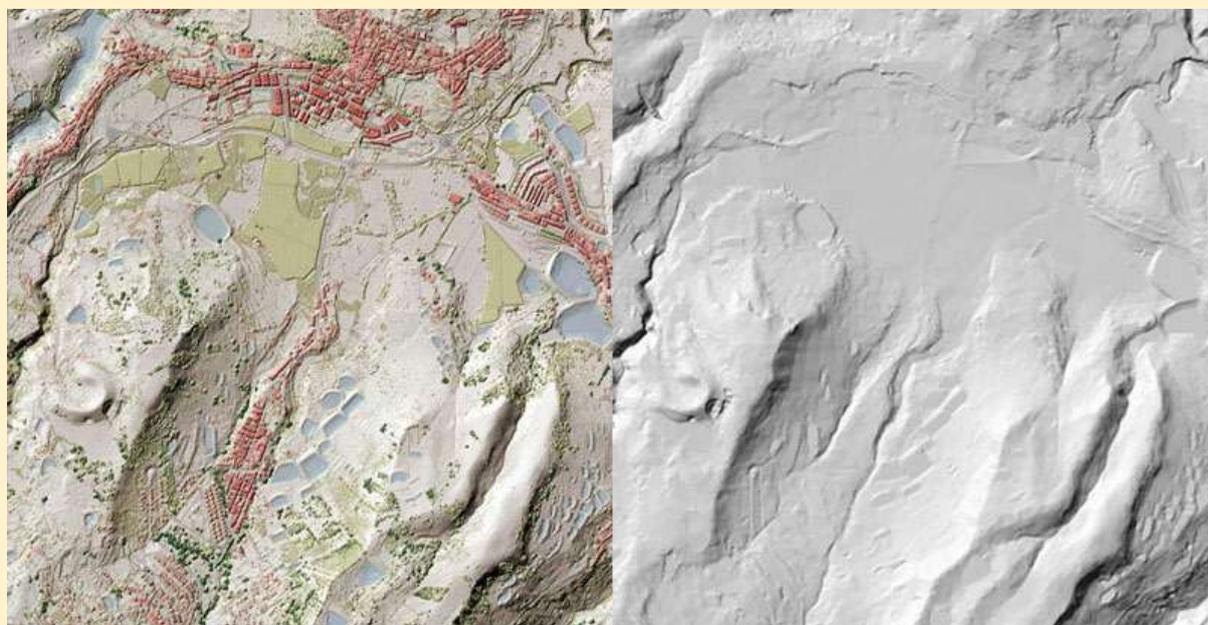


مرکز آموزش علمی - کاربردی شرکت آرمان سوله اردبیل

# مدل رقومی زمین DTM



**مدرس: دکتر ایمانی**

1399

|    |       |   |           |
|----|-------|---|-----------|
| ۸  | ..... | مقدمه   | ۱         |
| ۹  | ..... | اجزاء DTM   | ۱-۱       |
| ۹  | ..... | اصطلاحات  | ۲-۱       |
| ۱۰ | ..... | کاربرد های DTM در علوم مختلف                                  | ۳-۱       |
| ۱۱ | ..... | کاربرد DTM در تهیه Orthophoto                                 | ۱-۳-۱     |
| ۱۲ | ..... | کاربرد DTM در پروژه های راهسازی                               | ۲-۳-۱     |
| ۱۲ | ..... | کاربرد DTM در سد سازی   | ۳-۳-۱     |
| ۱۴ | ..... | کاربرد DTM در باستان شناسی                                    | ۴-۳-۱     |
| ۱۵ | ..... | کاربرد DTM در تعیین میدانهای دید                              | ۵-۳-۱     |
| ۱۷ | ..... | کاربرد DTM در طراحی خطوط لوله انتقال آب                       | ۶-۳-۱     |
| ۱۹ | ..... | پیشگویی سیل ناشی از خرابی سد THA DAN در تایلند                | ۷-۳-۱     |
| ۲۱ | ..... | طراحی شبکه ایستگاه های موبایل                                 | ۸-۳-۱     |
| ۲۲ | ..... | تولید موزائیک با استفاده از DTM و عکسهای هوایی در اندازه کوچک | ۹-۳-۱     |
| ۲۳ | ..... | مدیریت موازنه آب و خاک  | ۱۰-۳-۱    |
| ۲۵ | ..... | نقشه های راهنمای گردشگری                                      | ۱۱-۳-۱    |
| ۲۶ | ..... | شیبه سازی مسیر پرواز  | ۱۲-۳-۱    |
| ۲۷ | ..... | GIS   | 1-3-13    |
| ۲۸ | ..... | مباحث مطرح  | ۴-۱       |
| ۲۸ | ..... | ساختار کتاب   | ۵-۱       |
| ۲۹ | ..... | تولید DTM   | ۲         |
| ۲۹ | ..... | مقدمه:  | ۱-۲       |
| ۲۹ | ..... | نمونه برداری  | ۲-۲       |
| ۲۹ | ..... | پارامترهای موثر در انتخاب الگوی مناسب برای نمونه برداری       | ۱-۲-۲     |
| ۲۹ | ..... | تقسیم بندی روش های نمونه برداری از نظر میزان اتوماسیون        | ۲-۲-۲     |
| ۳۱ | ..... | الگوهای نمونه برداری  | ۳-۲-۲     |
| ۳۱ | ..... | روش انتخابی یا تصادفی (Random or selective)                   | ۱-۳-۲-۲   |
| ۳۱ | ..... | روش سیستماتیک (systematic)                                    | 2-2-3-2   |
| ۳۲ | ..... | روش تدریجی (Progressive)                                      | ۳-۳-۲-۲   |
| ۳۲ | ..... | روش ترکیبی (Composite)  | 2-2-3-4   |
| ۳۲ | ..... | تهیه مدل DTM (Model Construction)                             | ۳-۲       |
| ۳۲ | ..... | مقدمه   | ۱-۳-۲     |
| ۳۳ | ..... | روش های تشکیل سطح   | 2-3-2     |
| ۳۳ | ..... | شبکه های منظم   | ۱-۲-۳-۲   |
| ۳۳ | ..... | مثلث بندی   | 2-3-2-2   |
| ۳۳ | ..... | روش Delauney  | ۱-۲-۲-۳-۲ |

|    |  |             |
|----|--|-------------|
| ۳۵ | ..... Radial Sweep روش   | 2-3-2-2-2   |
| ۳۶ | ..... Greedy روش   | ۳-۲-۲-۳-۲   |
| ۳۷ | ..... روش های انترپولاسیون                                       | ۳-۳-۲       |
| ۳۷ | ..... Global روش های   | 2-3-3-1     |
| ۴۰ | ..... Local روش های  | 2-3-3-2     |
| ۴۱ | ..... TIN ساختار بر مبنی   | 2-3-3-2-1   |
| ۴۲ | ..... Grid ساختار بر مبنی  | ۲-۲-۳-۳-۲   |
| ۴۴ | ..... منابع و روشهای جمع آوری داده                               | ۳           |
| ۴۴ | ..... مقدمه  | ۱-۳         |
| ۴۴ | ..... DTM تهیه برای مورد نیاز                                    | 3-1-1       |
| ۴۴ | ..... پارامترهای موثر در انتخاب روش مناسب                        | 3-1-2       |
| ۴۴ | ..... نقشه برداری  | ۲-۳         |
| ۴۵ | ..... فتوگرامتری   | ۳-۳         |
| ۴۵ | ..... Stereo Matching  | 3-3-1       |
| ۴۷ | ..... تولید مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از فتوگرامتری رقومی     | ۲-۳-۳       |
| ۴۷ | ..... Laser Scanning   | 3-4         |
| ۴۷ | ..... مفاهیم اولیه و روش کار دستگاه های لیزر                     | ۱-۴-۳       |
| ۴۸ | ..... دقت لیزر اسکنرها و عوامل تأثیرگذار                         | ۲-۴-۳       |
| ۴۹ | ..... لیزر اسکنرهای هوایی  | ۳-۴-۳       |
| ۵۰ | ..... لیزر اسکنرهای زمینی  | ۴-۴-۳       |
| ۵۱ | ..... طبقه بندی لیزر اسکنرهای زمینی                              | ۱-۴-۴-۳     |
| ۵۲ | ..... کمپانی های سازنده لیزر اسکنرهای زمینی                      | ۲-۴-۴-۳     |
| ۵۳ | ..... تهیه DTM با استفاده از لیزر                                | ۵-۴-۳       |
| ۵۴ | ..... مقایسه روش فتوگرامتری با روش لیزر اسکن                     | ۶-۴-۳       |
| ۵۴ | ..... استفاده از نقشه های موجود                                  | 3-5         |
|    | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... مروری بر روش های مختلف | ۱-۵-۳       |
| ۵۵ | ..... روش دستی   | ۲-۵-۳       |
| ۵۵ | ..... روش اتوماتیک   | 3-5-3       |
| ۵۵ | ..... اسکن نقشه  | ۱-۳-۵-۳     |
| ۵۵ | ..... اسکنرها  | ۱-۱-۳-۵-۳   |
| ۵۷ | ..... اسکنرهای فتوگرامتری  | ۱-۱-۱-۳-۵-۳ |
| ۵۹ | ..... DTP اسکنرهای   | ۲-۱-۱-۳-۵-۳ |
| ۶۲ | ..... حذف نویز   | ۲-۳-۵-۳     |
| ۶۲ | ..... تشخیص و باینری کردن منحنی میزانها                          | ۳-۳-۵-۳     |
| ۶۳ | ..... نازک سازی  | ۴-۳-۵-۳     |

|    |   |           |
|----|---|-----------|
| ۶۳ | ..... برداری کردن                                       | ۵-۳-۵-۳   |
| ۶۴ | ..... روش نیمه اتوماتیک                                 | 3-5-4     |
| ۶۴ | ..... تغییر و اصلاح DTM                                 | ۴         |
| ۶۴ | ..... Editing   | 4-1       |
| ۶۴ | ..... Filtering   | ۲-۴       |
| ۶۵ | ..... فیلترها   | ۱-۲-۴     |
| ۶۶ | ..... فیلترهای بالا گذر و پایین گذر                     | ۲-۲-۴     |
| ۶۷ | ..... فیلتر شبکه مثلثی (ATM)                            | ۳-۲-۴     |
| ۶۷ | ..... فیلتر میانه، ماکزیمم و مینیموم                    | ۴-۲-۴     |
| ۶۷ | ..... فیلتر شبه میانه ای                                | ۵-۲-۴     |
| ۶۸ | ..... فیلتر میانگین (Mean)                              | ۶-۲-۴     |
| ۶۸ | ..... فیلتر گوس   | ۷-۲-۴     |
| ۶۹ | ..... Merging   | 4-3       |
| ۶۹ | ..... Data structure conversion                         | ۴-۴       |
| ۷۰ | ..... شبکه بندی (Gridding)                              | ۱-۴-۴     |
| ۷۰ | ..... Moving Average روش                                | ۱-۱-۴-۴   |
| ۷۱ | ..... تفسیر DTM   | ۵         |
| ۷۱ | ..... بررسی خصوصیات شکل زمین (Geomorphometric Analysis) | 5-1       |
| ۷۱ | ..... ویژگی های عمومی قابل استخراج از هر DTM            | 5-1-1     |
| ۷۲ | ..... Slope and Aspect                                  | 5-1-1-1   |
| ۷۶ | ..... Quality assessment                                | 5-2       |
| ۷۶ | ..... Error detection                                   | 5-2-1     |
| ۷۷ | ..... دقت اطلاعات ارتفاعی                               | 5-2-1-1   |
| ۷۸ | ..... تعیین دقت   | ۲-۱-۲-۵   |
| ۷۹ | ..... DTM quality control                               | 5-2-2     |
| ۷۹ | ..... بررسی پارامترهای مؤثر بر دقت DTM                  | 5-2-2-1   |
| ۷۹ | ..... روش جمع آوری داده ها                              | 5-2-2-1-1 |
| ۸۰ | ..... تراکم و توزیع داده های ورودی                      | ۲-۱-۲-۲-۵ |
| ۸۱ | ..... مدلسازی با استفاده از DTM                         | 5-3       |
| ۸۲ | ..... نمایش DTM   | ۶         |
| ۸۲ | ..... مقدمه   | 6-1       |
| ۸۲ | ..... روش های دوبعدی                                    | ۲-۶       |
| ۸۲ | ..... منحنی میزان                                       | ۱-۲-۶     |
| ۸۴ | ..... Hill shading                                      | 6-2-2     |
| ۸۶ | ..... Hypsometric Tints                                 | 6-2-3     |
| ۸۷ | ..... ترکیب با داده های دو بعدی                         | ۴-۲-۶     |
| ۸۸ | ..... روش های سه بعدی                                   | ۳-۶       |

