوانی مکانی عبارت است از : تعداد یا میزان تغییرات درجات روشنایی در واحد فاصله برای یک بخش خاص از تصویر. اگر یک ناحیه خاص از تصویر دارای تغییرات کمی از نظر درجات روشنایی باشد، به عنوان یک ناحیه با فراوانی کم شناخته

می شود (Low Frequency). برعکس اگر درجات روشنایی در فواصل کوتاهی تغییر کنند، آن ناحیه به عنوان یک ناحیه با فراوانی زیاد شناخته می شود (High Frequency).

فراوانی مکانی درجات روشنایی در تصاویر با دو رویکرد می تواند تقویت یا تضعیف شود :

۱- Spatial Convolution Filtering (فیلتر گذاری مکانی حلقه ای) : در این رویکرد پیکسل های اطراف یک پیکسل خاص ماسک می شوند. این روش ها برای تقویت درجات روشنایی با فراوانی پایین یا بالا و همچنین برای تقویت و آشکارسازی لبه مناسب اند(Low-pass, High-pass, Edge enhancement).

۲-Fourier Analysis (آنالیز فوریه) : در این رویکرد با استفاده از توابع ریاضی، تصویر به اجزاء با فراوانی مکانی مختلف، تفکیک می شود. در واقع گروه های خاصی از درجات روشنایی تقویت می شوند.

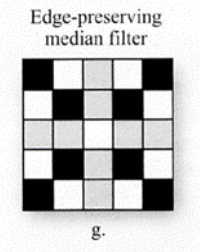
**Spatial Convolution Filtering** : درجه روشنایی یک پیکسل در تصویر خروجی بر اساس پیکسل های همسایه آن در تصویر ورودی تعیین می شود. پیکسل های همسایه معمولا وزن دهی می شوند. این فرآیند فیلتر گذاری حلقه ای دو بعدی (Two-dimensional convolution Filtering) گفته می شود.

۱- **Low- Frequency or Low- pass** : این فیلترها جزئیات با فراوانی زیاد را نادیده می گیرند. به عبارتی تصویر را هموار می کنند. به طور کلی این نوع فیلتر ها برای کاهش نویز مناسب اند. فیلتر میانگین ساده ترین این نوع از فیلتر ها است. فیلتر میانگین که تصویر را هموار(Smooth) می کند، برای حذف نویز فلفل نمکی ( Salt and Pepper) که به طور متناوب توسط سیستم های سنجش از دور ثبت می شود مفید است. اگرچه باعث تار شدن تصویر می شود. بویژه در لبه اشیاء با افزایش اندازه کرنل، میزان تار شدگی بیشتر می شود. جهت کاهش تار شدگی تصویر فیلتر هایی توسعه داده شده است که به پیکسل های داخل کرنل، وزن های متفاوتی نسبت می دهد (در حالت ساده وزن پیکسل ها یکسان در نظر گرفته می شود). - در استفاده از کرنل ۳*۳ برای دو ردیف و دو ستون مربوط به حاشیه های تصویر نمی توان عمل فیلتر گذاری را انجام داد. برای این منظور می توان : ۱- تصویر را به اندازه یک ستون یا یک ردیف گسترش داد. برای این منظور ستون یا ردیف مرزی تکرار می شود. ۲- تکرار میانگین درجه روشنایی ستون یا ردیف مرزی که فیلتر روی آن اعمال شده است. – در محیط های ترکیبی و ناهمگن مانند محیط شهری که دارای درجات روشنایی با فراوانی زیاد (تعدد درجات روشنایی در یک محدوده) هستند، استفاده از فیلتر های High-pass نتایج بهتری بدست می دهد.

فیلتر میانه (Median) : این فیلتر برای حذف نویز تصاویر بویژه Shot noise (نویزی که هیچ ارتباطی به صحنه تصویر برداری ندارد) مناسب است. برای ایجاد فیلتر میانه فقط از ارزش اولیه پیکسل ها استفاده می شود( فیلتر میانگین چون از تمام پیکسل ها استفاده می کند، می تواند برای آنها وزن نیز در نظر بگیرد).

مزایای فیلتر میانه در مقایسه با فیلتر های وزن دار : ۱- مرزها جا به جا نمی شوند. ۲- جزئیات کوچک حذف می شوند و مناطق بزرگ درجه روشنایی یکسان می گیرند.  - یک فیلتر میانه استاندارد باید بعضی خطوط که باریک تر از نصف عرض کرنل هستند و همچنین منحنی ها و کنج های کوچک را حذف کند.

Edge Preserving median filter : (فیلتر میانه حفظ لبه) : این فیلتر گوشه ها و لبه ها را حفظ می کند. برای تعیین میانه فقط از پیکسل های گوشه ای کرنل استفاده می کند.




فیلترهای مینیمم و ماکزیمم : این فیلترها تنها برای تحلیل بصری هستند و برای استخراج اطلاعات بیوفیزیکی کاربرد ندارند.

Olampic Filter : این فیلتر تعدیل شده فیلتر میانگین است. در یک کرنل ۳*۳ به جای اینکه از همه ۹ پیکسل استفاده کند، از بیشترین و کمترین ارزش ها، میانگین گیری می کند. این فیلتر برای حذف بیشتر Shot noise ها مناسب است.

Adaptive box filter : برای حذف نویز از تصاویر رقومی کاربرد و اهمیت زیادی دارد. دو نمونه از این نوع فیلتر ها در ادامه می آید.

۱- فیلتر حذف خطای تصادفی remove random bit error  (Shot noise) : در یک کرنل ۳*۳ ، پیکسل وسط اگر به اندازه ۱ تا ۲ انحراف معیار از میانگین ۸ پیکسل اطرافش انحراف داشته باشد، bit error در نظر گرفته می شود. اگر اینگونه باشد میانگین جعبه (میانگین ۸ پیکسل) جایگزین آن می شود. به این دلیل Adaptive (سازگار) گفته می شود که از انحراف معیار کرنل استفاده می کند، نه از انحراف معیار کل تصویر. با استفاده از این فیلتر حتی کوچک ترین Bit error ها در نواحی ای که واریانس کمی دارند، حذف می شوند. اما داده های معتبر و صحصح در لبه های تیز و گوشه ها جا به جا نمی شوند.

۲- فیلتر Smooth noisy data : این فیلتر ها برای هموار کردن داده های نویز دار (حذف نویز پیکسل هایی که مربوط به صحنه تصویر برداری هستند، ولی نویز دارند) استفاده می شوند. تصاویر با نویز زیاد را تصحیح می کند. این فیلتر بر اساس فیلتر Sigma توسعه داده شده است. در فیلتر Sigma ابتدا انحراف معیار کل تصویر محاسبه می شود، سپس در پنجره ۳*۳ ، میانگین پیکسل هایی که در فاصله انحراف استاندارد ثابتی از پیکسل مرکزی

قرار دارند، جایگزین ارزش پیکسل مورد نظر (پیکسل مرکزی) می شود. این فیلتر (فیلتر هموار ساز داده های نویز دار) برای کاهش لکه های تصاویر راداری (Speckle) بسیار کارآمد است. علاوه بر آن جزئیات کوچک را حذف نمی کند.

این دو فیلتر می توانند با هم ترکیب شوند تا هم خطاهای تصادفی و هم داده های نویز دار تصحیح شوند.

**۲–High- Frequency or High- pass :** این فیلترها عناصری را که تغییرات کند و تدریجی دارند حذف می کند. در عوض عوارض با فراوانی زیاد (تغییرات زیاد درجات روشنایی) را تقویت و بارزسازی می کنند. با استفاده از این فرمول می توان آن را محاسبه کرد : $LFF_{5,out}$ = خروجی فیلتر پایین گذر (Low-pass) , $BV_5$ = درجه روشنایی پیکسل مرکزی .

$$HFF_{5,out} = (2 \times BV_5) - LFF_{5,out}.$$

–این فیلترها دارای هیستوگرام شدت نسبتا باریکی هستند. بنابر این خروجی آنها برای تحلیل بصری باید بسط کنتراست داده شود. –فیلتر های High-pass که لبه ها را تیز و برجسته می کند می تواند با استفاده از ماسک های رو به رو ایجاد شود.

$$\text{Mask D} = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix}$$

$$\text{Mask E} = \begin{matrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{matrix}$$

–فواصل بین آبهای آزاد، زمین های مرطوب و پدیده های شهری به آسانی توسط این فیلتر ها تشخیص داده می شود. همچنین بعضی ساختارهای شهری مانند خیابان ها و ساختمان ها تقویت و نمایان می شوند.

**۳– Edge Enhancement (فیلتر های بارز ساز لبه)** : لبه ها را می توان با تکنیک های بارز سازی خطی یا غیر خطی ، تقویت کرد.

**Linear edge enhancement (بارز سازی خطی لبه)** : از فیلتر های زیر می توان برای بارزسازی خطی لبه استفاده کرد :

۱–روش Directional First Difference (تفاضل جهتی اول) : خروجی این روش تقریبا همان مشتق اول بین پیکسل های همسایه خواهد بود. منظور از تفاضل اول، محاسبه اختلاف هر پیکسل با پیکسل همسایه اش در جهات افقی،

عمودی و قطری است(در هر جهت تنها یک پیکسل). جهت مثبت شدن پیکسل های با مقدار منفی(در نتیجه اعمال الگوریتم)، نتیجه تقاضل با ۱۲۷ جمع می شود. در خروجی این فیلتر پیکسل هایی که لبه ها را تشکیل می دهند، min یا max می شوند و به این ترتیب بارز سازی می شوند.

-جهت آشکارسازی لبه ها، بر اساس ناهمواری سطح و زاویه تابش در لحظه تصویر برداری نیز فیلترهایی توسعه داده شده است.

۲- فیلتر بارز سازی Emboss : خروجی این فیلتر به شکل سایه های برجسته نرم(plastic shaded-relief) ظاهر می شود. به این معنی که اگر سایه های تصویر به سمت بیننده باشد، درک بصری آن راحت است.

۳- Compass gradient mask : در این فیلتر یک جهت خاص وزن بیشتری می گیرد(یک جهت کرنل). مجموع اوزان در ماسک گرادیان صفر است. این فیلتر می تواند برای جهات جغرافیایی خاص طراحی شود. پیکسل مرکزی در همه این فیلتر ها وزن ۲- می گیرد. مثال هایی از این فیلتر برای جهات شمال و شمال شرقی در کرنل‌های زیر آمده است.

$$\text{Mask H} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix} \qquad \text{North}$$

$$\text{Mask I} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{matrix} \qquad \text{NE}$$

۴- فیلتر بارز سازی لاپلاسین (Laplacian) : این فیلتر یک مشتق دوم از تصویر است. تفریق خروجی این فیلتر از تصویر اولیه با افزایش کنتراست در ناپیوستگی ها، لبه ها را تیز می کند. این فیلتر معمولا نقاط، خطوط و لبه ها را برجسته می کند و مناطق هموار و همگن را هموارتر می کند. خروجی این فیلتر نسبت به دیگر فیلترهای آشکارساز لبه، طبیعی تر به نظر می رسد. این فیلتر از نوع High-pass است.جزئیات قابل توجهی از ساختارهای شهری و مناطق باتلاقی را نمایش می دهد.