|     |  |              |
|-----|--|--------------|
| ۸۸  | ..... نمایش دینامیک (دید پرسپکتیو)                                   | ۱-۳-۶        |
| ۸۹  | ..... Block Diagram -  | ۲-۳-۶        |
| ۹۰  | ..... دید پانورامیک  | ۳-۳-۶        |
| ۹۰  | ..... مدل های بافت دار   | ۴-۳-۶        |
| ۹۱  | ..... مدل های سه بعدی واقعی  | ۴-۶          |
| ۹۱  | ..... مدل های سه بعدی فیزیکی   | ۵-۶          |
| ۹۱  | ..... - نمایش محصولات DTM  | ۶-۶          |
| ۹۵  | ..... نرم افزارهای DTM   | ۷            |
| ۹۶  | ..... پارامترهای موثر بر انتخاب نرم افزار                            | ۱-۷          |
| ۹۹  | ..... مباحث خاص  | 8            |
| ۱۰۰ | ..... فیلترینگ داده های لیزر   | 8-1          |
| ۱۰۱ | ..... تعیین فاصله نمونه برداری بهینه (Optimum Sampling interval)     | ۲-۸          |
| ۱۰۴ | ..... ضmann  | 9            |
| ۱۰۵ | ..... فرمتهای DTM  | 9-1          |
| ۱۰۵ | ..... الگوریتم ژنتیک حل معادلات Global Polynomials                   | ۲-۹          |
| ۱۰۶ | ..... الگوریتم ژنتیک   | ۱-۲-۹        |
| ۱۱۰ | ..... نرم افزارهای کار با داده های لیزر                              | ۳-۹          |
| ۱۱۸ | ..... منابع و مراجع  | 10           |
| 11  | ..... مطالب مفید که می تواند در متن مورد استفاده قرار گیرد           | 11           |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... دقت                        | ۱-۱۱         |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... ارتوفتو                    | ۲-۱۱         |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... نمایش DTM                  | ۳-۱۱         |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... مثلث بندی                  | ۴-۱۱         |
|     | <b>Error!</b> ..... بررسی وجود نقطه در داخل دایره محیطی              | ۱-۱-۱-۱-۴-۱۱ |
|     | <b>Bookmark not defined.</b>   |              |
|     | <b>Error!</b> ..... تقاطع پاره خط ها (segment intersection)          | ۲-۱-۱-۱-۴-۱۱ |
|     | <b>Bookmark not defined.</b>   |              |
|     | <b>Error!</b> (half-plane intersection) تقاطع نیم صفحه ها            | ۳-۱-۱-۱-۴-۱۱ |
|     | <b>Bookmark not defined.</b>   |              |
|     | <b>Error!</b> ..... Delaunay بندی برای مثلث بندی                     | ۴-۱-۱-۱-۴-۱۱ |
|     | <b>Bookmark not defined.</b>   |              |
|     | ..... الگوریتم Watson & Bowyer(1981)                                 | ۵-۱-۱-۱-۴-۱۱ |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b>                                  |              |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... Step by Step algorithms    | ۵-۱۱         |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... فتوگرامتری                 | ۶-۱۱         |
|     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> ..... Cross-Correlation Matching | ۱-۱-۶-۱۱     |



# مباحث مقدماتی در DTM

## ۱ مقدمه

نمایش بعد سوم یا مولفه سوم مختصات برای بسیاری از کاربرد ها اهمیت اساسی دارد. اما نمایش بعد سوم سطح زمین یعنی  $Z$  بر روی سطح مسطح کاغذ یا صفحه نمایش دشوار است. به همین دلیل از دیر باز نقشه برداران، نقشه کشان و جغرافی دانان تلاش کرده اند روشهایی را برای نمایش ارتفاعات روی نقشه ارائه نمایند. استفاده از هاشور، سایه روشن، گامهای رنگی، اعداد ارتفاعی و منحنی های میزان از جمله این روش ها محسوب می شوند. امکانات و قابلیت های کامپیوتری اجازه می دهند تا سطح پیوسته زمین به شکل رقومی نمایش داده شود به گونه ای که برای کاربران به خوبی ملموس و محسوس باشد.

سطح زمین یک سطح پیوسته است که راه های متعددی برای به ترسیم کشیدن آن ممکن است وجود داشته باشد.

DTM (Digital terrain Model) یا مدل رقومی زمین حاصل تلاش برای به ترسیم کشیدن زمین است به گونه ای که به طور رقومی در سه بعد قابل نمایش باشد. در حقیقت DTM سطحی است که تغییرات ارتفاع ( $Z$ ) نسبت به سطح زمین ( $x,y$ ) در آن تعریف می شود. پس به طور کلی DTM سه مشخصه عمده دارد:

- سطح زمین (earth surface) را نمایش می دهد
- سه بعدی (3D) است
- رقومی (digital) است



## ۱-۱ اجزاء DTM

از آنجا که سطح زمین یک سطح پیوسته است برای داشتن یک مدل کامل از این سطح تعداد نامحدودی نقطه لازم است، که در عمل ممکن نیست. بنابراین اطلاعات مورد نیاز باید از طریق نمونه برداری نقاط زمینی به دست آیند. نقاط نمونه (sample points) در حقیقت مجموعه ای از نقاط هستند که با دقت مشخص نمونه برداری شده اند. DTM به وسیله تابعی فاصله بین این نقاط را پر میکند و تغییرات ارتفاع بر روی سطح زمین را از این حالت گسسته به صورت پیوسته و با دقت مشخص نمایش می دهد. در واقع نقاط نمونه و تابع نمایش دهنده سطح، اجزای تشکیل دهنده DTM هستند.

در مورد مدل یا تابع نمایش دهنده باید گفت که فضای DTM یک فضای سه بعدی است اما به طور مشروط. یعنی نقاط به شرطی پذیرفته شده اند که بر روی سطح به دست آمده از تابع باشند. بنابر این بر خلاف زمین که در آن ارتفاع نقاط از هم مستقل است، ارتفاع نقاط در DTM به هم وابسته است ( $Z = f(x,y)$ ). پس از آنجا که Z مقداری مستقل نیست، محیط DTM یک محیط سه بعدی کامل نیست. از این رو فضای DTM را فضای ۲/۵ بعدی می گویند. در بعضی از نرم افزارها که فضا دو بعدی در نظر گرفته شده است ارتفاع (Z) به صورت یک المان توصیفی (attribute) معرفی می شود.

## ۲-۱ اصطلاحات

برای DTM عبارت دیگری نظیر DEM (Digital Elevation Model)، DHM (Digital Height Model)، DGM (Digital Ground Model) و DTED (Digital Terrain Elevation Data) نیز به کار می رود. DSM (Digital Surface Model) محصولی است که در آن به سطح خارجی یا رویه زمین با تمامی عوارض موجود در آن اهمیت داده می شود، در حالیکه در DTM فقط به سطح یا کف زمین توجه می شود بدون آنکه عوارض مصنوعی یا دست ساز بشر مثل ساختمانها در نظر گرفته شوند. روش و تکنولوژی نمایش DTM را علاوه بر ارتفاعات می توان برای سایر اطلاعات با خصوصیات مشابه مانند فشار، جاذبه، حرارت، تراکم جمعیت، جذر و مد، آلودگی هوا و ... بسط و تعمیم داد.

## ۳-۱ کاربرد های DTM در علوم مختلف

DTM در علوم مختلف دارای کاربردهای متعددی است که با هدف استخراج این اطلاعات مورد استفاده قرار می-گیرد:

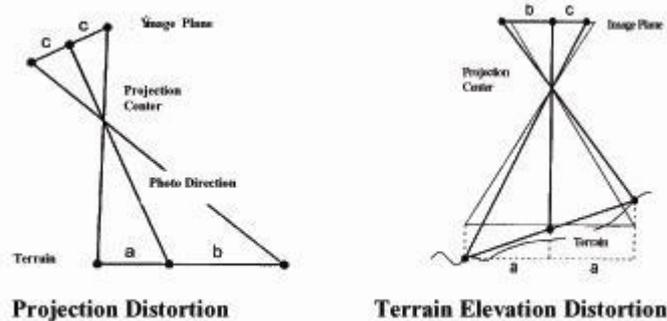
- تعیین مقدار Z با استفاده از X و Y مشخص
  - برازش یک سطح جهت تعیین Z به عنوان تابعی از X و Y با استفاده از X، Y و Z نقاط معلوم
  - تعیین مقدار Z در فواصل ثابت از طریق درونیابی با استفاده از X، Y و Z نقاط معلوم
  - تعیین سطح مقطع خط یا صفحه با سطح (تولید پروفیل)
  - برآورد و ارزیابی منحنی های تراز و تولید پروفیل
  - تعیین خط دید یا تعیین مناطقی که از سایر نقاط قابل دید هستند
  - محاسبه حجم بین سطوح مشخص
  - محاسبه شیب
  - محاسبه منظر یا جهت شیب
  - تامین اطلاعات ارتفاعی از سطح زمین
- مثالهای شاخص از کاربرد های DTM عبارتند از: مهندسی عمران، علوم زمین، برنامه ریزی و مدیریت منابع، کاربردهای نظامی، نقشه برداری و فتوگرامتری و GIS.
- مهندسی عمران: محاسبات مربوط به خاکبرداری و خاکریزی، نقشه برداری زمین، محاسبات حجم در ساخت سد ها مخازن آب و مانند آنها از کاربردهای DTM در مهندسی عمران است.
- علوم زمین: کاربرد های DTM در علوم زمین اساسا بر روی توابع خاصی جهت مدل کردن، تحلیل و تفسیر مورفولوژی عوارض متمرکز شده است. به عنوان مثال توصیف و توسعه شبکه های زهکشی و مدل کردن جریان های آبی (هیدرولوژی)، شبیه سازی و طبقه بندی ژئومورفولوژیکی و مدل سازی زمین شناسی تهیه نقشه های شیب و منظر و پروفیل های شیب برای تولید نقشه های ارتفاعی از کاربردهای DTM است که در آنها معمولا از DTM استفاده می شود.
- برنامه ریزی و مدیریت منابع آب: این بخش شامل رشته های مختلفی مثل سنجش از دور، کشاورزی، علوم خاک، هواشناسی، اقلیم شناسی، برنامه ریزی محیطی و شهری و جنگل داری است که همگی آنها روی مدیریت منابع طبیعی تمرکز دارند. کاربرد های DTM این بخش شامل مکانیابی نقاط، کمک به طبقه بندی تصاویر سنجش از دور به وسیله مشتقات DTM، تصحیحات هندسی و رادیو متریکی تصاویر سنجش از دور، مدل های پتانسیل فرسایش خاک، مطالعات شرایط محصولات کشاورزی، مدل های انتشار جریان باد و آلودگی می باشد. همانطور که واضح است این گروه دامنه وسیعی از کاربرد ها را پوشش می دهد و شامل روشهایی برای تغییر و ویرایش اطلاعات، تحلیل های قوی، مدل سازی و ابزار تجسم سازی یا نمایش است.
- شبیه سازی و تجسم: بیشتر کاربران ترجیح می دهند که عوارض زمین را به طور شبیه سازی شده مورد بررسی قرار دهند. معمولا شبیه سازی به صورت پرواز بر فراز نطقه انجام می شود و به طوریکه با تنظیم ارتفاع و زاویه دید می توان عوارض را از جنبه های گوناگون مورد بررسی قرار داد.
- نقشه برداری و فتوگرامتری: از کاربرد های DTM در نقشه برداری و فتوگرامتری می توان تولید منحنی میزانها با کیفیت بالا، تولید اورتو فتو، ارزیابی کیفیت داده ها و نقشه برداری توپوگرافیک را نام برد.