**Nonlinear edge enhancement :** این نوع فیلترها از ترکیب غیرخطی پیکسل ها استفاده می کند. فیلترهای زیر از این نوع اند.

۱- Sobel Edge Detection (فیلتر تشخیص لبه سوبل) : بر اساس رابطه زیر بدست می آید.

$$\text{Sobel}_{5,\text{out}} = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (8\text{-}41)$$

where

$$X = (BV_3 + 2BV_6 + BV_9) - (BV_1 + 2BV_4 + BV_7) \quad (8\text{-}42)$$

and

$$Y = (BV_1 + 2BV_2 + BV_3) - (BV_7 + 2BV_8 + BV_9). \quad (8\text{-}43)$$

X = مجموع BV های ستون سوم (منهای) مجموع BV های ستون اول.

Y = مجموع BV های ردیف اول (منهای) مجموع BV های ردیف سوم.

$$X = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \qquad Y = \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{matrix}$$

در واقع برای اعمال این فرمول در کرنل ۳*۳ وزن ستون اول و ردیف سوم منفی در نظر گرفته می شود.

این فیلتر برای تشخیص لبه های اطراف عوارض نواحی روستایی و اشیاء بزرگ در محیط شهری بسیار مناسب است. برای تهیه نقشه های لبه (Edge Maps) بسیار مناسب است.

۲- Robert edge detector (فیلتر کاشف لبه روبرت) : این فیلتر از چهار پیکسل کرنل ۳*۳ استفاده می کند. موقعیت این چهار پیکسل در فرمول و ماسک ها مشخص شده است.

$$\text{Roberts}_{5,\text{ out}} = X + Y$$

where

$$X = |BV_5 - BV_9| \qquad Y = |BV_6 - BV_8|$$

$$X = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{matrix} \qquad Y = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{matrix}$$

۳-فیلتر آشکارساز لبه Kirsck Nonlinear : این فیلتر شیب BV را در محل پیکسل محاسبه می کند. ارزش خود پیکسل در محاسبات استفاده نمی شود. از اطلاعات پیکسل های اطراف استفاده می کند.

**فیلتر هایی برای تشخیص عوارض خطی :**

Mask Z : این فیلتر خطوطی را که دارای جهت افقی در تصویر هستند آشکار می سازد(غربی- شرقی).

$$\text{Mask Z} = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix} \qquad \text{E–W}$$

Mask AA : خطوطی را که با زاویه ۴۵ درجه از شمال شرقی به جنوب غربی کشیده شده آشکار می سازد.

$$\text{Mask AA} = \begin{matrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{matrix} \qquad \text{NE–SW}$$

Mask BB : خطوط عمودی تصویر را آشکار می کند(شمالی- جنوبی).

$$\text{Mask BB} = \begin{matrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{matrix} \qquad \text{N–S}$$

Mask CC : خطوطی را که با زاویه ۴۵ درجه از شمال غربی به جنوب شرقی کشیده شده آشکار می سازد.

$$\text{Mask CC} = \begin{matrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{matrix} \qquad \text{NW–SE}$$

## تبدیل فوریه (The Fourier Transform)

تحلیل فوریه یک تکنیک ریاضی است که تصویر را به چند مولفه با فراوانی مکانی مختلف تفکیک می کند. اگر یک تابع پیوسته F(x) در نظر بگیریم، تئوری فوریه بیان کننده این است که هر تابع F(x) می تواند بوسیله مجموع سری های عبارات سینوسی با فراوانی های مکانی مختلف، نمایش داده شود. این عبارات می تواند بوسیله تبدیل فوریه بدست آید.

خروجی تبدیل فوریه چه چیزی را نمایش می دهد؟ این خروجی شامل اطلاعات مکانی مربوط به فراوانی مکانی (Spatial frequency) تصویر اولیه می باشد که طیف فراوانی (Fourier Spectrum) نامیده می شود.

F(u , v) = تبدیل فوریه.

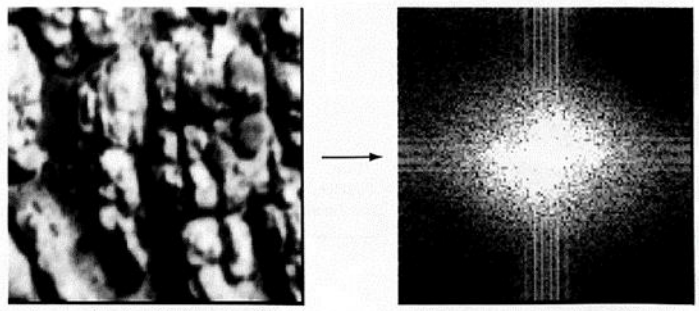
$$F(u, v) = |F(u, v)| e^{i\Phi(u, v)} ,$$

where $|F(u, v)|$ is a real function, and

$$|F(u, v)| = \sqrt{R(u, v)^2 + I(u, v)^2} .$$

قدر مطلق تبدیل فوریه اندازه های بزرگ و جهت مولفه های با فراوانی مختلف را در تصویر نشان می دهد. متغیر $\Phi$ اطلاعات مربوط به فاز را در تصویر نمایش می دهد. هر چند که در نمایش تبدیل فوریه، اطلاعات فاز نادیده گرفته می شود ولی بدون آن نمی توان تصویر اولیه را بازیابی کرد. تصویر قدر مطلق فوریه (بزرگنمائی شده) با

مرکز تصویر مقارن است و u و v فراوانی مکانی(تغییرات مکانی) را نشان می دهند. در این تصویر F(0,0) برای مرکز تصویر تنظیم می شود. این بدان معنا است که مرکز تصویر فراوانی مکانی پایینی (Low-Frequency) دارد. یعنی مرکز این تصویر از نظر درجه روشنایی یکنواخت است. به عبارتی مرکز این تصویر قدر مطلق اجزاء با کمترین فراوانی (Lowest-Frequency) را نشان می دهد. فراوانی مکانی از مرکز تصویر به اطراف افزایش می یابد(تغییرات درجه روشنایی افزایش می یابد). تصویر سمت راست نتیجه تبدیل فوریه تصویر سمت چپ است. تجمع پیکسل های با درجات روشنایی بالا در  مرکز نشان دهنده فراوانی پایین (Low-frequency) در مرکز است.



c. Low- and medium-frequency terrain with some horizontal and vertical linear features.

d.

تصویر مربوط به تبدیل فوریه که قدر مطلق روی آن اعمال نشده ((F(u,v))، همه اطلاعات مربوط به تصویر اولیه را در بر دارد. این تصویر امکان تحلیل و دستکاری تصویر را بر اساس فراوانی های مکانی آن فراهم می کند. این تصویر می تواند برای بازیابی تصویر اولیه، فیلتر کردن و تصحیح رادیومتریک استفاده شود. به طور مثال برای حذف نویز های دوره ای(Periodic noise) می توان از تبدیل فوریه استفاده کرد. اگر الگوی نویزهای دوره ای تغییر نکند به آن نویز دوره ای ایستا یا ثابت گفته می شود. خطاهای نوار نوار شدگی (Stripping) معمولا ترکیبی از نویزهای دوره ای ثابت هستند.  فراوانی و جهت این نویزها می تواند با توجه به موقعیت نقاط روشن در تصویر تبدیل فوریه شناسایی شود. فاصله از نقاط روشن تا مرکز تصویر فوریه، متناسب با فراوانی نویز است. خطی که از نقاط روشن به مرکز تصویر تبدیل فوریه وصل می شود، همیشه بر جهت خطوط نویز در تصویر اولیه عمود است. نوار نوار شدگی در تصاویر سنجش از دور معمولا ترکیبی از توابع سینوسی با بیشتر از یک فراوانی در یک جهت یکسان است. بنابر این تبدیل فوریه چنین نویزی، شامل مجموعه ای از نقاط روشن است که به صورت خطی در یک جهت کشیده شده اند. خطاب نوار نوار شدگی با فیلترهای معمولی (Simple Convolution mask) حذف نمی شوند.

**Spatial Filtering in frequency domain (فیلتر گذاری مکانی در دامنه فراوانی) :**

با استفاده از تبدیل فوریه می توان اطلاعات مربوط به فراوانی را مستقیما دستکاری کرد. این دستکاری می تواند با تبدیل فوریه چند بعدی تصویر اولیه بوسیله یک تصویر ماسک که فیلتر دامنه فراوانی نامیده می شود انجام شود. با این کار مولفه های با فراوانی مشخص تضعیف یا بلوکه می شوند. به صورتی که بخشی از طیف فراوانی، کوچکتر یا حتی صفر می شود(به عبارتی بخش هایی از تصویر که دارای تغییرات درجه روشنایی مشخصی است، فیلتر می شود). سپس با محاسبه معکوس تبدیل فوریه طیف فراوانی دستکاری شده، تصویر فیلتر شده مکانی بدست می آید. فیلتر گذاری مکانی در دامنه فراوانی شامل محاسبه FFT (Fast Fourier Transform) تصویر اولیه و ضرب آن در FFT ماسک کانولوشن (یک فیلتر مکانی خاص مانند Low-pass) و معکوس کردن تصویر خروجی با استفاده از تبدیل فوریه معکوس (IFFT) است. تئوری کانولوشن بیان می کند که کانولوشن دو تصویر برابر با ضرب تبدیل فوریه آنها در یکدیگر است. جهت فیلتر کردن تصویر، یک فیلتر مکانی معمولی که تبدیل فوریه روی آن انجام شده ( Low-pass یا High-pass) در تصویر تبدیل فوریه تصویر اولیه ضرب می شود. نتیجه یک تبدیل فوریه جدید است. محاسبه معکوس تبدیل فوریه این خروجی، یک نسخه فیلتر شده از تصویر اولیه بدست می دهد.