- کاربرد های نظامی: بخش نظامی نه تنها یک مصرف کننده عمده DTM می باشد بلکه تولید کننده مهم آن نیز هست. تقریباً همه جنبه های محیط نظامی وابسته است به یک درک صحیح و قابل اطمینان از عوارض، ارتفاع و شیب سطح زمین. مثالهایی از این گونه استفاده ها شامل تحلیل دید برای مدیریت میدان جنگ، نمایش سه بعدی برای سیستم های هدایت سلاح و شبیه سازی پرواز و تحلیل مسیر دید رادار می باشد.

### ۱-۳-۱ - کاربرد DTM در تهیه Orthophoto

گاهی اوقات در فتوگرامتری هدف تبدیل تصاویر به نقشه دقیق است. برای این منظور تمام خطاهای موجود روی تصویر از جمله جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع و تیلت حذف می شود، در این حالت یک تصویر ارتوفتو دو بعدی حاصل می شود که در آن تمام خطاها حذف شده است. ارتوفتو تصویر قائم عوارض زمین بر روی سطح می باشد، مثلاً تصویر ساختمان و بلندبها در تصویر اورتو بصورت کاملاً قائم روی کف تصویر می شود و پای ساختمانها در این تصاویر مشاهده نمی شود.

ارتوفتو در واقع نمایش ارتوگرافیکی سطح زمین است. از آنجا که ارتوفتو فاقد تیلت و جابجایی ارتفاعی است موقعیت مسطحاتی صحیحی از عوارض ارائه می دهد. فواصل، زوایا و مساحت را می توان درست نظیر نقشه از ارتوفتو اندازه گیری نمود. خطاهای ناشی از اختلاف ارتفاع و تیلت در شکل شماره نشان داده شده است.



شکل شماره: خطای ناشی از اختلاف ارتفاع و تیلت

هر تصویر و عکس دارای کشیدگی تصویری است. این کشیدگی یک اعوجاج هندسی است که به علت ارتفاع متفاوت زمین در قسمتهایی که عکس آنها گرفته شده است بوجود می آید. اجسام بلند مانند ساختمان ها و درختها بصورت شعاعی به سمت بیرون از مرکز عکس جابجا می شوند. اجسام بلندتر و اجسامی که از مرکز عکس دورترند، جابجایی بیشتری دارند. عملیات اورتو نمودن تصاویر، این اعوجاج ها و نامنظمی ها را با اعمال ترانسفورماسیون های ریاضی که با استفاده از DTM روی عکس انجام می شود، تصحیح می کند.

یک ارتوفتو رقمی فقط در جایی که DTM دقیق موجود باشد می تواند دقیق باشد. لذا اگر لازم باشد پلها و ساختمانها به جای صحیح خود ترمیم شوند، باید ساختمانها و پلها بعنوان قسمتی از DTM وارد آن شوند که این کار بسیار پرهزینه است.

تولید ارتوفتو رقمی در مقایسه با تکنیکهای تولید آنالوگ با بهره جستن از تکنیکهای پردازش رقمی تصاویر از اعطاف پذیری بیشتری برخوردار است. علاوه بر این، خروجی رقمی در دامنه متنوعی از کاربردها مثلاً در محیط GIS قابل استفاده است.

با در نظر گرفتن جریان کار تولید ارتوفتو با شروع از نقشه برداری هوایی، اسکن کردن، مثلث بندی هوایی، دستیابی به DTM تا محاسبات ارتوفتو و موزائیک کردن، محاسبات ارتوفتو به خودی خود یک کار آسان در مقایسه با بقیه مراحل است.

### در اینجا نحوه استفاده از DTM برای تهیه ارتوفتو گفته شود

#### ۱-۳-۲ - کاربرد DTM در پروژه های راهسازی

در پروژه های راه سازی DTM تولید شده که در واقع یک مدل کامپیوتری و بسیار نزدیک به سطح زمین است نه تنها بررسی های اولیه طرح هندسی راه را آسانتر می سازد، بلکه در برآورد هزینه عملیات خاکی به ویژه محاسبه احجام مربوط به خاکریزی و خاکبرداری که عمدتاً در پروژه های راه بخش اعظم هزینه پروژه را در بر می گیرند کمک می کند. به کمک DTM امکان تهیه پروفیل های طولی و عرضی از مسیر به راحتی و با استفاده از امکانات کامپیوتری فراهم می گردد.

از کاربردهای دیگر DTM در پروژه های راهسازی آن است که با استفاده از آن می توان نقشه های شیب منطقه را تهیه نمود که اهمیت زیادی در تعیین شیب مسیر دارند. در واقع با مشخص کردن ابتدا و انتهای مسیر می توان شیب قسمتهای مختلف یک مسیر طراحی شده را تشخیص داد و از این موضوع در طراحی راه استفاده کرد. بعلاوه DTM قابلیت ارائه داده های لازم برای دسترسی به یک سری اطلاعات جانبی از مسیر طراحی شده را دارد. به عنوان مثال به کمک مدل رقومی زمین امکان شناسایی عوارض یا موانع طبیعی که سبب از بین رفتن دید مستقیم بین دو نقطه از مسیر شده اند، را فراهم می شود.

#### ۱-۳-۳ - کاربرد DTM در سد سازی

به طور کلی هدف از احداث یک سد بر روی رودخانه ممکن است آبرسانی (آب مصرفی)، مصارف صنعتی، آبیاری و کشاورزی، تولید برق، جلوگیری از خسارات سیل و یا ترکیبی از چند کاربرد فوق باشد.

به طور کلی ساخت سد در سه فاز انجام می شود که عبارتند از:

فاز اول: مطالعات و بررسیها شامل مطالعه برای تعیین بهترین طرح از لحاظ فنی و اقتصادی و اجرایی

فاز دوم: تهیه طرحهای نهایی به منظور تهیه نقشه های اجرایی

فاز سوم: اجرای طرح

برای آنکه طرح یک سد تهیه شود در فاز اول گروه های مختلفی در زمینه های هیدرولوژی و کلیماتولوژی، زمین شناسی، نقشه برداری، مسائل اقتصادی و اجتماعی، ژئوتکنیک و محیط زیست بایستی به کار پردازند. یکی از پارامترهای مهم در سدسازی برآورد تقریب خوبی از حجم مخزن سد می باشد که قطعا در کاربریهای آب ذخیره شده در پشت سد، مورد نیاز می باشد. برای رسیدن به این منظور به اطلاعات توپوگرافی و DTM منطقه نیاز می باشد.

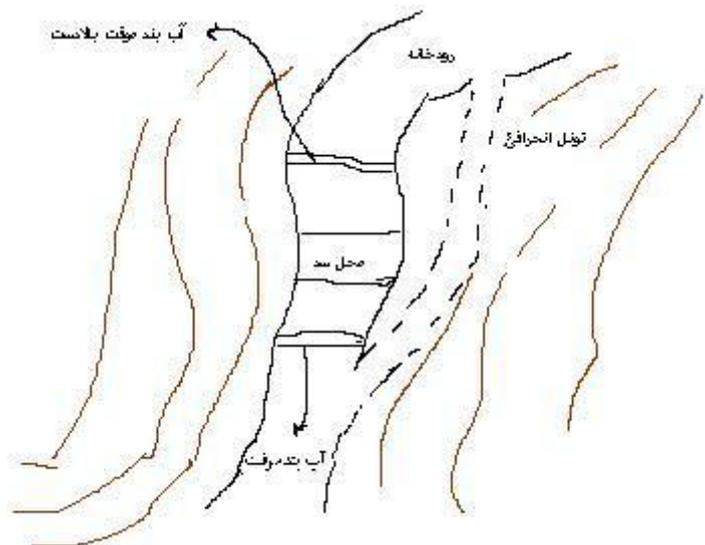
پس از مطالعات مقدماتی و تعیین حدود منطقه مورد عملیات، با استفاده از نقشه های با مقیاس متوسط مثلاً ۱:۲۵۰۰۰ محدوده محور سد مشخص می گردد. این نقشه های متوسط مقیاس، تقریب خوبی برای شروع کار است. برای بهینه سازی کار با توجه به پارامترهایی نظیر مینیمم شدن حجم عملیات خاکی و هزینه، بایستی اطلاعات دقیقی از وضعیت منطقه در دست باشد. به همین علت معمولاً با مقیاس ۱:۵۰۰ از منطقه برداشت انجام می شود تا با تهیه نقشه های بزرگ

مقیاس دقت بیشتری حاصل شود. معمولاً در منطقه مورد نظر که روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ مشخص شده، ایستگاه گذاری شده و پیمایش می شود و مختصات نقاط کنترل بوسیله GPS تعیین می گردد.

در محدوده محور سد به فاصله های مشخص پروفیل تهیه شده و آزمایشهای مکانیک خاک انجام می شود تا با کل اطلاعات بدست آمده بهترین محل برای سد انتخاب شود. با توجه به ارتفاع محل انتخاب سد و ارتفاع سد، ارتفاع نهایی سطح آب بدست می آید. سپس محدوده منطقه ای که زیر پوشش آب می رود، روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ و منحنی میزانها مشخص می گردد. چون برای مخزن سد دقت کمتری مورد نیاز است، با مقیاس حدود ۱:۲۰۰۰ یا ۱:۲۵۰۰ برداشت توپوگرافی انجام می شود. به کمک نرم افزارهای مناسب، مدل ارتفاعی رقومی منطقه بدست آمده و با استفاده از آن و داشتن ارتفاع آب، حجم آب جمع شده پشت سد تعیین می گردد.

کاربرد دیگر DTM در مرحله طراحی سد، تعیین مسیرهای مناسب جهت هدایت آبها به مخزن می باشد. تامین کننده آب سدها، عمدتاً رودخانه ها و چشمه هایی هستند که هر یک مسیری را طی می کنند که این مسیرها به سوی مخزن سد یا خارج آن می باشند. برای استفاده بهینه از سد لازم است که تمامی منابع آب موجود در منطقه، به مخزن سد هدایت شده و مسیر آن ها همسو گردد. بدین جهت لازم است با شناسایی منطقه مورد نظر و همچنین استفاده از نقشه ها و DTM منطقه، منابع آبی موجود و مسیرهای جاری آب، مثلاً مسیر رودخانه و حریم آنها در مناطق بالادست مخزن تعیین گردند. سپس مسیرهای مناسب بین منابع آبی با استفاده از DTM و برداشتهای انجام شده در منطقه، تعیین می شوند تا برای همسو سازی این منابع و همچنین منابعی که به خارج از مخزن سرازیر هستند، کانال ها یا آبراهه ها یا مسیرهای زیرزمینی در جای مناسب ایجاد می گردند و همه منابع آبی به سوی مخزن سد هدایت می شوند.

از سویی دیگر در هنگام ساخت سد در فاز سوم نیاز است که آب از محل سد منحرف شود تا عملیات سدسازی قابل انجام باشد. برای این منظور از دو روش استفاده می شود. یک روش انحراف آب رودخانه توسط تونل انحرافی یا کانال انحرافی است که در این روش انحراف آب از بالا دست محل سد به پائین دست محل سد توسط تونل یا کانال صورت می گیرد که برای تعیین بهترین مسیر برای این تونل یا این کانال نیاز به DTM احساس می شود. شکل به طور واضح گویای این کاربرد می باشد.



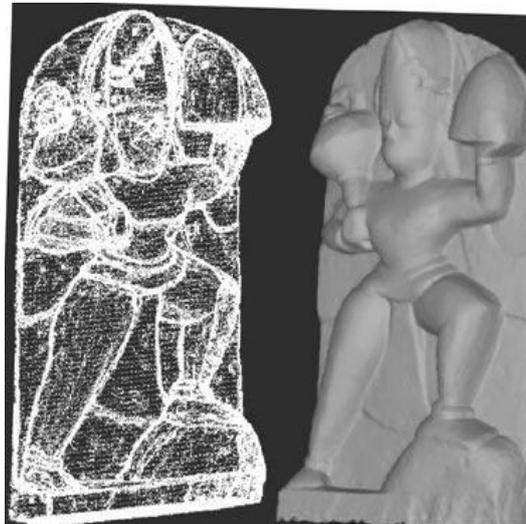
روش دوم انحراف آب در محور سد است که در این روش سد به دو قسمت تقسیم می شود و در هر قسمت از سد بطور جداگانه عملیات سدسازی انجام می شود. به این شکل که ابتدا نیمی از رودخانه با آب بند بسته و در پشت آن نیمی از

سد ساخته می شود. پس از ساخت آن دریچه های سد باز شده و آب بند برداشته می شود. سپس نیم دیگر رودخانه بسته و سد تکمیل می شود. در اینجا نیز برای تشخیص بهترین محل آب بند از DTM منطقه استفاده می شود.

#### ۴-۳-۱ - کاربرد DTM در باستان شناسی

استفاده از تکنولوژی های امروزی به باستان شناسان و محققان اجازه می دهد که اشیاء باستانی را در غیاب شی اصلی بازدید، بررسی و حتی بازسازی کنند. مراحل کار به این ترتیب است که یک لیزر اسکنر مخصوص (توضیحات بیشتر در فصل سوم)، هندسه سطح شی باستانی را دیجیتایز می کند و داده های به دست آمده به عنوان مختصات نقاط  $(X, Y, Z)$  ذخیره می شود. در نتیجه یک مدل رقومی سه بعدی قابل تهیه است که می تواند به صورت رقومی دیده شده، بررسی شود، ساخته شود و روی آن تغییرات لازم انجام شود.

بازسازی گرافیکی سه بعدی و ایجاد مدل های فیزیکی از اجسام، محققان را قادر می سازد که کارهایشان را بدون آسیب رساندن به اثر باستانی به صورت دقیق تری انجام دهند. که این کار با روش های قدیمی ممکن نمی باشد. بزرگ کردن مقیاس مدل ها در حوزه رقومی آسان است، بنابراین مثلا یک مجسمه ساز می تواند یک مدل کوچک درست کند و آن را اسکن کند، سپس از طریق نرم افزار های مناسب یک نمونه فیزیکی در هر اندازه ای ایجاد کند. این امکان علاوه بر ایجاد وسایل طراحی جدید برای مجسمه سازها، وسایلی برای مدل سازی و دستکاری مجموعه های باستان شناسی به صورت رقومی ایجاد می کند. بازسازی مجدد فسیلها و مجموعه های باستان شناسی با بهره گیری از توانایی های هنری و زمین شناسی، یک فعالیت مدل سازی گسترده است. در سال های اخیر لیزر اسکنر یک ابزار قدرتمند مورد استفاده برای هندسه مدل های پیچیده بوده است. چگالی و پراکندگی نقاط بر اساس سائز شی و پیچیدگی عارضه تعیین می شود. در شکل نمونه ای از کاربرد DTM در زمینه حفظ و مرمت آثار باستانی مشاهده می شود.



شکل: مدل ارتفاعی تهیه شده از یک مجسمه تاریخی

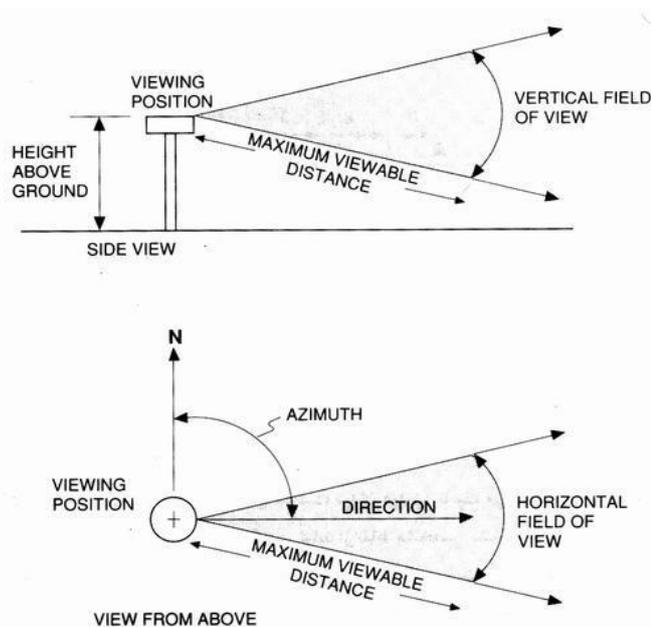
### ۱-۳-۵ - کاربرد DTM در تعیین میدانهای دید

از جمله توابع توپوگرافی که بر روی مدل‌های رقومی زمین قابل اجراست، می‌توان به توابع میدانهای دید اشاره کرد که از مهمترین آنها، توابع قابلیت دید (Intervisibility)، خطوط دید (Line of sight)، نورپردازی (Illustration) و دید پرسپکتیو نام برد.

به طور ساده میدان دید منطقه‌ای است که می‌توان آنرا از یک نقطه (یا نقاط) معلوم مشاهده کرد. تعیین میدانهای دید، در تعیین مناطقی که با یک آنتن مخابراتی یا رادار پوشش داده می‌شوند، ارزیابی چگونگی خارج شدن و یا وارد شدن جاده‌ها به میدان دید در هنگام طراحی قوسهای مسیر، تعیین مناسبترین نقاط چشم‌اندازها و نقاط گردشگری، تعیین منطقه تحت پوشش یک حوزه نظامی و سایر کاربری‌های نظامی و مخابراتی کاربرد دارد. با استفاده از توابع خودکار میدان دید می‌توان در روشهای تجزیه و تحلیل به صورت آزمایش و خطا نیز عمل کرد، بدین صورت که با قرار دادن عوارض و یا آنتن‌ها در نقاط مختلف میزان پوشش را در نقطه‌ای مطالعه کرد و با تغییر موقعیت آن نقطه، به پوششهای دیگر رسید. تعیین بهترین مکان برای سیستم‌های راداری و مایکروویو که نیاز به خطوط دید بدون مانع دارند بدین طریق می‌تواند صورت گیرد.

همچنین از توابع نورپردازی برای ارزیابی شرایط مختلف طبیعی می‌توان استفاده کرد. رشد گیاهان تحت تاثیر میزان جهت تابش نور خورشید قرار دارد و پتانسیل فرسایش و میزان تجدید کشت انواع پوششهای گیاهی نیز تحت تاثیر شرایط تابش خورشید می‌باشد که با مدل‌سازی تابش نور این عامل هم می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها در نظر گرفته شود. بدین ترتیب مدل‌سازی در توابع نورپردازی که بر روی DTM اعمال می‌شود می‌تواند هم برای منبع نور مصنوعی و هم برای نور خورشید به کار رود.

توابع میدان دید برای تعیین منطقه تحت پوشش، از مدل ارتفاعی رقومی، ارتفاع عوارض مختلف (ساختمانها یا برج‌های فشار قوی)، پارامترهای دیدگاهی (از قبیل حداکثر فاصله مستقیم قابل دید، موقعیت سه بعدی ناظر، محدوده زوایای افقی و قائم مشاهده) و آنالیزهای ریاضی استفاده می‌کنند (پارامترهای دیدگاهی را می‌توان در شکل ملاحظه نمود).

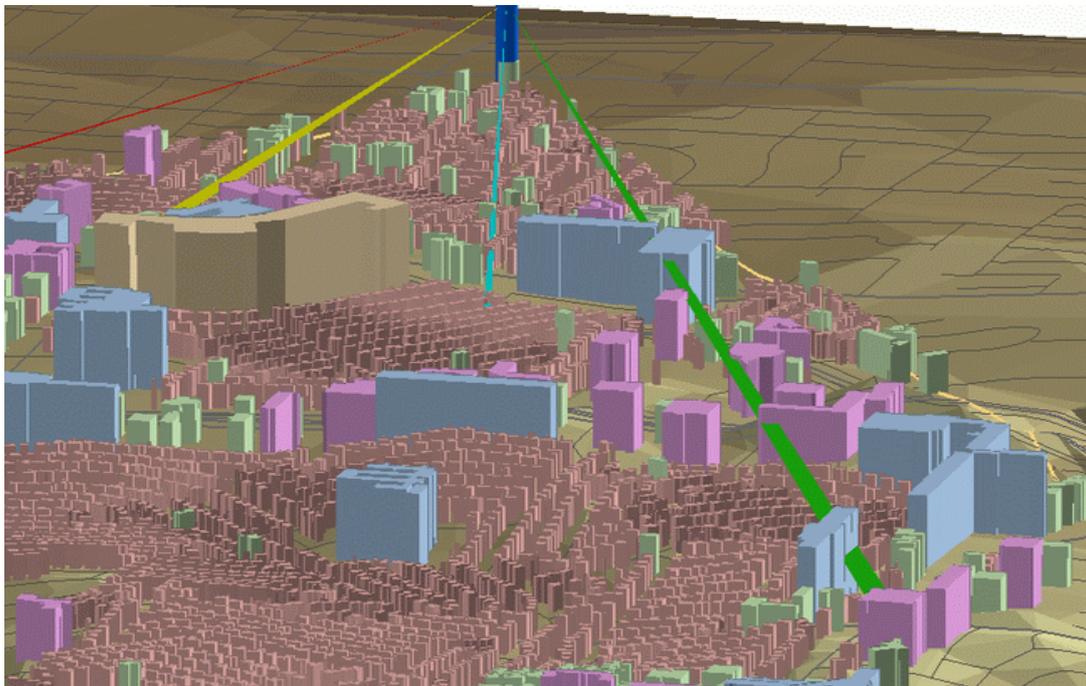


شکل: پارامترهای دیدگاهی مورد استفاده برای تعیین محدوده تحت پوشش

در صورتیکه منظور از این تجزیه و تحلیل تعیین بهترین وضعیت برای برقراری دید روی یک سری عوارض خاص باشد، لایه موقعیت سه بعدی این عوارض نیز تحت عنوان لایه اهداف (Targets) به مجموعه داده‌های مورد نیاز افزوده می‌شود.

در مورد توابع دید پرسپکتیو مهمترین داده مورد نیاز پس از DTM، مختصات ناظر است. امروزه با توجه به بالا رفتن سرعت پردازش، نرم‌افزارهای مختلف امکان ایجاد دید پرسپکتیو بلادرنگ (Realtime) را با تغییر موقعیت ناظر می‌دهند. با توجه به اینکه در دید پرسپکتیو بیشتر اهداف نمایشی مدنظر است، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به موقعیت عوارض، ارتفاع عوارض و میزان نور منطقه نیز معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش مشترک مورد استفاده توابع میدان دید، استفاده از آنالیزهای ریاضی مربوط به خطوط دید (Line of sight) می‌باشد. در حقیقت، قدم اول محاسبات مشخص کردن مکان ناظر، مکان هدف و مشخص کردن این نکته است که آیا میتوان یک خط دید بین این دو نقطه طوری برقرار ساخت که هیچ عارضه‌ای مانع رسیدن این خط از ناظر به هدف نشود یا خیر. خطوط دید نه تنها به عنوان واسطه‌ای جهت تعیین میدانهای دید به کار می‌روند، بلکه خود به صورت یکی از توابع مهم در کاربریهای GIS مطرح می‌باشند. پس در یک آنالیز Line of sight ابتدا معادله خط واصل بین نقطه مبدا و هدف به صورت سه‌بعدی ایجاد می‌گردد و سپس برای تمام نقاطی که X و Y آنها بین دو نقطه فوق است محاسبه می‌شود که آیا Z آنها از Z نقاط متناظر روی خط بیشتر است یا خیر. اگر حتی ارتفاع یکی از نقاط محدوده فوق بیشتر از ارتفاع نقطه متناظر روی خط سه‌بعدی باشد، دید بین دو نقطه برقرار نخواهد بود. در شکل نمایشی از چند خط دید در یک پروژه اجرایی مشاهده می‌شود.