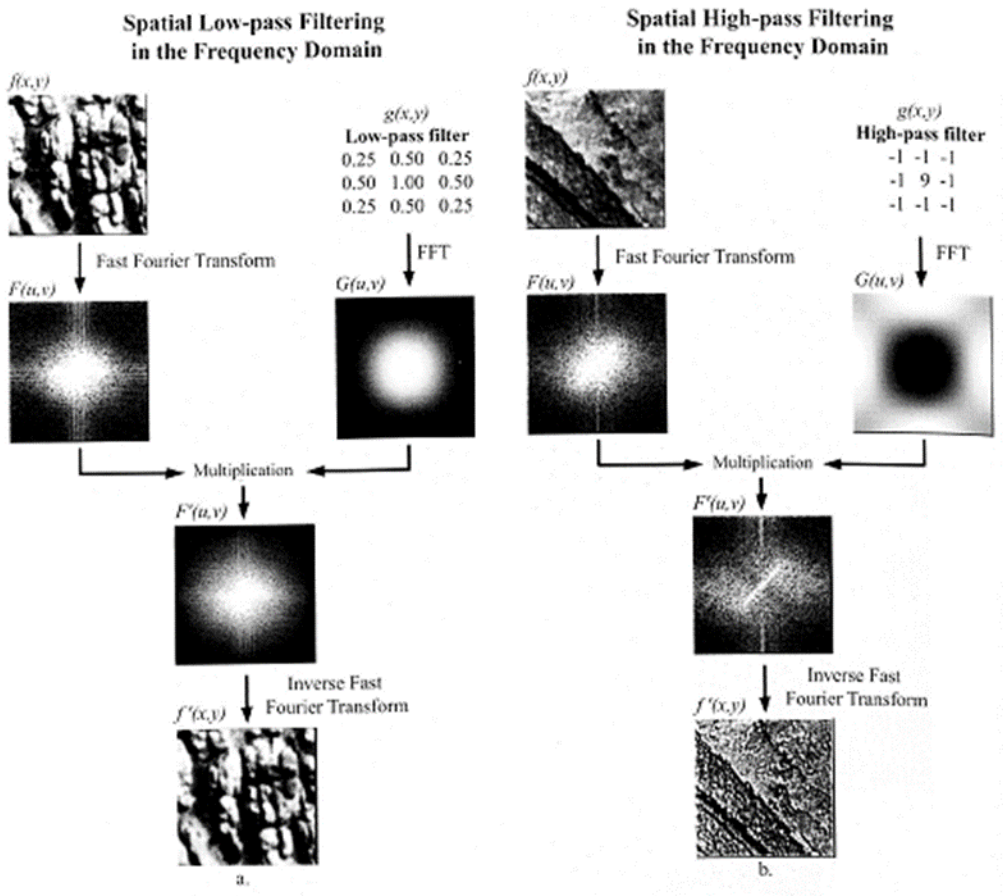


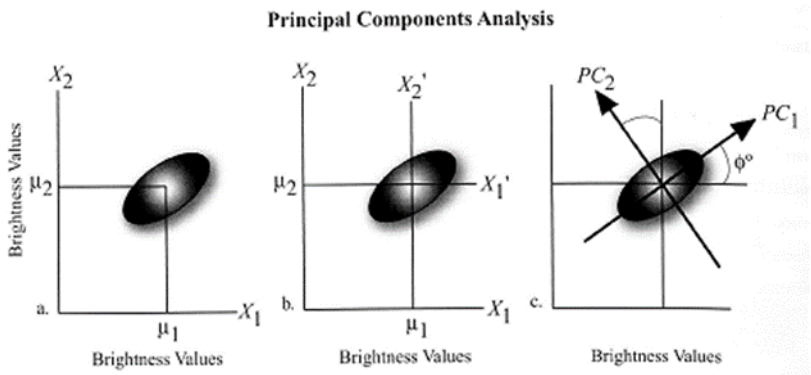

Figure 8-33 a) Spatial low-pass and b) high-pass filtering in the frequency domain using a Fourier transform.

برای کاربرد های معمولی فیلتر های کانولوشن (معمولی- غیر فوریه) کارآمدتر است. فقط زمانی که سایز فیلتر مکانی(ماسک کانولوشن فیلتر معمولی) خیلی بزرگ است، روش فوریه کارآمدتر است. اگرچه با استفاده از روش های دامنه فراوانی(که با تبدیل فوریه انجام می شود) می توان فیلترهایی را روی تصاویر اعمال کرد که با دامنه مکانی(فیلترهای معمولی) به آسانی قابل انجام نیست. در نهایت با استفاده از تبدیلات فوریه می توان یک فیلتر دامنه فراوانی خاص طراحی کرد که مولفه های با فراوانی مشخص را از تصویر حذف می کند.

## تحلیل مولفه های اصلی Principle Component Analysis

تحلیل مولفه های اصلی تکنیکی است که داده های اولیه را به داده های کوچکتر تبدیل می کند(ابعاد داده ها را کاهش می دهد) و تفسیر مجموعه متغیرهای ناهمبسته که بیشتر اطلاعات داده های اولیه را در بر دارد، آسان تر

می کند. مولفه اول این تحلیل بیشترین نسبت واریانس داده های اولیه و مولفه های بعدی به ترتیب بیشترین واریانس باقیمانده را محاسبه می کنند. در واقع مولفه اول دارای بیشترین واریانس است که عدم همبستگی داده ها را نشان می دهد. شکلی از PCA برای کاهش ابعاد داده های فراطیفی مناسب است. برای مثال MNF (Minimum noise fraction) مانند PCA است که برای فشرده سازی و کاهش نویز داده های فراطیفی استفاده می شود. برای انجام PCA ، یک تبدیل روی داده های چند طیفی همبسته به کار می رود(باندهای ۱ و ۲ و ۳ و همچنین باندهای ۵ و ۷ TM همبستگی زیادی با هم دارند). خروجی این تبدیل به صورت چند باند (کمتر از باندهای اولیه) است که همبستگی پایینی دارند و نسبت به باندهای اولیه واریانس بیشتری دارند. شکل زیر PC1 را با بیشترین واریانس نشان می دهد.




واریانس توزیع نقاط(درجه روشنایی پیکسل ها) شاخصی از همبستگی و کیفیت اطلاعات مربوط به باندها است. اگر همه نقاط داده (درجات روشنایی) در یک محدوده بسیار کوچک از فضای دو بعدی(یاچند بعدی) جمع شده باشد، این داده ها اطلاعات کمی بدست می دهد(به عبارتی شباهت پیکسل ها زیاد است که نشان دهنده کنتراست پایین است). ممکن است محورهای مختصات اولیه ($X_1$ , $X_2$) برای تحلیل داده ها بهترین حالت نباشد. هدف از استفاده از PCA ، انتقال و چرخش محورهای اولیه است. به طوری که درجات روشنایی روی محورهای $X_1$ و $X_2$ ، روی محورهای جدید $X'_1$ و $X'_2$ از نو توزیع شوند. چرخش و انتقال این محورها به صورتی است که محور اول در جهت بیشترین واریانس داده ها منطبق می شود که همان PC1 (اول) است. مولفه دوم (PC2) بر مولفه اول عمود است. بنابر این محورهای اصلی بیضوی نقاط، مولفه های اصلی هستند. برای انتقال داده ها از محورهای اولیه به محورهای PC1 و PC2 ، باید ضرایب انتقال استخراج شود که به صورت تبدیل خطی انجام می شود. این تبدیل خطی از ماتریس کواریانس داده های اولیه استخراج می شود. ضرایب تبدیل با استفاده از اطلاعات آماری طیفی اولیه محاسبه می شود. استفاده از ماتریس کوواریانس، PCA نرمال نشده بدست می دهد. در حالی که ماتریس همبستگی، PCA استاندارد شده بدست می دهد. در ماتریس کوواریانس اعداد قطری Eigenvalue نامیده می شوند.

بقیه اعضای ماتریس صفر در نظر گرفته می شوند. مجموع Eigenvalue ها تشکیل یک بردار (EigenVector) را می دهند که با استفاده از آنها درصد واریانس کلی برای هر مولفه اصلی محاسبه می شود. تعداد Eigenvalue برابر با تعداد باندهای اولیه است. در واقع Eigenvalue ها همان مولفه ها هستند.

مولفه ها چه چیزی را نشان می دهند؟ با محاسبه همبستگی هر یک از باندهای اولیه با هر یک از مولفه های اصلی می توان تعیین کرد که هر باند با کدام مولفه مرتبط است.

$$E$$

$$EV \cdot Cov \cdot EV^T = \begin{bmatrix} \lambda_{1,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{2,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{3,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{4,4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{5,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{6,6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{n,n} \end{bmatrix}$$

**چگونگی محاسبه PC1 برای یک پیکسل خاص(با استفاده از همه باندهای اولیه).**

درجه روشنایی جدید که مربوط به PC1 است از طریق مجموع ضرب EigenVector هر باند($a_{kp}$) در درجه روشنایی اولیه آن ها بدست می آید.

$$\text{new}BV_{i,j,p} = \sum_{k=1}^{n} a_{kp} BV_{i,j,k},$$

این فرمول بر همه پیکسل ها اعمال می شود. سپس P یک واحد افزایش پیدا می کند و مولفه اصلی دوم ایجاد می شود و به همین ترتیب . P در محاسبه واریانس مولفه ها از ماتریس کوواریانس، لحاظ می شود. برا مولفه اول ۱، برای مولفه دوم ۲ و به همین ترتیب.

از چند مولفه اول که تقریبا همه واریانس داده ها را به خود اختصاص داده اند، می توان به جای همه باندها در پردازش ها مانند طبقه بندی استفاده کرد.این باعث افزایش سرعت پردازش به علت کاهش حجم داده ها می شود. PCA استاندارد (که در آن EigenValue ها با استفاده از ماتریس همبستگی بدست می آید) نسبت به PCA غیر

استاندارد (استخراج شده از ماتریس کوواریانس) در مواقعی که هدف تحلیل تغییرات در تصاویر چند زمانه است، مناسب تر است. در PCA استاندارد شده همه باندها در استخراج مولفه جدید وزن یکسان می گیرند.

(محاسبه PCA برای ۳۶ تصویر NDVI استخراج شده از تصاویر AVHRR نشان داد که PC1 بدون توجه به فصل سال با NDVI همبستگی دارد. در حالی که PC های ۲ ، ۳ و ۴ تغییرات فصلی را نشان می دهد. PCA برای تشخیص خاک شور و غیر شور نیز مناسب است. PCA برای Change Detection نیز کاربرد دارد.)

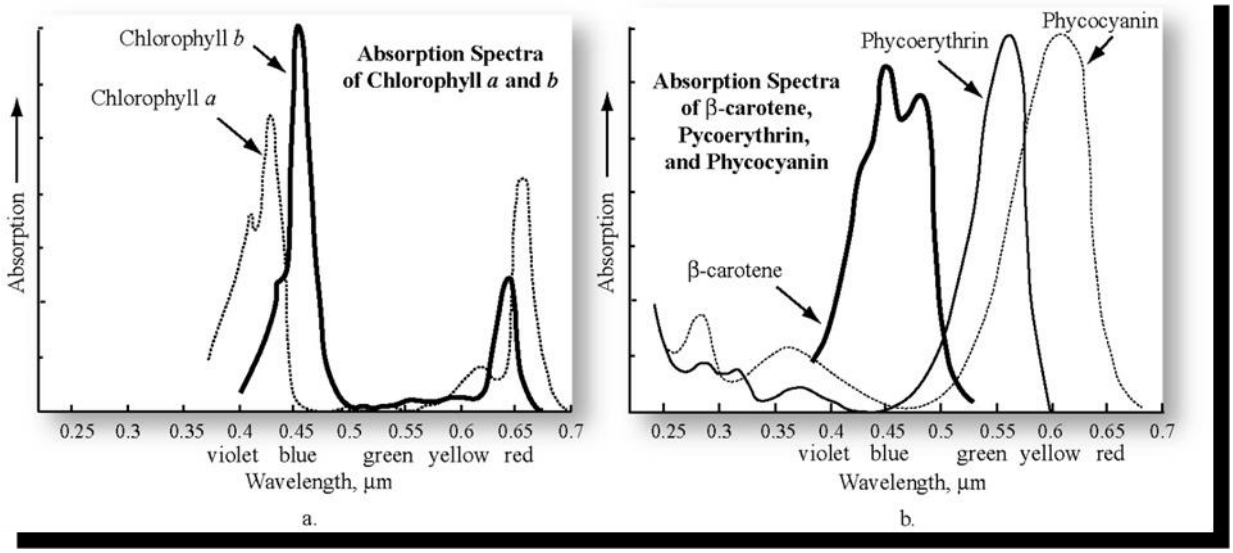
به طور کلی : هدف PCA کاهش حجم داده ها به همراه حفظ اطلاعات ارزشمند به صورتی که درجات روشنایی پیکسل ها در یک PC دارای بیشترین تفاوت ممکن باشد(به عبارتی واریانس آنها زیاد باشد).