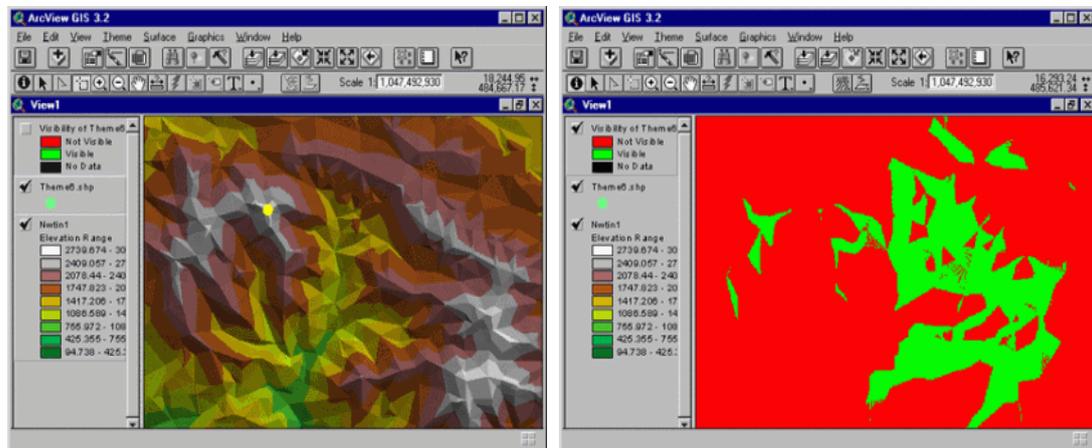


شکل: تشکیل خطوط دید در یک کاربری مخابراتی

در مورد توابع نور پردازی و تعیین مناطق قابل رویت نیز اساس کار بر خطوط دید استوار است. اما در اینجا مکان ناظر موقعیت منبع نور (یا منبع موج) در نظر گرفته می‌شود و نقاط هدف تمامی نقاط سطح DTM محسوب می‌شوند و سپس محاسبه خط دید برای این منبع و نقاط هدف صورت می‌گیرد. هرگاه خط دید بین منبع و یک نقطه هدف برقرار باشد،



آن نقطه هدف مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار ۰ را می‌گیرد. در نهایت مجموعه نقاطی که مقدار ۱ داشته باشند به عنوان محدوده قابل رویت یا محدوده‌ای که نور به آن میرسد، مشخص شده و نمایش داده می‌شوند. شکل نتیجه اعمال این فرآیند را نشان می‌دهد.

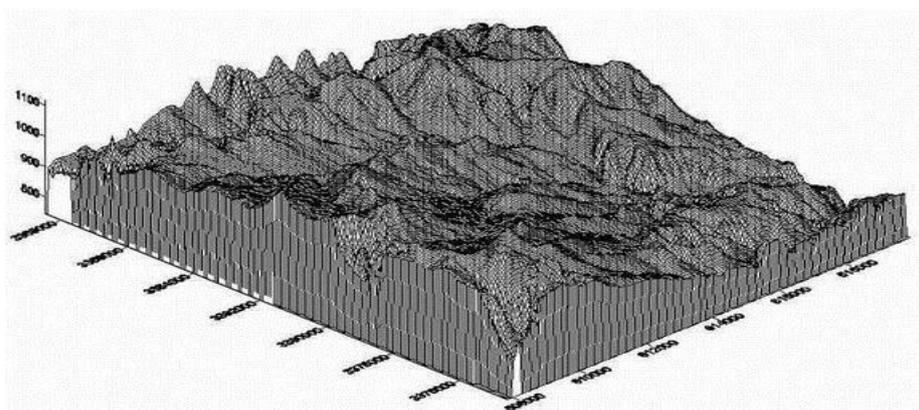


الف

ب

شکل: الف: نمایش منطقه قبل از اعمال مقادیر ۰ و ۱، ب: همان منطقه با اعمال مقادیر ۰ و ۱

برای ایجاد دید پرسپکتیو نیز اساس کار ایجاد خطوط دید است. یکی از روشها بدین ترتیب است که ابتدا کاربر موقعیت ناظر که یک موقعیت سه بعدی است را مشخص می‌کند و نقاط هدف نیز تمامی سطح DTM در نظر گرفته می‌شوند. در صورتیکه خط دید بین نقطه ناظر و نقطه هدف برقرار باشد، نقطه هدف با استفاده از ارتفاعی که DTM در اختیار می‌گذارد، در یک محیط سه بعدی نمایش داده می‌شود و در غیر این صورت نقطه هدف نمایش داده نمی‌شود. در حقیقت، محصول نهایی تصویر تمام نقاط قابل دید در یک محیط سه بعدی از زاویه دید ناظر است. شکل یک نمونه از دید پرسپکتیو را نمایش می‌دهد.



شکل: دید پرسپکتیو در فضای سه بعدی

### ۱-۳-۶ - کاربرد DTM در طراحی خطوط لوله انتقال آب

معمولاً برای طراحی خط لوله دو مرحله قائل می‌شوند: طراحی مقدماتی و طراحی تفصیلی. کاربرد نقشه های توپوگرافی و بطور کلی عملیات نقشه برداری لازم برای این منظور مربوط به طراحی مقدماتی می‌باشد. طراحی مقدماتی شامل مراحل از جمله:

- ۱- نقشه برداری و تهیه نقشه و نیمرخ مسیر خط لوله
  - ۲- محاسبات هیدرولیکی شامل تعیین قطر لوله، ضخامت، جنس لوله، محل پمپاژخانه، محاسبه قدرت پمپاژخانه و بررسی فشار آب در لوله ها
  - ۳- تهیه نقشه لوله کشی
  - ۴- محاسبات ترمودینامیکی به منظور بررسی تبادل گرما بین لوله و زمین در مورد لوله های داغ
  - ۵- محاسبات اقتصادی لازم برای برآورد هزینه و ... است.
- نخستین مرحله طراحی خط لوله، نقشه برداری مسیر، تهیه نقشه و نیمرخ مسیر و تعیین مشخصات زمین و محیط مجاور مسیر می باشد. معمولاً چند مسیر با مزایا و معایب مختلف در نظر گرفته می شود و بعد از تهیه مشخصات این مسیرها آنها را با هم مقایسه نموده و مناسب ترین مسیر انتخاب می شود. نقشه های طراحی مسیر لوله به دو صورت نقشه افقی مسیر لوله و نیمرخ طولی مسیر می باشد. بطور کلی انواع نقشه های مورد نیاز برای طراحی خطوط لوله بر سه نوع است .
- ۱- نقشه های توپوگرافی ( با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)
  - ۲- نقشه های موضوعی زمین شناسی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰)
  - ۳- نقشه های کاربری زمین (Landuse)
- که از لحاظ محاسبات طراحی مسیر خط لوله، نقشه توپوگرافی نقش عمده را ایفا می کند. در زمینه طراحی خطوط لوله علاوه بر نقشه های توپوگرافی منطقه، محصولات دیگری نیز که از اطلاعات DEM منطقه استخراج می شوند، مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از:
- Slope Map: نقشه شیب منطقه که با روشن و تیره نمودن مناطق مختلف میزان شیب را نمایش می دهد.
  - Relief Map: نقشه سه بعدی ناهمواریها که بر اساس منحنی میزان ها بدست می آید و شمایی کلی از پستی و بلندی های منطقه ارائه می دهد.
  - Height: ارتفاعات مکانی خاص که بصورت اطلاعات ارتفاعی رقومی از DEM زمین استخراج می شود.
  - اطلاعات موضوعی برگرفته شده از نقشه های Geologic و Landuse که در نقشه توپوگرافی تعیین موقعیت و نمایش داده شده است.
- در ابتدا بر پایه یک طرح اولیه بر اساس امکانات موجود، امکان ایجاد ایستگاههای پمپاژ، قدرت و فشار منابع اولیه و همچنین امکانات ایجاد موتورهای نیرو برای جریان آب درون لوله ها و بطور کلی بر اساس معیارهای طراحی خطوط انتقال آب، شیب استاندارد و شیب مجاز خطوط لوله محاسبه و طراحی می شود. سپس مرحله اول طراحی خطوط لوله بر روی نقشه توپوگرافی آغاز می شود.
- اولین بخش استخراج و تهیه نقشه شیب (Slope Map) از روی DTM است که این محصول یکی از اساسی ترین کاربردهای DTM در این زمینه است. هدف از استخراج نقشه شیب بیشتر بررسی هزینه های طرح مسیر است. بطور مثال در نواحی با شیب زیاد نیاز به پمپاژخانه بیشتر است که مستلزم هزینه بیشتر می باشد.
- مرحله بعد تعیین نواحی غیر مجاز و مسیرهای خاص (Fault Way) است که از روی نقشه های موضوعی زمین شناسی (Geologic) استخراج و بر روی نقشه توپوگرافی مشخص می شود. این نواحی شامل مسیر سیلابها، راههای اصلی، راه آهن، مردابها و ... است.

از طرفی با استفاده از نقشه های کاربری (Landuse) کاربری های مناطق بصورت عمده بر روی نقشه توپوگرافی مشخص می شود که در هنگام طراحی مسیرها، خطوط لوله از مناطق مسکونی، صنعتی یا کشاورزی عبور نکند. حال بر اساس نقشه شیب و با توجه به شیب مجاز طراحی، مسیرهایی از مبدا معلوم به سمت و جهت مقصد مورد نظر طراحی می شود. مسیرهای افقی طراحی شده هیچ شباهتی با مسیر واقعی ندارد زیرا در نقشه افقی اساساً ارتفاع نقاط مشخص نمی گردد درحالیکه مسیر واقعی خط لوله یک منحنی فضایی بوده و نقاط مختلف آن معمولاً دارای ارتفاعات مختلفی هستند.

در این مرحله نیمرخ خط لوله تهیه می شود که عبارت است از منحنی فرضی حاصل از اتصال نقاط در صفحه مختصاتی که محور طول آن مسافت واقعی نقاط مختلف مسیر خط لوله از مبدا مفروض و محور عرض آن ارتفاع این نقاط را نسبت به صفحه افقی مفروض نشان می دهد. خاصیت نیمرخ خط لوله این است که می توان با رسم نمودار فشار، برای هر نقطه از خط لوله با قطر و جنس معین فشار حاصل از جریان را محاسبه و کنترل کرد. حال نیمرخ طولی کلیه مسیرهای افقی ترسیم شده در نقشه توپوگرافی با استفاده از اطلاعات DEM موجود ترسیم می شود. بعد از تهیه نیمرخ خط لوله آن را به قسمی به قطعات تقسیم می کنند که در طول هر قطعه دبی خط لوله ثابت باشد. این بدین معنی است که در فصل مشترک هر دو قطعه لازم است مخزن یا مخازنی برای رسیدن با تزریق مایع وجود داشته و یا پمپهایی برای این منظور پیش بینی شده باشد. نحوه قرارگیری این مخازن و ارتفاع آنها بمنظور ایجاد جریان، بر اساس DEM موجود منطقه بدست می آید.

مرحله نهایی انتخاب مسیر بهینه است که بر اساس پارامترهای مختلف از جمله موارد زیر انجام می شود.

- ۱- تعداد پمپاژخانه های مورد نیاز که بر اساس نمودار فشار ترسیم شده در مسیرهای مختلف محاسبه می شود.
- ۲- عدم عبور مسیر خط لوله از نواحی غیر مجاز
- ۳- لزوم عبور مسیر خط لوله از مناطق خاص
- ۴- بررسی های زمین شناسی بمنظور بررسی تبادل گرما و اثرات مخرب خاک بر روی لوله ها که از نقشه Geologic استخراج می شود.

در نهایت پس از تعیین مسیر بهینه محاسبات مربوط به قطر و جنس لوله، قدرت موتورهای محرک و پمپاژها انجام می شود و بر اساس نقشه ناهمواریهای زمین (Relief Map) که از DEM زمین استخراج می شود، مکانیابی پمپاژخانه ها انجام می شود بطوریکه در نواحی پست تر بمنظور انتقال آب به ارتفاعات بالاتر طراحی شود و در عین حال در خط القعرها و مناطق آبرگیر دره ای واقع نشود. به این صورت طراحی مقدماتی خطوط لوله انتقال آب انجام می گیرد و در مرحله بعد (طراحی تفصیلی) محاسبات و تعیین هزینه ها و منابع تامین نیاز و ... انجام می گیرد.