## شاخص های گیاهی

فتوسنتز : فرآیند ذخیره انرژی که در صورت وجود نور در برگها یا دیگر بخش های سبز گیاهان اتفاق می افتد. این فرآیند فتوسنتز است که تعیین می کند برگ و تاج پوشش گیاهی چگونه در تصاویر سنجش از دور ظاهر شود.

**تعامل نور مرئی با رنگدانه ها در سلول های پرچین مانند مزوفیل (Palisade Mesophyll Cells) :**

سلول های پرچین مانند نسبت به سلول های اسفنجی بزرگ تر هستند. اندازه سلول های پرچین مانند، ۱۵*۱۵*۶۰ میکرون است. مولکول های گیاهان سبز(رنگدانه ها) طول موج نور را در محدوده مرئی طیف (۰,۷-۰,۳۵ میکرون) جذب می کنند. رنگدانه های کلروفیل نور را در محدوده ۰,۴۳ (آبی) و ۰,۶۶ (قرمز) جذب می کنند. ولی جذب در محدوده ۰,۵۴ میکرون (سبز) خیلی کم است. به همین دلیل گیاه سالم توسط چشم انسان سبز دیده می شود. رنگدانه های دیگری در سلول های مزوفیل پرچین مانند وجود دارد که به دلیل فراوانی رنگدانه های کلروفیل، ماسک می شوند. مانند کاروتن های زرد و اگزانزفیل زرد کم رنگ که در ناحیه قرمز، جذب زیادی دارند. رنگدانه Phycoerythrin نیز ممکن است در برگ وجود داشته باشد که غالبا در محدوده سبز (به مرکز ۰,۵۵ میکرون) جذب دارد و آبی و قرمز را منعکس می کند. رنگدانه های Phycoyanin نور را در محدوده سبز و قرمز با مرکزیت حدود ۰,۶۲ میکرون جذب می کند و به آبی و مقداری از نور سبز اجازه انعکاس می دهد(ترکیب این دو رنگ Cyan (آبی مایل به سبز) را تولید می کند).

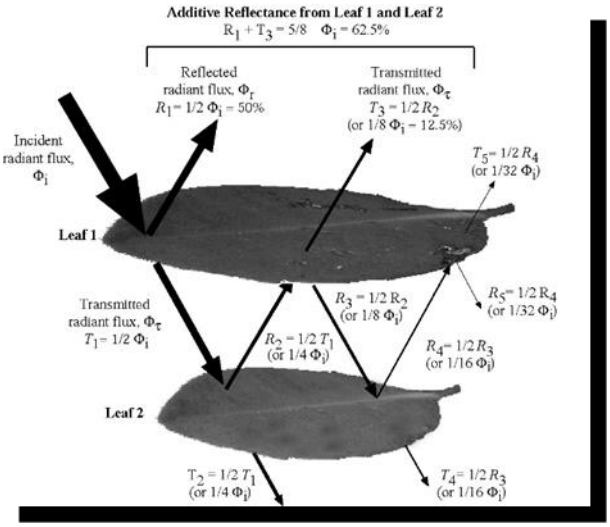



به دلیل اینکه کلروفیل نوع a و b به مقدار زیادی در برگ وجود دارد، رنگدانه های دیگر را ماسک می کنند. وقتی که گیاه پیر یا دچار استرس می شود رنگدانه های کلروفیل ممکن است ناپدید شوند. بنابر این کاروتن و دیگر رنگدانه ها برجسته می شوند و باعث می شود که برگ ها به رنگی غیر از سبز ظاهر شوند. دو محدوده طیفی بهینه برای سنجش ویژگی ها جذبی کلروفیل، محدوده های ۰,۴۵-۰,۵۲ و ۰,۶۳ -۰,۶۹ میکرون است. محدوده اول با جذب قوی کاروتن و کلروفیل مشخص می شود، در حالی که محدوده دوم با جذب قوی (تنها) کلروفیل مشخص می شود. وقتی که گیاه دچار استرس می شود یا میزان کلروفیل آن کاهش می یابد، کمبود کلروفیل باعث کاهش در باندهای جذبی کلروفیل می شود. چنین گیاهی انعکاس زیادی خواهد داشت(بویژه در محدوده سبز و قرمز طیف). بنابر این ممکن است مایل به زرد دیده شود. در واقع افرایش انعکاس در بخش مرئی طیف به استرس گیاه مربوط می شود. تغییر انعکاس مادون قرمز مربوط به زمانی است که استرس گیاه به دلیل کمبود آب در برگ ها است. انعکاس طیفی برگ، استرس گیاه را ابتدا در محدوده ۵۳۵-۶۴۰ و ۶۸۵-۷۰۰ نانومتر در محدوده مرئی نشان می دهد. افزایش انعکاس نزدیک ۷۰۰ نانومتر اتفاق می افتد که اغلب جا به جایی لبه قرمز به آبی (Blue shift of the edge red) گفته می شود. جابه جایی به سمت طول موج های کوتاه تر در محدوده ۶۵۰-۷۰۰ نانومتر مشهود است. برای تشخیص استرس گیاه، استفاده از باندهای باریک در حد ۱۰ نانومتر مناسب است.

**تعامل انرژی مادون قرمز با سلول های اسفنجی مزوفیل :**

در یک برگ سبز سالم، انعکاس مادون قرمز در محدوده ۱,۲-۰,۷ میکرون افزایش می یابد. گیاه سالم انرژی مرئی در محدوده قرمز و آبی را برای عمل فتوسنتز جذب می کند. اگر گیاهان انرژی مادون قرمز را نیز مانند انرژی مرئی جذب کنند، آنگاه خیلی گرم می شوند و ماهیت پروتئین عوض می شود؟! بنابر این آن را انعکاس یا عبور می دهند. لایه اسفنجی مزوفیل مقدار انرژی مادون قرمز منعکس شونده را کنترل می کند. این لایه در زیر لایه پرچینی مزوفیل قرار دارد و ترکیبی از سلول ها و ذرات هوای بین سلولی است. تبدیل و تغییر اکسیژن و دی اکسید کربن برای فتوسنتز و تنفس در اینجا اتفاق می افتد. در محدوده مادون قرمز نزدیک، گیاهان سبز سالم با انعکاس بالا(۶۰-۴۰ درصد) و عبور بالا(۶۰-۴۰ درصد) مشخص می شود و جذب کمی(۱۰-۵ درصد) دارند. انعکاس بالای مادون قرمز (۱,۲-۰,۷ میکرون) از برگها به دلیل پراکنش داخلی در دیواره های هوا بین سلول ها در داخل برگ است. یک باند جذب بخار آب در محدوده ۰,۹۸-۰,۹۲ وجود دارد. در نتیجه محدوده طیفی بهینه برای سنجش از دور در محدوده مادون قرمز نزدیک، محدوده ۰,۹-۰,۷۴ میکرون است.

دلیل اصلی اینکه تاج پوشش گیاهی سالم در مادون قرمز نزدیک انرژی زیادی منعکس می کند : ۱- برگها حدود ۶۰-۴۰ درصد از انرژی مادون قرمز میانی را از طریق مزوفیل های اسفنجی منعکس می کنند. ۲- ۵۰-۴۵ درصد باقیمانده از برگ ها عبور می کند و می تواند دوباره بوسیله برگهای زیر منعکس شود. این پدیده انعکاس افزایشی یا اضافی برگ(Leaf additive reflectance) نامیده می شود. انعکاس مادون قرمز نزدیک در یک تاج پوشش بالغ و پرپشت به دلیل عبور و انعکاس چند باره از سطح برگها، بیشتر از انعکاس آن از تاج پوشش پراکنده است. تغییر در ویژگی های طیفی مادون قرمز در گیاهان می تواند اطلاعاتی درباره پیری یا استرس گیاه داشته باشد.

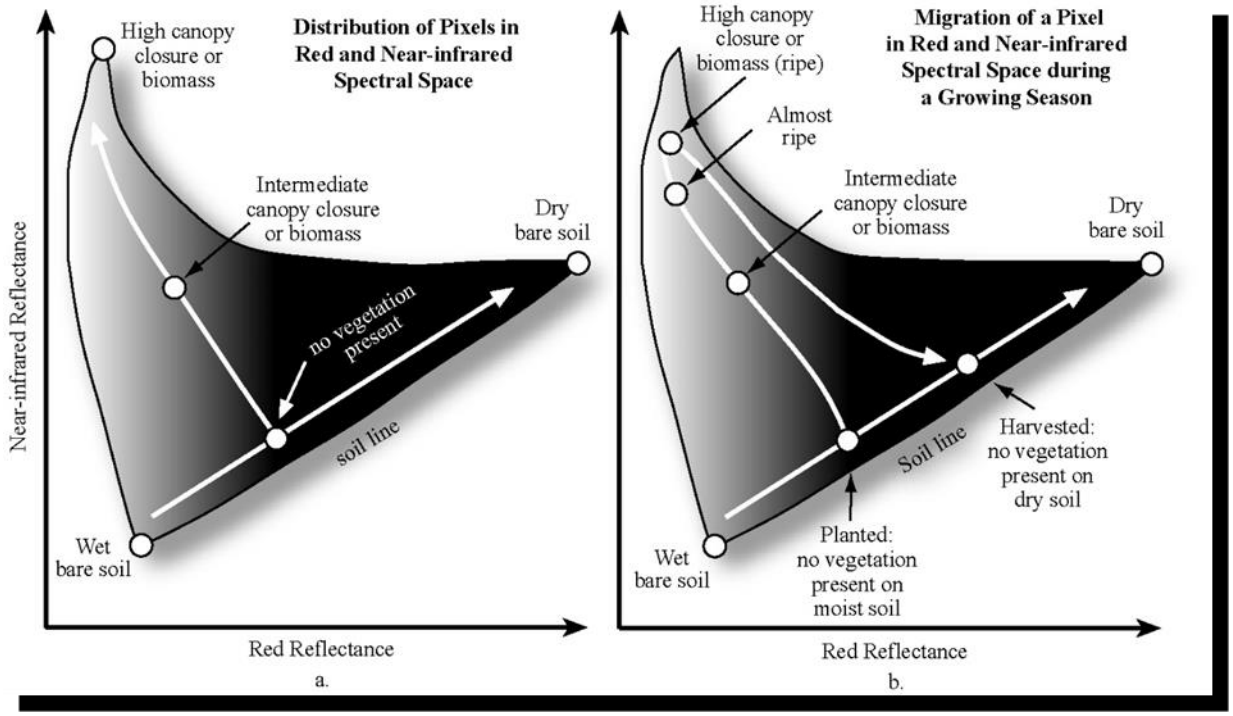


به طور کلی فتوسنتز گیاه سبز، جذب قوی کلروفیل در محدوده آبی و قرمز و افزایش قابل توجه انعکاس در محدوده سبز و تقریبا ۰,۷۶ درصد انعکاس در محدوده مادون قرمز نزدیک را نشان می دهد. انعکاس مادون قرمز نزدیک در برگ های پژمرده و پیر کاهش می یابد. اما اگر برگ درخت خشک شود باید انتظار داشت که انعکاس در محدوده مادون قرمز نزدیک افزایش یابد.

بین اندازه گیری های مختلف بیومس و رفتار طیفی در محدوده مادون قرمز نزدیک رابطه مستقیم وجود دارد. در حالی که بین بیومس و انعکاس در محدوده مرئی بویژه قرمز، رابطه معکوس وجود دارد.

**خط خاک** : از پلات کردن باند قرمز و مادون قرمز نزدیک حاصل می شود. خطی که در این پلات خاک خشک را به خاک مرطوب وصل می کند. - خاک لخت مرطوب(Wet bare soil) هم در محدوده قرمز و هم در محدوده مادون قرمز نزدیک انعکاس خیلی کمی دارد. - خاک لخت خشک (Dry bare soil) هم در محدوده قرمز و هم در محدوده مادون قرمز نزدیک انعکاس زیادی دارد. - تاج پوشش گیاهی بالغ در محدوده مادون قرمز نزدیک انعکاس زیاد ولی در محدوده قرمز انعکاس کمی دارد و آن را جذب می کند. این سبب می شود که انعکاس طیفی پیکسل مربوط به تاج پوشش در جهت عمود بر خط خاک از آن دور شود. هر چه میزان بیومس افزایش یابد و پوشش تاج گیاهی بیشتر شود، موقعیت آن در فضای دو بعدی قرمز و مادون قرمز، از خط خاک دورتر می شود (شکل زیر- a).

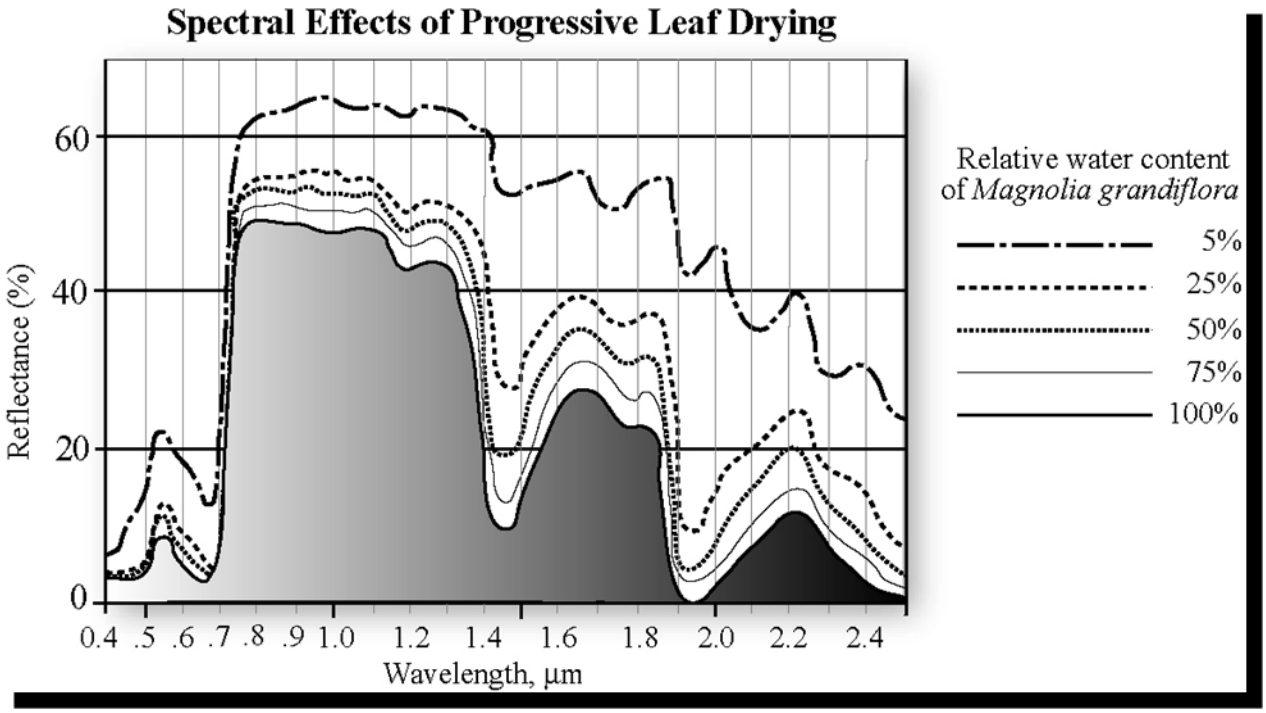
**رفتار طیفی پیکسل مربوط به زمین کشاورزی در طول دوره رشد** (شکل b) : در شروع فصل رشد در محدوده خاک لخت نمناک (moist bare soil) قرار می گیرد که دارای انعکاس کم در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک است. بعد از ظاهر شدن محصول (جوانه زدن)، از خط خاک دور شده تا در نهایت به تاج پوشش کامل نزدیک می شود. در این مرحله انعکاس مادون قرمز نزدیک زیاد و انعکاس قرمز کم می شود. بعد از درو کردن محصول رفتار طیفی پیکسل ممکن است دوباره به خط خاک برسد اما شاید در شرایط خشک تر. از رابطه بین انعکاس تاج پوشش در محدوده های قرمز و مادون قرمز نزدیک برای توسعه شاخص های گیاهی و تکنیک های تخمین میزان بیومس استفاده می شود.




**تعامل انرژی مادون قرمز میانی با آب در مزوفیل اسفنجی :**

- بیشتر آب گیاه (برگ) در قسمت مزوفیل اسفنجی آن قرار دارد. بخش های مادون قرمز میانی، مادون قرمز حرارتی و مایکروویو غیرفعال طیف الکترومغناطیس می تواند اطلاعاتی درباره میزان آب گیاه فراهم کند. - آب مایع موجود در اتمسفر ۵ باند جذب عمده در ناحیه مادون قرمز نزدیک و میانی در محدوده های ۰,۹۷ ، ۱,۱۹ ، ۱,۴۵ ، ۱,۹۴ و ۲,۷ میکرون دارد. باند جذب آب در ۲,۷ میکرون دارای بیشترین نوسان در این محدوده است(همچنین یک باند جذب اینچنینی در محدوده مادون قرمز حرارتی در ۶,۲۷ میکرون وجود دارد). به هر حال بین انعکاس در محدوده مادون قرمز میانی از ۲,۵-۱,۳ میکرون و میزان آب موجود در برگ گیاه رابطه ای قوی وجود دارد. - اوج انعکاس گیاه در محدوده مادون قرمز میانی در محدوده های ۱,۶ و ۲,۲ میکرون بین باندهای جذب آب اتمسفر است. آب یک جذب کننده خوب برای انرژی مادون قرمز میانی است. بنابر این گیاهی که آب بیشتری داشته باشد(مملو و آماس (Turgidity)) انعکاس کمتری در این محدوده دارد. برعکس اگر رطوبت برگ کم باشد انعکاس در این محدوده افزایش می یابد. - زمانی که مقدار آب گیاه در فضای هوای بین سلولی کاهش یافت، پراکنش انرژی مادون قرمز میانی در بین دیواره های سلولی شدیدتر می شود، در نتیجه انعکاس از سطح برگ بیشتر می شود. - محدوده های ۱,۸- ۱,۵ و ۲,۳- ۲,۱ میکرون به تغییرات رطوبت گیاه حساس تر است(نسبت به محدوده های مرئی و مادون قرمز نزدیک). - در محدوده مرئی تا زمانی که درصد رطوبت به ۵۰٪ کاهش پیدا

نکرده، انعکاس دچار تغییر نشده است(شکل زیر). - انعکاس برگ در محدوده مادون قرمز میانی با جذب لایه آب در حدود یک میلیمتر عمق رابطه معکوس دارد. بنابر این درجه جذب انرژی مادون قرمز میانی تابعی از میزان کلی آب موجود در برگ و ضخامت برگ است. – بیشتر سیستم های سنجش از دور اپتیکال (به جز رادار) به خاطر وجود باندهای جذب آب اتمسفری در محدوده های ۱,۴۵ ، ۱,۹۴ و ۲,۷ ، در محدوده های ۱,۳- ۰,۳ ، ۱,۸- ۱,۵ ، و ۲,۶- ۲ میکرون تصویر برداری می کنند.




## شاخص های گیاهی

یک شاخص گیاهی باید : ۱- بیشترین حساسیت را به پارامترهای بیوفیزیکی گیاه داشته باشد. ۲- اثرات خارجی مانند درجه تابش خورشید(زاویه خورشی)، زاویه دید و شرایط اتمسفری را برای سازگار شدن جهت مقایسه های زمانی و مکانی، مدل و نرمال کند. ۳- اثرات داخلی مانند تغییرات پس زمینه تاج پوشش شامل توپوگرافی(شیب و جهت)، تغییرات خاک و تفاوت های گیاهان ثانویه یا چوبی(اجزائی که عمل فتوسنتز انجام نمی دهند) را نرمال کند. ۴- با برخی پارامترهای بیوفیزیکی قابل اندازه گیری مانند بیومس، شاخص سطح برگ(LAL) و Apra (تابش جذب شده با فتوسنتز) قابل تطبیق باشد تا بتوان اعتبار و کیفیت آن را کنترل کرد.

بیشتر شاخص های گیاهی از رابطه معکوس بین انعکاس در ناحیه مادون قرمز نزدیک و ناحیه قرمز مربوط به گیاهان سبز سالم استفاده می کنند.

**Simple ratio (SR) نسبت گیری طیفی ساده**: نسبت انعکاس در باند قرمز به انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک

$$SR = \frac{red}{Nir}$$

**NDVI شاخص نرمال شده کسر پوشش گیاهی**

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$$

NDVI تقریبا معادل SR است، با این تفاوت که در SR، خاک و پوشش گیاهی (VS) پراکنش ندارند. در واقع NDVI تبدیلی غیر خطی از SR است.

**مزایا** NDVI : ۱- کاهش نسبی بسیاری از اشکال نویزها(اختلاف روشنایی خورشید، سایه ابر، برخی اثرات تضعیف اتمسفری و برخی متغیرهای توپوگرافی) که در تصاویر چند باندی مربوط به زمان های مختلف وجود دارد. ۲- تغییرات فصلی رشد و فعالیت گیاه را می توان پایش نمود.