#### ۷-۳-۱ پیشگویی سیل ناشی از خرابی سد THA DAN در تایلند

سد THA DAN در استان Nayok در کشور تایلند به منظور بررسی اثر تخریب سد مورد بررسی واقع شد. هسته این سد بتنی با ارتفاع تاج ۱۱۴ متر و گنجایش ۲۲۴ میلیون مترمکعب یکی از بزرگترین سد های بتنی این کشور محسوب می شود. برای مطالعه پیشگویی اثر تخریبی این سد، از ترکیب مدل های ریاضی، دور کاوی و سیستم اطلاعات جغرافیائی استفاده شد. با تحلیل های انجام شده میزان خروج آب ۲۲۱،۵۰۶ مترمکعب در ثانیه، و سرعت خروج آب ۱۹،۷ متردر ثانیه پیش بینی شد، همچنین پیش بینی شد روستای Ban Tha Dan ظرف مدت ۲ ساعت کاملاً زیر

آب فروخواهد رفت. حدود ۳۹۱٫۸ کیلومتر مربع از اراضی پایین سد به زیر آب فرو خواهد رفت. نتیجه این مطالعه می تواند در طراحی کاربری زمین و طرح های استراتژیک به منظور حفاظت و کاهش اثرات تخریبی مفید باشد.

داده ها و اطلاعاتی که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت عبارتند:

۱- نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰

۲- تصاویر ماهواره landsat 5

۳- پروفیل مقطع عرضی آبریز

۴- داده های هیدرولوژی

۵- داده های عمومی سد (گنجایش و...)

۶- نرم افزارهای پردازشی (Data,.....)

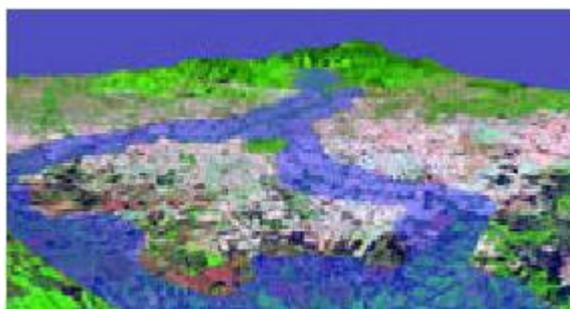


Figure1: Simulation of The Tha Dan Dam

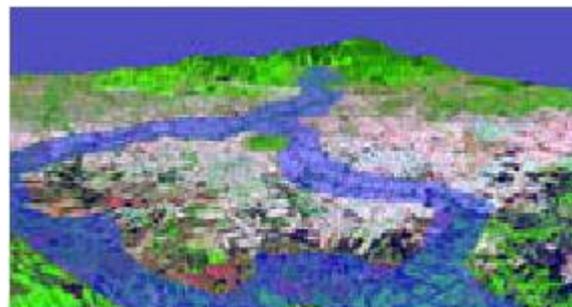
(base

مدل های ۳ بعدی به کمک TIN ایجاد شد و سپس DEM تولید و با استفاده از تصاویر ماهواره ای و اطلاعات منطقه DTM ناحیه ایجاد شد.

DTM تولیدی جهت تخریب آب، شیب، طول شیب و منطقه تحت تاثیر سیل را نشان می دهد.



مدل زمین پیش بینی شده بر اثر تخریب زیاد سد.



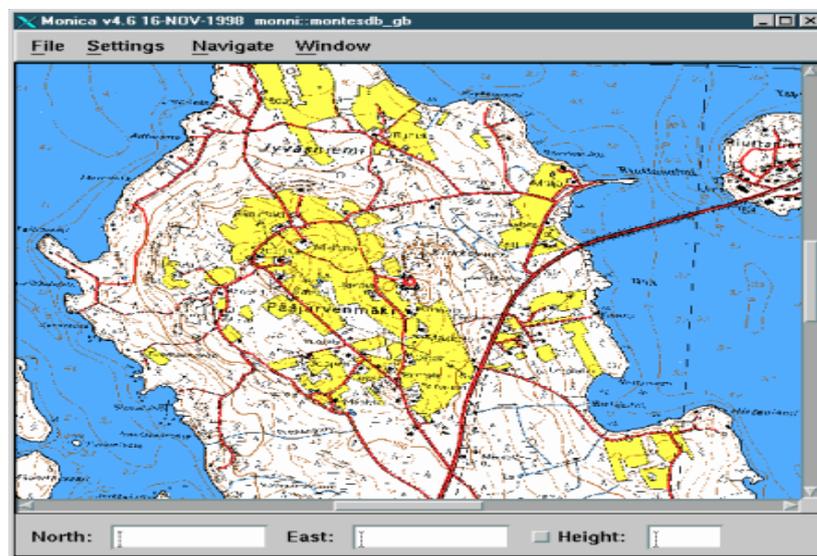
مدل زمین پیش بینی شده بر اثر تخریب متوسط سد.



مدل زمین پیش بینی شده بر اثر تخریب کم سد.

هدف از طراحی تعیین تعداد بهینه ایستگاه های موبایل - تعیین مکان مناسب ایستگاه ها برای پوشش دادن کل منطقه و محاسبه ظرفیت و فرکانس و پارامترهای هر ایستگاه موبایل است که به شبکه موبایل با کیفیت سرویس دهی خوب و با کمترین هزینه احداث منجر شود.

در حالت معمولی بررسی نقشه ها در ابعاد بزرگ عملا امکان پذیر نیست. فاز طراحی فرکانس و ظرفیت باید به صورتی طراحی و تحلیل شود که استفاده کنندگان از موبایل در هر نقطه از منطقه و در هر زمان از شبانه روز از یک توزیع نسبی دریافت فرکانس برخوردار باشند. بدین منظور برای طراحی شبکه موبایل از یک GIS به عنوان یک سیستم تصمیم گیری و از یک DTM به عنوان ورودی سیستم استفاده می شود. محاسبه این پارامترها بدون استفاده از GIS و بدون داشتن نقشه منطقه غیر ممکن است

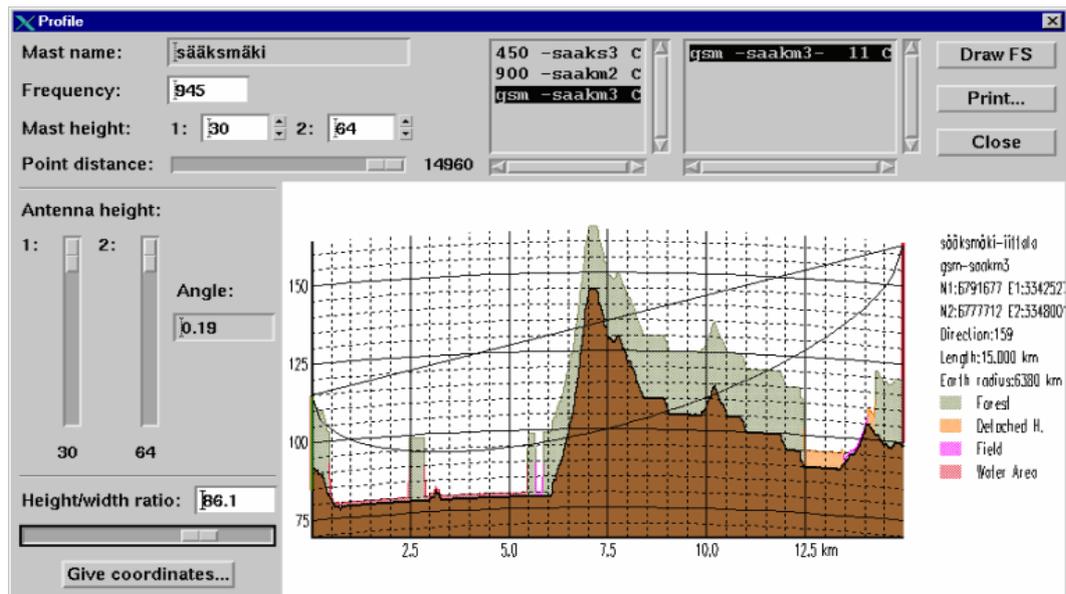


Example:  
Map view for a new cell site

یک شبکه موبایل شامل ایستگاه اصلی، آنتن و تکرار کننده ها می باشند. که به صورت خوبی می تواند در روی نقشه به نمایش در آید. ایستگاه اصلی به سرور متصل میباشد و جهت آنتن و ارتفاع و زاویه تیلت آن نیز بسیار مهم است که این داده ها می توانند در یک DataBase ذخیره شده و قابل استفاده باشند.

طراحی و انتقال فرکانس نیاز به مدل ارتفاعی و پروفیل منطقه دارد و مسئله مهم بحث قابلیت دیداست که با کمک DTM منطقه قابل تحلیل میباشد. در احداث هر طراحی هر ایستگاه نیاز به ۳۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ یورو است که با طراحی مناسب و بهینه صرفه جوئی زیادی در هزینه های احداث می شود. برای یک کشور بزرگ نیاز به ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سایت است که معادل ۱۰۰ میلیون یورو است.

## Example: DTM and land cover profile



### ۹-۳-۱ تولید موزائیک با استفاده از DTM و عکسهای هوایی در اندازه کوچک

اولین گام در بهینه سازی هر پروژه ای آماده کردن نقشه مبنایی میباشد. زمانی که نقشه جدیدی از منطقه پروژه موجود نباشد باید نقشه های قدیمی به روز شوند. و این میتواند با استفاده از نقشه برداری انجام شود اما این روش وقت گیر و گران میباشد روش دیگر استفاده از عکسهای هوایی کوچک مقیاس (SFAP) میباشد که ابزاری مؤثر برای تولید و به روز کردن نقشه منطقه فراهم میکند. این تمرینات روی تولید توپو موزائیک از منطقه شهری **دارالسلام تانزانیا** متمرکز شده است. در منطقه پوشیده شده بوسیله موزائیک اختلاف ارتفاع وجود دارد. یک ترانسفورماسیون خطی برای تصحیح جابجایی هندسی عکسهای هوایی بکار برده میشود. این روش موقعی استفاده میشود که DTM در دسترس باشد. در این تمرین DTM از منحنی میزان و عکسهای تهیه شده که بوسیله مشاهدات زمینی GPS و ثبت تصویر به تصویر زمین مرجع شده اند. بعد از این مرحله نقشه هانمونه گیری مجدد شده و به فرم موزائیک از یک منطقه به همدیگر جسیانده میشوند. یک موزائیک ساخته شده از مجموعه عکسهای هوایی کوچک مقیاس، ابزاری برای تولید نقشه به روز از چنین نواحی فراهم میکند. برای مثال در نواحی حادثه خیز (سیل، زلزله و...)، کاربردهای بالقوه دیگری آشکار و معمولاً تجربه میشود.

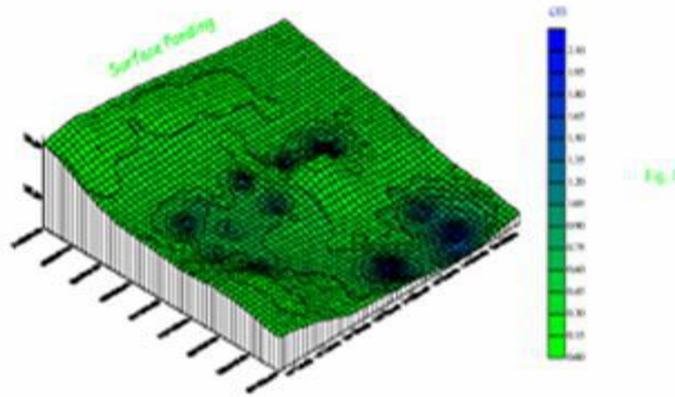


برای مشخص کردن این نکته، موزائیک منطقه Keko Mwanga در دارالسلام تانزانیا برای فعالیتهای زیر استفاده میشود:

- به روز کردن نقشه مبنائی توپوگرافی ۱۹۹۲ از مناطق مسکونی، برای مشخص کردن ساختمانهای جدید و تغییر یافته.
- برای تشخیص و تقدم مشکلاتی که اقامتگاههای محلی در آن نواحی با آنها مواجه هستند. در جلسات گروهی ثابت شده که موزائیک برای درک راحتتر افراد با پیش زمینه قبلی اندک یا بدون پیش زمینه از نقشه و عکسهای هوایی سودمند است.
- در بحث های انجمن روی موقعیت یک قسمت الحاقی به مدرسه ابتدایی
- تعیین محل جمع آوری مواد زائد بایک NGO کارکننده روی محیط
- پیشرفت و بهبود سیستم ثبت ساختمانها، که اساس جمع آوری مالیات محلی برای دولت است .