**معایب** : ۱- به این خاطر که غیر خطی است می تواند تحت تاثیر نویزهای اضافه شونده مانند رادیانس مسیر اتمسفری قرار گیرد. ۲- مشکل مقیاس گذاری به خاطر سیگنال های اشباع شده. در شرایطی که حجم بیومس زیاد باشد، این شاخص اشباع می شود و نمی تواند بین پوشش های با حجم مختلف تفاوت قائل شود. عکس این قضیه برای SR صادق است. یعنی در هیستوگرام SR قسمت هایی که دارای پوشش گیاهی کم و تنک است، فشرده نشان داده می شود(در حالی که در هیستوگرام NDVI قسمت های با پوشش گیاهی حجیم فشرده می شود). ۳- این شاخص به تغییرات پس زمینه تاج پوشش (خاک پس زمینه) خیلی حساس است. مقدار NDVI بویژه در پس زمینه های تاریک بالا است.

**Transformed Vegetation Index (TVI) شاخص گیاهی تبدیل شده**: جهت ممانعت از مقادیر منفی، عدد ۰,۵ به NDVI اضافه می شود و برای تثبیت کردن واریانس، از آن جذر گرفته می شود.

$$TVI = \sqrt{NDVI + 0.5}$$

**Kauth-Thomas Tasseled Cap Transformation تبدیل کلاه منگوله دار کوت- توماس**: تبدیل قطری فضای داده های MSS به یک فضای چهار بعدی جدید. با این تبدیل چهار محور جدید ایجاد می شود. این چهار محور عبارتند از : ۱- Soil Brightness Index (B) : شاخص روشنایی خاک. ۲- Greenness Vegetation Index (G) : شاخص سبزینگی پوشش گیاهی. ۳- Yellow Stuff Index (Y) : شاخص ماده زرد. ۴- non- such (N) . این شاخص ها از روابط روبه رو محاسبه می شود.

$$B = 0.332\,MSS1 + 0.603\,MSS2 + 0.675\,MSS3 + 0.262\,MSS4 \quad (8\text{-}70)$$

$$G = -0.283\,MSS1 - 0.660\,MSS2 + 0.577\,MSS3 + 0.388\,MSS4 \quad (8\text{-}71)$$

$$Y = -0.899\,MSS1 + 0.428\,MSS2 + 0.076\,MSS3 - 0.041\,MSS4 \quad (8\text{-}72)$$

$$N = -0.016\,MSS1 + 0.131\,MSS2 - 0.452\,MSS3 + 0.882\,MSS4\,. \quad (8\text{-}73)$$

همچنین فرمول ها و ضرایبی برای استخراج شاخص های روشنایی، سبزینگی و رطوبت یا نمناکی(Wetness) از باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و میانی TM توسعه داده شده است. نواحی شهری در شاخص روشنایی، روشن تر و نمایان تر دیده می شوند. – شاخص یا کلاه منگوله دار چهارم نیز (در تصاویر TM) مه آلودی (Haze) را نشان می دهد. – تبدیل کلاه منگوله دار یک شاخص جهانی است که در همه جا می تواند استفاده شود. اگر چه بهتر است ضرایب با توجه به شرایط محیطی محاسبه شود.

$$B = 0.2909\,TM1 + 0.2493\,TM2 + 0.4806\,TM3 + 0.5568\,TM4 + 0.4438\,TM5 + 0.1706\,TM7$$

$$G = -0.2728\,TM1 - 0.2174\,TM2 - 0.5508\,TM3 + 0.7221\,TM4 + 0.0733\,TM5 - 0.1648\,TM7$$

$$W = 0.1446\,TM1 + 0.1761\,TM2 + 0.3322\,TM3 + 0.3396\,TM4 - 0.6210\,TM5 - 0.4186\,TM7\,.$$

**Infrared Index (II) شاخص مادون قرمز**:

$$II = \frac{NIR_{TM\,4} - MIR_{TM\,5}}{NIR_{TM\,4} + MIR_{TM\,5}}$$

این شاخص به بیومس گیاه و استرس آبی در مقایسه با NDVI حساس تر است.

**Perpendicular Vegetation Index (PVI) شاخص گیاهی عمودی**: این شاخص از فاصله عمودی به خط خاک به عنوان شاخصی از رشد گیاه استفاده می کند. خط خاک به عنوان یک قیاس یا نظیر دو بعدی از شاخص روشنایی خاک (Kauth-Tomas) با استفاده از رگرسیون خطی برآورد می شود. این شاخص بر اساس باندهای MSS توسعه یافته است.

$$PVI = \sqrt{(0.355MSS4 - 0.149MSS2)^2 + (0.355MSS2 - 0.852MSS4)^2}.$$

**Greenness above bare Soil (GRABS) سبزینگی در بالای خاک لخت:** این شاخص از شاخص سبزینگی و شاخص روشنایی خاک Kauth-Tomas استفاده می کند. این شاخص برای داده های MSS که از نظر Haze و زاویه خورشید تصحیح شده اند به کار می رود. نتیجه این شاخص شبیه شاخص سبزینگی Kauth-Tomas است، نظر به اینکه سهم شاخص روشنایی خاک (B) کمتر از ۱۰٪ از GVI (شاخص سبزینگی) را تشکیل می دهد. به عبارتی شاخص سبزینگی با ضریب ۰٫۰۹ در این شاخص استفاده می شود.

$$GRABS = G - 0.09178B + 5.58959$$

**Moisture Stress Index (MSI) شاخص استرس (کمبود یا فشار) رطوبت:**

$$MSI = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4}}$$

نسبت باند مادون قرمز میانی به مادون قرمز نزدیک.

**Leaf Water Content Index (LWCI) شاخص محتوای آب برگ:**

$$LWCI = \frac{-\log[1-(NIR_{TM4} - MidIR_{TM5})]}{-\log[1-(NIR_{TM4_{ft}} - MidIR_{TM5_{ft}})]},$$

برای ارزیابی استرس آبی در برگ ها توسعه داده شده است. Ft در مخرج کسر برای باندهای مادون قرمز نزدیک و میانی، نشان دهنده انعکاس در این باندها در زمانی است که حد اکثر محتوای آب را دارند. در واقع باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی در این رابطه استفاده می شود و بین این دو باند و حالتی که در این دو باند دارای حداکثر میزان آب نسبی در برگ هه است رابطه ای برقرار می شود.

**MidIR Index شاخص مادون قرمز:** نسبت باند مادون قرمز میانی به مادون قرمز نزدیک. بین این شاخص و رطوبت رابطه ای قوی وجود دارد.

$$MidIR = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM7}}.$$

### Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) شاخص گیاهی تعدیل شده اثر خاک:

تحلیل سری های زمانی NDVI فصلی روشی برای برآورد محصول اولیه هر نوع بیوم فراهم می کند. این کار از طریق پایش الگوی فنولوژی پوشش گیاهی سطح زمین، و تعیین طول فصل رشد و دوره خشکی انجام می شود. تحلیل های مربوط به پوشش گیاهی در ابتدا بر اساس رابطه رگرسیون خطی بین NDVI و اندازه گیری های میدانی مانند LAI و Apar ، درصد پوشش گیاهی یا بیومس بود که این یک رویکرد تجربی می باشد. اما مطالعات نشان داد که محصولات NDVI که به صورت تجربی بدست می آید می تواند تحت تاثیر رنگ خاک و شرایط رطوبت، اثر توزیع انعکاس دو جهتی، شرایط اتمسفری و وجود مواد غیر زنده در تاج پوشش قرار گیرد و نا معتبر باشد. بنابر این باید از سیستم های سنجش از دوری که این اثرات را با استفاده از داده های زمینی کالیبره می کنند استفاده کرد(مانند Modis). همچنین باید شاخص های بهبود یافته تری استفاده شوند. شاخص SAVI یک شاخص گیاهی بهبود یافته است که از یک فاکتور تعدیل کننده اثرات پس زمینه خاک استفاده می کند.

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - red)}{NIR + red + L}$$

L فاکتور تعدیل پس زمینه تاج پوشش است که برای از بین بردن اثر افتراقی قرمز و مادون قرمز از تاج پوشش محاسبه می شود (در واقع انعکاس در ناحیه قرمز و مادون قرمز که از تاج پوشش انعکاس شده و تحت تاثیر پس زمینه بوده، تصحیح می شود). مقدار ۰٫۵ برای L برای حد اقل سازی تغییرات روشنایی خاک و برطرف کردن نیاز به کالیبراسیون اضافی برای خاک های مختلف استفاده می شود. کارآیی SAVI در حد اقل سازی نویز خاک در NDVI در مطالعات مختلف اثبات شده است.

**MSAVI** : SAVI اصلاح شده است که از یک تابع پیوسته و تکراری L برای بهینه کردن تعدیل خاک و افزایش محدوده پویایی SAVI استفاده می کند.

### Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) شاخص گیاهی مقاوم اتمسفری:

این شاخص حساسیت به اثرات اتمسفری را بوسیله نرمال سازی رادیانس در باندهای آبی، قرمز و مادون قرمز نزدیک کاهش می دهد. در این تکنیک لازم است ابتدا پراکنش مولکولی و جذب ازن در باندهای قرمز و آبی و مادون قرمز نزدیک تصحیح شود. ARVI از اختلاف رادیانس بین باندهای آبی و قرمز، برای تصحیح رادیانس در باند قرمز استفاده می کند. بنابر این اثرات اتمسفری کاهش می یابد. به جز مواردی که مدل آئروسل شناخته شده است، گاما($\gamma$) معمولا برابر ۱ در نظر گرفته می شود تا تاثیر اتمسفر حداقل شود.

$$ARVI = \left(\frac{\rho^*_{nir} - \rho^*_{rb}}{\rho^*_{nir} + \rho^*_{rb}}\right)$$

where

$$\rho^*_{rb} = \rho^*_{red} - \gamma(\rho^*_{blue} - \rho^*_{red}) .$$

**Soil and Atmospherically resistant vegetation index (SARVI) شاخص گیاهی مقاوم اتمسفری و خاک:**

این شاخص تابع L از SAVI و باند آبی نرمال شده از ARVI را ادغام می کند. با این کار نویز اتمسفری و خاک تصحیح می شود.

$$SARVI = \frac{\rho^*_{nir} - \rho^*_{rb}}{\rho^*_{nir} + \rho^*_{rb} + L}$$

MSARVI نیز تصحیح شده SARVI است.

$$MSARVI = \frac{2\rho^*_{nir} + 1 - \sqrt{\left[(2\rho^*_{nir} + 1)^2 - \gamma(\rho^*_{nir} - \rho^*_{rb})\right]}}{2}$$

انجام تحلیل حساسیت روی NVVI و شاخص های بهبود یافته (SAVI , ARVI , SARVI , MSARVI) نتایج زیر را نشان داد : - اگر روی تصاویر، تصحیح شده اتمسفری جزئی انجام شده باشد، آنگاه استفاده از SAVI و MSARVI بهترین و استفاده از NDVI و ARVI بدترین حالت است. – اگر روی تصاویر تصحیح اتمسفری جزئی انجام شده باشد (برای حذف پخش ریلی و اجزاء ازن) آنگاه بهترین شاخص های گیاهی SARVI و MSARVI هستند و NDVI و ARVI بدترین آنهاست. – اگر اصلا روی تصاویر تصحیح اتمسفری انجام نشده باشد، SARVI کمی بدتر می شود اما هنوز کمترین نویز را دارد. NDVI و ARVI بیشترین نویز و خطا را دارند.

**Aerosol Free Vegetation Index (AFRI) شاخص گیاهی آزاد (بدون) آئروسل**: در شرایط آسمان صاف باندهای طیفی ۱,۶ و ۲,۱ میکرون همبستگی بالایی با باندهای آبی (۰,۴۶۹)، سبز (۰,۵۵۵)، و قرمز (۰,۶۴۵) نشان داده اند.

$$(P_{0.469} = 0.25*P_{2.1} \;-\; P_{0.555} = 0.33*P_{2.1} \;-\; P_{0.645} = 0.25*P_{1.6})$$

بر اساس این روابط شاخص های $AFRI_{2.1}$ و $AFRI_{1.6}$ توسعه یافته است. در شرایط آسمان صاف این شاخص ها بویژه $AFRI_{2.1}$ شباهت زیادی به NDVI دارند. هرچند اگر ستون اتمسفری حاوی دود یا سولفات باشد، شاخص های AFRI نسبت به NDVI برتری دارد. به این دلیل که انرژی الکترومغناطیس در محدوده ۲,۱ و ۱,۶ میکرون

نسبت به طول موج قرمز، بهتر می تواند در ستون اتمسفر نفوذ کند. بنابر این دو شاخص AFRI در ارزیابی پوشش گیاهی در شرایط دود و مه و آلودگی و خاکستر آتشفشانی کاربرد دارد. ولی در مواردی که ذرات بزرگ تر گرد و خاک (dust) به اندازه طول موج باشد، در محدوده ۲,۱ میکرون شفافیت وجود نخواهد داشت.

$$AFRI_{1.6\mu m} = \frac{(\rho_{nir} - 0.66\rho_{1.6\mu m})}{(\rho_{nir} + 0.66\rho_{1.6\mu m})} \text{ and}$$

$$AFRI_{2.1\mu m} = \frac{(\rho_{nir} - 0.5\rho_{2.1\mu m})}{(\rho_{nir} + 0.5\rho_{2.1\mu m})}.$$

**Enhanced Vegetation Index (EVI) شاخص گیاهی تقویت شده**: این شاخص توط گروه توسعه Modis ارائه شده است. در واقع این شاخص، اصلاح شده NDVI است که از یک فاکتور تعدیل خاک (L) و دو ضریب $C_1$ و $C_2$ (توصیف کننده استفاده از باند آبی برای تصحیح پخش اتمسفری آئروسل در باند قرمز) استفاده می کند. ضرایب $C_1$ ، $C_2$ و L به ترتیب برابر ۶ ، ۷,۵ و ۱ در نظر گرفته می شود. G نیز فاکتور Gain است که ۲,۵ در نظر گرفته می شود.

$$EVI = \frac{p*nir - p*red}{p*nir + C_1 p*red - C_2 p*blue + L}$$

این الگوریتم حساسیت به مناطق با بیومس زیاد را بهبود می بخشد و پایش پوشش گیاهی را از طریق تجزیه سیگنال پس زمینه تاج پوشش و کاهش اثرات اتمسفری، بهبود می بخشد. –این شاخص به بیومس زیاد حساسیت بیشتری دارد. یعنی مانند NDVI اشباع نمی شود و بین مناطقی که بیومس زیادی دارند (بیومس متفاوت از نظر مقدار) تمایز قائل می شود.

**Triangular vegetation index (TVI) شاخص گیاهی مثلثی یا سه گوش**: این شاخص انرژی تابشی جذب شده بوسیله رنگدانه ها را به عنوان تابعی از تفاوت نسبی بین انعکاس قرمز و مادون قرمز نزدیک در ارتباط با انعکاس زیاد در محدوه سبز (جایی که جذب نور توسط کلروفیل نوع a و b ناچیز می شود)، توصیف می کند. این شاخص به عنوان مساحت مثلث (تعریف شده بوسیله پیک سبز، حداقل جذب کلروفیل در ناحیه قرمز و شانه مادون قرمز نزدیک) در فضای طیفی محاسبه می شود. بر اساس این واقعیت بنا شده است که جذب کلروفیل با کاهش انعکاس قرمز و فراوانی بافت برگ با افزایش انعکاس مادون قرمز نزدیک، مساحت کلی مثلث را افزایش خواهد داد.

$$TVI = 0.5(120(\rho_{nir} - \rho_{green})) - 200(\rho_{red} - \rho_{green})$$

**Reduced Simple Ratio (RSR)** : این شاخص اصلاح شده نسبت گیری ساده است و برای استخراج اطلاعات از باند مادون قرمز موج کوتاه در سنجنده پوشش گیاهی Spot توسعه داده شده است. در این شاخص از min و max انعکاس مادون قرمز کوتاه(swir) استفاده می شود. مزیت عمده این شاخص نسبت به نسبت گیری ساده این است که تفاوت بین انواع پوشش زمین کاهش یافته است، بنابر این صحت شاخص سطح برگ بازیابی برای پوشش های ترکیبی می تواند بهبود یابد یا اینکه می توان یک الگوریتم LAI بدون نیاز به رجیستر کردن نقشه های پوشش زمین توسعه داد. همچنین تاثیر پس زمینه بی اثر می شود. به این دلیل که باند مادون قرمز کوتاه به مقدار پوشش گیاهی که در بر دارنده آب مایع در پس زمینه است، حساس تر است.

$$RSR = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}}\left(1 - \frac{\rho_{swir} - \rho_{swirmin}}{\rho_{swirmax} + \rho_{swirmin}}\right)$$

**Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (CARI)** :

**Transformed CARI (TCARI)** : از باندهای مربوط به حداقل جذب رنگدانه ها به مرکز ۰,۵۵ و ۰,۷ میکرون در ارتباط با باند حداکثر جذب کلروفیل نوع a در حدود ۰,۶۷ میکرون استفاده می کند. انتخاب ۰,۷ میکرون به خاطر این است که مرز بین ناحیه ای است که انعکاس گیاه بوسیله جذب رنگدانه ای کنترل می شود و شروع لبه قرمز که ویژگی های ساختاری گیاه روی انعکاس تاثیر بیشتری دارد.

$$TCARI = 3\left[(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2(\rho_{700} - \rho_{550})\left(\frac{\rho_{700}}{\rho_{670}}\right)\right]$$

TCARI هنوز به ویژگی های خاک زیر پوشش حساس است، بویژه برای گیاهان با LAI پایین. بنابراین، این شاخص با شاخص های گیاهی خط خاک مانند OSAVI (شاخص گیاهی تعدیل خاک بهینه شده) ترکیب می شود که با محتوای کلروفیل پوشش گیاهی همبستگی زیادی دارد.

$$OSAVI = \frac{(1 + 0.16)(\rho_{800} - \rho_{670})}{(\rho_{800} + \rho_{670} + 0.16)}$$

The ratio became:

$$\frac{TCARI}{OSAVI}$$

**Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) شاخص مقاوم اتمسفری مرئی** : به تاثیرات اتمسفر حساسیت کمی (حداقل) دارد. امکان برآورد کسر پوشش گیاهی را با خطای کمتر از ۱۰٪ در محدوده اپتیکی با تضعیف اتمسفری فراهم می کند.

$$\mathrm{VARI}_{green} = \frac{\rho_{green} - \rho_{red}}{\rho_{green} + \rho_{red} - \rho_{blue}}.$$

**Normalized Difference Built-up Index (NDBI) شاخص نرمال شده اختلاف مسکونی (نواحی ساخته شده** : در این شاخص از باندها مادون قرمز نزدیک و میانی استفاده می شود و برای نواحی ساخته شده شهری مناسب است. نتیجه NDBI – NDVI : فقط ارزش پیکسل های مربوط به نواحی ساخته شده و زمین های بایر، مثبت است. در حالی که ارزش پیکسلهای مربوط به سایر پوشش ها صفر یا منفی است. صحت این الگوریتم ۹۲٪ ارزیابی شده است.

$$\mathrm{NDBI} = \frac{MidIR_{TM5} - NIR_{TM4}}{MidIR_{TM5} + NIR_{TM4}}$$

$$\text{Built-up}_{area} = NDBI - NDVI$$

**New Vegetation Index (NVI)** : باندهای مادون قرمز نزدیک TM ، AVHRR و LISS به ترتیب در محدوده های ۸۶۰-۷۷۰ نانومتر ، ۹۰۰-۷۶۰ ، و ۱۱۰۰-۷۲۵ نانومتر قرار دارد. متاسفانه باندهای جذب بخار آب نیز در این محدوده از مادون قرمز نزدیک قرار دارند. بنابر این برای بهبود توانایی NDVI در پایش بیومس، (گاپتا و همکاران) با توسعه NVI باندهای جذب بخار آب را حذف کردند. اعداد مورد نظر، انعکاس در مرکز باندهای ۷۴۷ ، ۷۷۷ و ۶۷۳ با عرض باند ۱۰-۳ نانومتر است(داده های فراطیفی).

$$\mathrm{NVI} = \frac{\rho_{777} - \rho_{747}}{\rho_{673}}$$

نکته : NDVI و شاخص های گیاهی دیگر که از تصاویر ماهواره ای استخراج می شوند، اطلاعات مربوط به توزیع پوشش گیاهی را ارائه می کنند. شاخص هایی نظیر LAI (شاخص سطح برگ)، بیومس و APRA (تابش فعال جذب شده توسط فتوسنتز) که به صورت میدانی براداشت می شود، اطلاعات بیوفیزیکی را ارائه می دهند. درصد تاج پوشش (percent canopy closure) اطلاعاتی درباره ویژگی های ساختاری گیاهان ارائه می دهد.

## Texture Transformation تبدیل بافت :

یک عارضه تونال (Tonal) گسسته، مجموعه ای از پیکسل های به هم پیوسته است که همه آنها دارای سایه خاکستری یکسان یا تقریبا یکسان هستند. وقتی یک ناحیه کوچک از تصویر، تغییرات کمی در عوارض تونال گسسته دارد، ویژگی بارز آن ناحیه، gray shade بودن(سایه خاکستری) آن است. برعکس وقتی یک ناحیه کوچک از تصویر تغییرات زیادی از نظر عوارض تونال گسسته دارد، ویژگی برجسته آن ناحیه Texture (بافت) است. معمولا در طبقه بندی تصاویر، از تصویر بافت تصویر اولیه نیز به عنوان یک باند جدید در طبقه بندی استفاده می کنند.