### ۱-۳-۱۰ مدیریت موازنه آب و خاک

هدف پروژه شبیه سازی و تهیه مدلی رقومی از زمین بنام TERRAE\_SALUS بمنظور نمایش تابع فضایی موازنه آب و خاک است . یکی از کاربردهای DTM تهیه مدلی برای ارزیابی موازنه آب و خاک می باشد. بررسی تغییرات آب و خاک در علوم آبخیزداری و مدیریت منابع آب، کشاورزی و زمینشناسی و... نقش مهمی بازی می کند. مثلاً در کشاورزی میتوان با پیدا کردن مناطقی با موازنه آب و خاک متعادل، به توسعه زمینهای کشاورزی در آن منطقه اقدام کرد.



مراحل جمع آوری داده های مورد نیاز به شرح زیر هستند:

- اندازه گیریهای زمینی
- اندازه گیری داده های میکروویو سنجش از دور
- اندیسه های رطوبت خاک
- مدل آبشناسی زمین

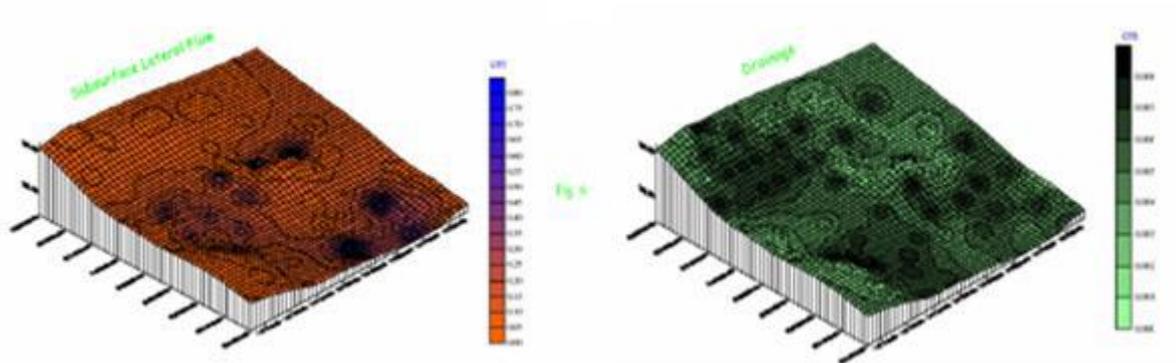
قسمت دشوار این پروژه برقراری ارتباط بین تاثیرات توپوگرافی بر روی موازنه آب و خاک و تابع مربوط به تغییرات موازنه خاک بود. زیرا این تابع (TERRAE) یک مدل دو بعدی از موازنه آب و خاک رادر دو لایه قائم و جانبی نمایش می دهد که باید بر روی مدل توپوگرافی زمین قرار گیرد. تابع TERRAE نیاز به یک مدل رقومی از زمین دارد تا سطح زمین را به پلیگونها نامنظم ولی مرتبط بهم تقسیم کند و مقادیر پردازش شده را در هر کدام از پلیگونها قرار دهد. این تابع پردازشهای خود را، علاوه بر داده های محیطی، بکمک منحنیهای میزان و خطوط جریان آب که از این DEM بدست می آورد، انجام می دهد. هر کدام از پلیگونها بوسیله منحنیهای میزان و خطوط جریان با پلیگونها مجاور در ارتباط است. بعنوان مثال، تابع می تواند تشخیص دهد که آب در المانهای مرتفعتر کمتر جذب می شود و به سمت پلیگونها کم ارتفاعتر مجاور جاری می شود.

خروجی های این تابع شامل پیش بینی فضایی و لحظه ای:

- تغییرات تبخیر آب
- نفوذ آب
- توزیع آب
- زهکشی
- پروفیل خاکهای مازاد و آبرفتی
- پروفیل خاکهای فرسوده

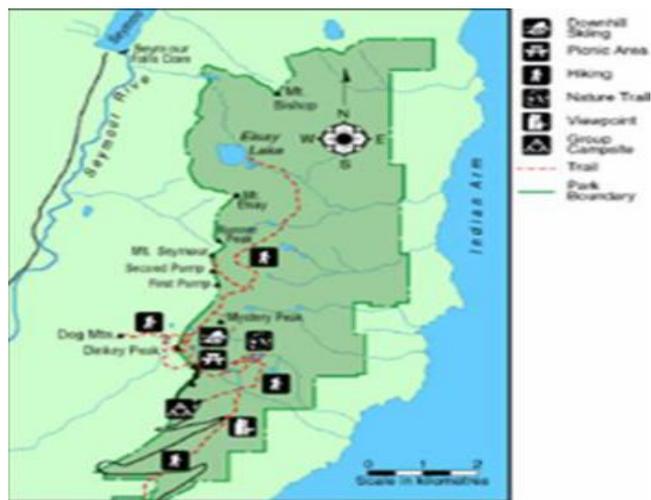
در نتیجه نهایی RMSE بین مدل شبیه سازی شده و اندازه گیریها حدود ۰,۲۲ تا ۰,۶۸ سانتیمتر بدست آمد.





### ۱-۳-۱ نقشه های راهنمای گردشگری

یکی از کاربردهای DTM در تهیه نقشه های راهنما و نمایش مسیرهای پیموده شده توسط یک متحرک است. از جمله این نقشه ها ، نقشه ردپای گردشگران، محققان، کوهنوردان و ... می باشد. به این منظور پروژه ای توسط کمپانی های ITC (Intelligent Information Conversion) و International GIS انجام شد که داده های زمینی و آشناسی لازم را از وزارت حفاظت منابع امریکا دریافت می کرد



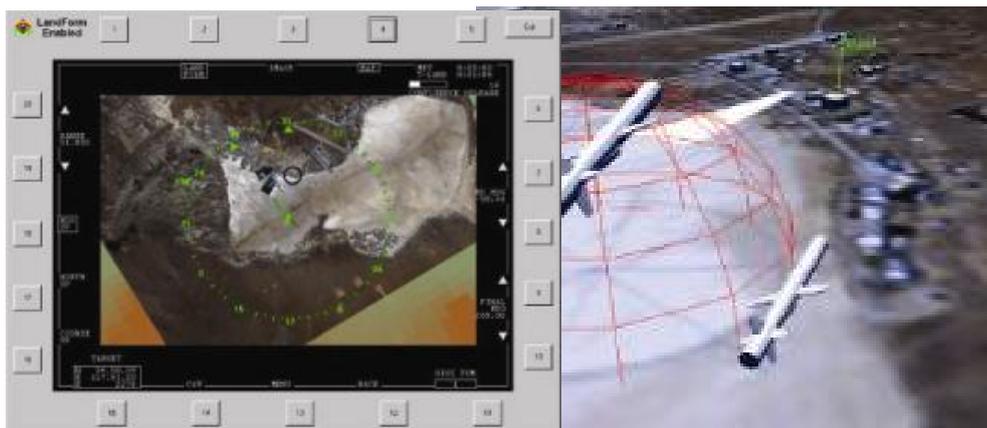
نقشه یک پارک ملی در لهستان نقشه کوه Seymour پارک ایالتی B.C

به کمک DTM یک مدل سه بعدی تهیه گردید بر روی آن منحنیهای میزان و عوارض مشخص گردید در شکل بالا اگر چه در کنار نقشه ، راهنمای نقشه وجود دارد ولی این یک نقشه خطی است و برای گردشگران ، بخصوص افراد ناشی ، تشخیص مسیرها و موانع عبور ، در آن دشوار است. علاوه بر اینها ، کوچک مقیاس و گران بودن تهیه نقشه توپوگرافی ، باعث شد از یک DTM بنام CARIS برای نمایش استفاده شد.

### ۱-۳-۱۲ شبیه سازی مسیر پرواز

این طرح تحقیقاتی توسط شرکت Land Form در امریکا انجام شد . داده ورودی سیستم DTM منطقه بود که برای کاربردهای زیر مورد استفاده قرار گرفت:

- استفاده در طرح پرواز عکسبرداری هوایی
- استفاده در نرم افزارهای شبیه ساز لحظه ای
- استفاده در حافظه ریزپردازنده های موشکهای خودکار و هواپیماهای بدون سرنشین



این طرح قابلیت‌های زیر را دارا بود:

- تهیه DTM با دقت بالا
- طراحی همزمان چند مسیر هوایی بطور مستقل
- انحناى زمین به‌مراه مدل زمین
- استفاده از سایر مدل‌های جهانی

از کاربردهای طرح میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- تجزیه و تحلیل ترافیک هوایی
- برنامه ریزی مأموریت‌های هوایی
- طراحی خطوط هوایی و فرودگاهها
- مطالعات امنیت پرواز

DTM بعنوان یک منبع مهم مدل زمین در پایگاههای داده سیستمهای اطلاعات جغرافیایی اشاره کرد از DTM در جهت تولید انواع محصولات مورد نیاز برای انجام تحلیل های انجامی در GIS استفاده میشود.

- تهیه نقشه های شیب و جهت شیب
- تعیین میزان انحنای زمین
- تعیین خط دید
- تهیه مقاطع طولی و عرضی ارتفاعی زمین
- مدل های سایه زنی و جهت تابش نور خورشید
- طراحی GIS سه بعدی

**توضیح بیشتر شود**

## ۴-۱ مباحث مطرح

به طور کلی مباحث مطرح در DTM شامل مراحل زیر است:

- تولید (generation) DTM: شامل دو مرحله جمع آوری داده ها و ساختار دهی مدل است.
- تغییر و اصلاح (manipulation) DTM: شامل اصلاح خطاهای موجود، تغییر در ساختار مدل، ترکیب کردن و به هم پیوستن DTM های مختلف و ... می باشد.
- تفسیر (interpretation): در واقع استخراج اطلاعات با استفاده از تحلیل DTM می باشد که می تواند مستقیماً در کاربردهای مختلف مثل تهیه نقشه شیب یا شبکه راهها مورد استفاده قرار گیرد.
- نمایش (visualization): نشان دادن نتایج تفسیر و نمایش بصری DTM است.
- کاربرد (application): شامل روشهای اجرایی و الگوریتمها می باشد.

## ۵-۱ ساختار کتاب

این کتاب به دو بخش کلی تقسیم بندی شده است. در بخش اول، کلیه مطالبی که برای فهم مبانی DTM اعم از نحوه تهیه، اطلاع، ارزیابی کیفیت، نمایش و استخراج اطلاعات از آن مورد نیاز است بیان می گردد. در این بین مطالبی که بیش از حد طولانی بوده و یا در برگرنده مباحث پیچیده می شوند در بخش دوم تحت عنوان مباحث پیشرفته بیان خواهند شد. در بخش مقدماتی این مطالب مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت:

### فصل ها در اینجا بیاید

## ۲ تولید DTM

### ۱-۲ مقدمه:

توضیحات کاملی در مورد معرفی DTM و نحوه ساخت آن شامل نیاز به سطح پیوسته، نمونه برداری، پر کردن جاهای خالی به وسیله مدل، بحث بر روش های نمونه برداری و الگوهای آن و نیز واگذار کردن بحث روش های جمع آوری اطلاعات به فصل بعدی در اینجا بیاید.

### ۲-۲ نمونه برداری

همانطور که گفته شد، از آنجا که نقاط نمونه جزئی از DTM هستند، پراکندگی آنها روی دقت DTM تاثیر می گذارد.

در نمونه برداری به روشهای مختلف یک سری از اطلاعات به هر حال از دست خواهند رفت و این اطلاعات با توجه به کاربرد DTM تولید شده دارد ممکن است دارای اهمیت و یا بی اهمیت باشند. مقدار اطلاعات از دست رفته به فواصل نمونه برداری، خصوصیات منطقه و دقت اندازه گیری ها در نمونه برداری نقاط بستگی دارد. بنابراین نمونه برداری باید به روشی انجام شود که تا حد امکان اطلاعات مهم از دست نروند و داده های اضافی و زاید هم برداشت نشوند، یعنی نمونه برداری باید با فاصله نمونه برداری بهینه انجام شود.