**روش های طبقه بندی خودکار Texture (روش های استخراج اطلاعات بافت)** :

1- First-and second- order gray level statistic  2- Fourier power spectrum  3- Fractals

**First- order statistics in spatial domain (روش های آماری مرتبه یا درجه اول)** : هر نوع ویژگی تصویر که بتواند برای تلفیق و ترکیب Texture استفاده شود جزء روشهای آماری درجه اول است. مانند میانگین، واریانس، انحراف معیار و آنتروپی. این آماره ها برای پنجره های n*n محاسبه می شود. به طور مثال در تصویر بافت مربوط به انحراف معیار، پیکسل های روشن تر، ناهمگنی بیشتری(بافت زبرتر) در پنجره مورد نظر دارند. مطالعات نشان داده است که استفاده از اطلاعات بافت به همراه اطلاعات طیفی در طبقه بندی تصویر، دقت و تفکیک پذیری طبقه بندی را افزایش می دهد. همچنین هر چه پنجره بزرگ تر باشد، تفکیک پذیری بیشتر می شود. – در Texture واریانس، اگر واریانس کمتر از حد آستانه تعیین شده باشد، نشان دهنده همگن بودن بافت در محدوده مورد نظر است. اما اگر واریانس بیشتر از آستانه تعیین شده باشد، نشان دهنده ناهمگنی آن است.

**Min-max Texture operator عملگر بافت حد اکثر – حد اقل** : این عملگر از اطلاعات خود پیکسل و چهار پیکسل همسایه آن استفاده می کند. به صورتی که اختلاف بین روشن ترین و تارک ترین پیکسل جایگزین پیکسل مرکزی (C) می شود.

$$\begin{array}{ccc} & A & \\ B & C & D \\ & E & \end{array} \qquad texture_C = brightest_{A,B,C,D,E} - darkest_{A,B,C,D,E}.$$

مطالعه ای نشان داد که استفاده از این عملگر به همراه NDVI اطلاعات دقیق و صحیحی از تغییرات فصلی و ناهمگنی پوشش گیاهی از نوع علف بلند فراهم می کند.

**Second- order statistics in spatial domain (روش های آماری درجه دوم) :** اندازه گیری های مجموعه بافت های درجات بالاتر (بیشتر از یک) بر اساس درجه روشنایی ماتریس های همزمان سطوح خاکستری ( gray-level co-occurrence matrices (GLCM) انجام می شود. در این نوع Texture ها احتمال اینکه دو درجه روشنایی مشخص کنار هم قرار بگیرند، محاسبه می شود (به طور مثال اینکه قبل از یک پیکسل با درجه روشنایی ۲ ، یک پیکسل با درجه روشنایی ۱ قرار بگیرد). به این ترتیب یک ماتریس از تمام درجات روشنایی ایجاد می شود که با توجه به آن احتمال کنار هم قرار گرفتن درجات روشنایی مختلف محاسبه می شود. ماتریس $h_c$ احتمال قرار گرفتن پیکسل های مختلف را در کنار هم نشان می دهد(ماتریس اولیه تنها دارای ۳ درجه روشنایی می باشد). به عنوان مثال صفر دو بار قبل از ۱ قرار گرفته است.

Original image =

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 0 | 0 | 2 | 3 | 3 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 3 | 3 | 2 |

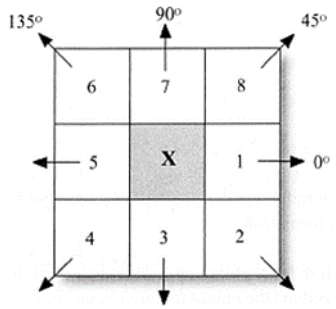
$h_c =$

| | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 3 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 3 | 5 |
| 3 | 0 | 0 | 2 | 2 |

برای استخراج اطلاعات بافت از این ماتریس جدید، روش های اندازه گیری متنوعی پیشنهاد شده است. پنج مورد که بیشتر استفاده می شوند عبارتند از:

Angular second moment (ASM) ، کنتراست، همبستگی، آنتروپی و همگنی (homogeneity).

برای محاسبه ارزش بافت پیکسل مرکز پنجره ۳*۳ ، درجه روشنایی ۴ پیکسل واقع در زوایای صفر، ۴۵ ، ۹۰ و ۱۳۵ درجه، میانگین گیری می شود(شکل زیر).




برای استفاده از یک Texture از نوع GLCM ، تعیین موارد زیر لازم است.

۱-روش اندازه گیری بافت(واریانس، همبستگی و ...)، ۲- اندازه پنجره ۳- باندهای طیفی ورودی ۴- سطح کوانتیزه (6bit , 8bit , ...) ۵- مولفه مکانی(فاصله یا زاویه مورد استفاده برای محاسبات).

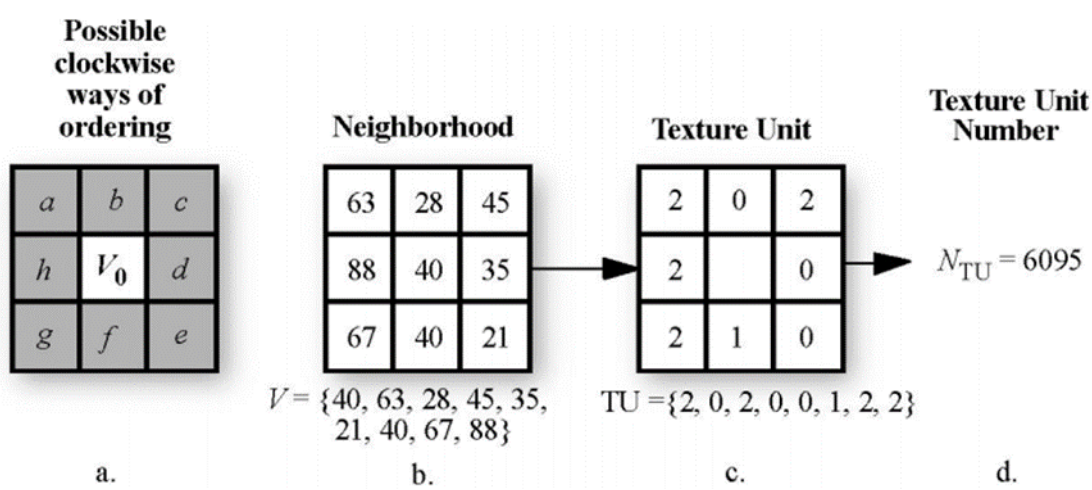
مطالعات نشان داده است که استفاده از اطلاعات بافت در طبقه بندی نظارت شده نتایج را بهبود می بخشد. – روش های ASM ، کنتراست و همبستگی، اطلاعات بافتی ارزشمندتری نسبت به روش های آماری درجه اول فراهم می کند.- استفاده از اطلاعات بافت، تفکیک پذیری در کلاس های هتروژن (ترکیبی و ناهمگن) را بهبود می بخشد.

**واحدهای بافت به عنوان جزئی از طیف بافت** : در یک پنجره ۳*۳ برای محاسبه مقدار بافت پیکسل مرکزی از اطلاعات مربوط به ۸ جهت ممکن (۸ پیکسل اطراف) استفاده می شود. به این صورت که پیکسل های اطراف : اگر برابر با مقدار پیکسل مرکزی باشند، ارزش ۱ ، اگر کوچکتر باشند، ارزش صفر و اگر بزرگ تر باشند ارزش ۲ می گیرند (شکل زیر: Texture unit).

$$N_{TU} = \sum_{i=1}^{8} 3^{i-1} E_i$$

سپس با استفاده از فرمول زیر واحد بافتی آن پیکسل تعیین می شود. $E_i = 0,1,2$ $I = 1,2,\ldots,8$

با استفاده از این فرمول یک عدد بدست می آید که به آن عدد واحد بافت (Texture unit number) گفته می شود و بین ۰-۶۵۶۰ قرار می گیرد. فراوانی وقوع همه اعداد واحد بافت پیکسل ها در کل تصویر، طیف بافت (Texture Spectrum) گفته می شود که می توان آن را با یک گراف نشان داد.



الگوریتم های مختلفی وجود دارد که به استخراج اطلاعات بافت از طیف بافت می پردازند. مانند روش های تقارن سیاه- سفید (black-white symmetry)، تقارن هندسی و درجه جهت. – روش تقارن هندسی بین صفر تا ۱۰۰ نرمال می شود و تقارن پیکسل های رو به رو را در پنجره ۳*۳ اندازه می گیرد. این الگوریتم اطلاعاتی درباره منظم یا نا منظم بودن شکل تصاویر فراهم می کند. مقادیر بالا به این معنی است که طیف بافت حتی اگر تصویر ۱۸۰ درجه چرخانده شود، همانطور باقی می ماند. روش درجه جهت اطلاعاتی درباره ویژگی های جهت در تصاویر فراهم می کند.

## ابعاد فرکتال به عنوان شاخصی از پیچیدگی پدیده ها یا بافت

بر اساس هندسه اقلیدسی بعد یک منحنی یا خط برابر با ۱ ، بعد صفحه برابر با ۲ و بعد مکعب برابر با ۳ می باشد(ابعاد توپولوژیکی). اما پدیده های جهان واقعی معمولا پیچیده تر از این اشکال هستند. بر اساس مفهوم ابعاد فرکتال بعد یک خط پیچیده می تواند بین بعد توپولوژیکی ۱ و بعد اقلیدسی ۲ قرار بگیرد. همچنین یک سطح پیچیده (سطح دامنه و کوه و یا درجات روشنایی مربوط به تصویر) می تواند دارای بعد فرکتال بین ۲ و ۳ باشد. ابعاد فرکتال(mandelbrot) بر اساس مفهوم خودشباهتی بنا شده اند. یعنی اینکه یک خط یا سطح از کپی های خودش تشکیل شده است که سطوح جزئیات بیشتری را در مقیاس بزرگتر نشان می دهد. فرکتال ها از خود شباهتی برای تعریف و تبیین بعد پدیده ها استفاده می کنند.

D = بعد عارضه. D را می توان با استفاده از یک رگرسیون خطی بدست آورد. اگر B را شیب رگرسیون در نظر بگیریم :

برای خط $D = 1-B$ و برای سطح $D = 2 - B$

-بعد فرکتال سطح می تواند با استفاده از واریوگرام محاسبه شود. – همچنین با استفاده از روش جعبه یا سلول بدست می آید.

- خطوط با بعد فرکتال بین ۱,۱ تا ۱,۳ اغلب خیلی شبیه سطوح توپوگرافی واقعی اند.

در مطالعه ای ابعاد فرکتال چشم اندازهای مختلف با استفاده از تصاویر TM محاسبه شد. بعد فرکتال برای چشم اندازهای شهری برابر با ۲,۶۰۹ ، برای نواحی ساحلی برابر با ۲,۵۹۷ و برای نواحی روستایی برابر با ۲,۵۳۹ بدست آمد(میانگین).

ابعاد فرکتال در همسایگی های کوچک می تواند به عنوان اطلاعات بافت یا شاخص پیچیدگی مفید باشد.

از واریوگرام ها نیز برای استخراج اطلاعات بافت استفاده می شود.