#### ۱-۲-۲ پارامترهای موثر در انتخاب الگوی مناسب برای نمونه برداری

در تهیه DTM باید با انتخاب حداقل تعداد نقاط به دقت مطلوب برسیم. در این زمینه دو مشکل اساسی ممکن است ایجاد شود. یکی Under - Sampled است که در آن به علت کم بودن تعداد نقاط نمونه برداری شده نسبت به شکل زمین و شکستگیهای آن، DTM تولید شده کم دقت می شود و ممکن است حتی مورد قبول نباشد. در بعضی موارد ممکن است به نمونه برداری مجدد نیاز باشد. مشکل دیگر Over - Sampled است که در آن به علت تراکم زیاد نقاط نمونه برداری شده، زمان مشاهده و انتخاب نقاط، حجم عملیات کامپیوتری و ذخیره سازی داده ها بالا می رود.

## توضیح در مورد پارامترهای انتخاب الگوی مناسب

### ۲-۲-۲ تقسیم بندی روش های نمونه برداری از نظر میزان اتوماسیون

روش های نمونه برداری را از دیدگاه لزوم وجود اوبراتور و امکان اتوماسیون به سه دسته به ترتیب زیر تقسیم بندی می کنند:

#### ۱- نمونه برداری دستی یا manual sampling

این روش کند و خسته کننده است ولی همه منطقه به دقت مورد بررسی و تفسیر قرار می گیرد. عوارض به درستی تشخیص داده شده و نقاط حساس انتخاب می گردند. این روش به عنوان تکمیل کننده روش های دیگر نیز استفاده می شود. روش انتخابی از این دسته است.

#### ۲- نمونه برداری اتوماتیک

این روش، روشی سریع و ساده است اما نمی تواند به درستی شکل واقعی زمین را ایجاد کند و تغییرات ناگهانی را نشان دهد. این نوع نمونه برداری برای مقیاس های کوچک قابل استفاده است. روش های تدریجی و سیستماتیک از این دسته اند.

### ۳- نمونه برداری نیمه اتوماتیک

بهترین روش به ویژه برای مناطق با مقیاس بزرگ است که با استفاده از کنترل اوپراتور و استخراج داده های تکمیلی، کامل می شود. این روش در واقع ترکیب اوپراتور و کامپیوتر است. روش ترکیبی از این دسته است که در آن روش سیستماتیک و یا تدریجی با روش انتخابی ترکیب می شود. این روش کامل ترین روش نمونه برداری برای تهیه DTM است.

در مناطق بدون تغییرات ناگهانی و اختلاف ارتفاعات زیاد با استفاده از روش تدریجی نمونه برداری به خوبی انجام می شود ولی اگر تغییرات زیاد باشد داده های مهمی ممکن است از دست برود. این مشکل با تراکم کردن بیشتر شبکه حل نمی شود زیرا با افزودن داده خواهد شد. در این حالت از روش انتخابی به همراه روش تدریجی استفاده می شود.

در این جا روشهای مختلف نمونه برداری ذکر شده و مورد مقایسه قرار می گیرند.

### توضیح بیشتر

#### ۳-۲-۲-۱ روش انتخابی یا تصادفی (Random or selective)

در این روش، برداشت نقاط به صورت دستی و با تصمیم اپراتور انجام می شود. به علت دخالت اپراتور، با حداقل نقاط برداشت شده حداکثر دقت حاصل می شود. معمولاً شکستگیها و نقاطی که نبودشان باعث ایجاد خطای جدی می شود، برداشت می شوند. هم چنین در بعضی موارد اطلاعات توصیفی منطقه نیز مورد برداشت قرار می گیرند. نقاط باید به گونه ای برداشت شوند که دقت دلخواه در DTM نهایی حاصل شود. مزیت این روش امکان برداشت همه نقاط شکستگی، دقت بالا و امکان برداشت اطلاعات توصیفی به صورت دستی است. از معایب این روش آن است که به وسیله اپراتور انجام می شود و نیاز به تخصص بالا دارد. هم چنین نمی توان آنرا به صورت اتوماتیک انجام داد و سرعت نمونه برداری پایین است. به دلیل وجود چنین مشکلاتی از روشهای سیستماتیک استفاده می شود که در آنها منطقه طبق مسطحات و بدون در نظر گرفتن شکل زمین تقسیم بندی شده و نقاط نمونه برداشت می شوند.

### شکل

#### ۳-۲-۲-۲ روش سیستماتیک (systematic)

در این روش به شکل و پیچیدگی منطقه توجه نمی شود و فاصله بین نقاط معمولاً ثابت است. با استفاده از مختصات گوشه های منطقه شبکه منظمی ایجاد شده و X و Y نقاط شبکه محاسبه می شود. سپس در این نقاط برداشت به صورت ارتفاعی انجام می شود. این شبکه منظم به شکلهای مختلفی ایجاد می شود:

- مربعی (Grid): رایج ترین روش ایجاد شبکه های منظم است که در آن تمام منطقه به مربع های مساوی تقسیم می شود و در رئوس مربع ها ارتفاع نقاط برداشت می شود.
- پروفیل (Profile): شبکه به صورت مستطیلی است، چون فاصله نقاط دو پروفیل بیشتر از فاصله بین نقاط در هر پروفیل است.
- مثلثی (Triangle): فاصله بین نقاط ثابت است اما اجزای شبکه مثلث هستند.
- شش ضلعی (Hexa): اجزای شبکه به صورت شش ضلعی هستند. این شبکه دارای استحکام بالاتری نسبت به حالت های قبل است.

در روش سیستماتیک فاصله برداشت نقاط یا ابعاد cell های شبکه بستگی به دقت مورد درخواست و پیچیدگی و نوع منطقه دارد. اما این فاصله در قسمتهای مختلف منطقه ثابت باقی می ماند. حسن این روش قابلیت آن برای برنامه ریزی کامپیوتری و اتوماتیک کردن است. اما عیب آن عدم توجه به شکل منطقه، حجم بالای اطلاعات برداشت شده و دشوار بودن تعیین فاصله بهینه نمونه برداری است.

#### پارامترهای انتخاب روش های فوق + شکل

## ۲-۳-۳ روش تدریجی (Progressive)

در این روش بر خلاف روش قبل منطقه بر حسب نوع و پیچیدگی عوارض تقسیم بندی می شود. در واقع هدف آن است که فاصله بهینه نمونه برداری با حداقل تعداد نقاط و بالاترین دقت حاصل شود. معمولاً تقسیم بندی منطقه مانند روش quadtree است. در این روش ابتدا منطقه به چهار قسمت تقسیم می شود. در هر قسمت بررسی می شود که آیا ارتفاع نقطه وسط با استفاده از نقاط گوشه ای با دقت مناسب به دست می آید یا نه؟ در صورت منفی بودن جواب، منطقه مورد بررسی به چهار قسمت کوچکتر تقسیم می شود و به همین ترتیب تا کل منطقه مورد بررسی قرار بگیرد. در واقع با این کار در مناطق پر عارضه یا دارای تغییرات ارتفاعی زیاد، تعداد نقاط بیشتری برداشت می شود. حسن این روش آن است که قابل برنامه نویسی است و دقت بالاتر و تعداد نقاط کمتری نسبت به روش سیستماتیک دارد. اما عیب روش تدریجی آن است که وقتی ارتفاع نقطه داخلی شبکه مورد بررسی قرار می گیرد ممکن است به طور تصادفی مقدار مناسبی حاصل شود اما در این فاصله شکستگی یا تغییرات شیب وجود داشته باشد.

### شکل + نحوه محاسبات

## ۲-۳-۴ روش ترکیبی (Composite)

برای حذف مشکلات روشهای پیش از روش ترکیبی استفاده می شود. مثلاً همانطور که ذکر شد در جاهاییکه تغییرات شیب منطقه زیاد است با کوچکترین خطا، امکان اشتباه وجود دارد. در این حالت تشخیص اینکه در کدام منطقه باید نقطه نمونه در نظر گرفته شود، دشوار است. پس با تلفیق روش تدریجی با کار اوپراتور (به منظور بررسی بهتر شیب منطقه) روش ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرد. اوپراتور می تواند برای جلوگیری از افزایش حجم داده، تعداد تقسیم های روش تدریجی را محدود کند و بقیه کار را به صورت برداشت تصادفی انجام دهد. اما در این روش به علت دخالت اوپراتور بحث اتوماسیون دچار مشکل می شود.

در بعضی از روشهای نمونه برداری مثل روشهای سیستماتیک و انتخابی، تراکم، فاصله و نحوه توزیع نقاطی که باید انتخاب شوند از قبل مشخص است و یا بر اساس تفاسیر اوپراتور در طول عملیات تعیین می گردد. برخی دیگر از روشها تعیین تراکم نقاط و فاصله آنها در طول عملیات نمونه برداری به صورت On-line انجام می شود. مثلاً در روش تدریجی، عملیات نمونه برداری با حداقل تعداد نقاط انجام می شود و اگر دقت مورد نیاز با این تعداد نقطه حاصل نشد، عملیات دوباره تکرار می شود تا چگالی نقاط با خصوصیات و شکل منطقه متناسب شود.

## ۲-۳ تهیه مدل DTM (Model Construction)

### ۲-۳-۱ مقدمه

پس از انجام عمل نمونه برداری یک مجموعه نقاط یا سطحی ناپیوسته از سطح پیوسته زمین به دست آمده است. در این مرحله باید دوباره به یک سطح پیوسته یعنی DTM دست یافت. برای این کار به یک مدل نیاز است که می تواند به صورت یک رویه و یا یک حجم (solid) باشد.

- سطوح تابعی (functional surface)

در این حالت از یک تابع به صورت  $Z=f(x,y)$  برای نمایش سطح استفاده می شود. در واقع برای هر نقطه با مختصات  $(x,y)$  مشخص فقط یک  $Z$  وجود دارد این سطح، سطحی  $2/5$  بعدی است زیرا فواصل بین نقاط نمونه از طریق



وابستگی بین نقاط پر می شوند. در واقع به علت وابستگی نقاط به هم سطح ایجاد شده سه بعدی کامل نیست. از این مدل بیشتر در فتوگرامتری استفاده می شود.

- سطوح توپیر (solid models)

این مدل ها در حقیقت حجم ندارند اما یک فضای سه بعدی حجم مانند را اشغال می کنند. در این حالت برای هر نقطه با یک  $(x,y)$  ممکن است چندین مقدار  $Z$  به دست آید. اجزای تشکیل دهنده این فضا به جای پیکسل با عنوان voxel شناخته می شوند. این مدل در GIS، زمین شناسی، هواشناسی و فیزیک کاربرد زیادی دارند. یکی از خصوصیات عمده سطوح DTM آن است که سطوح باید پیوسته باشند یعنی اولاً اگر از دو راستا به سمت یک نقطه حرکت شود یک مقدار  $Z$  به دست آید، هم چنین در فاصله سطوح هیچ گسستگی وجود نداشته باشد.

۲-۳-۲ روش های تشکیل سطح

برای تشکیل سطح می بایست توپولوژی بین نقاط ایجاد شود. توپولوژی رابطه بین مختصات نقاط را مشخص می کند و داده ها بر این اساس ذخیره سازی می شوند. توابع مناسب برای ایجاد توپولوژی عبارتند از:

- contour که در واقع محل تقاطع یک صفحه با یک رویه است

- Grid که یک شبکه منظم است

- TIN (Triangulation Irregular Model)

استفاده از هر کدام از این روشها به این بستگی دارد که داده ها از چه منبعی تهیه شده اند. مثلاً در صورتیکه نقاط به طور نامنظم برداشت شده باشند از روش TIN و وقتی از روش سیستماتیک برای برداشت استفاده شده باشد از روش grid استفاده می شود. هم چنین نحوه و نوع استفاده ای که مورد نظر مدل های DTM است در تعیین روش برای توپولوژی موثر است.

۲-۳-۲-۱ شبکه های منظم

### توضیح اضافه شود

۲-۳-۲-۲ مثلث بندی

روش مثلث بندی به طور کلی، اهداف و مزایا و معایب و نمونه شکل و اسامی درش های اینجا بیاید

به منظور ایجاد توپولوژی TIN روشهای مختلفی برای مثلث بندی وجود دارد که تعدادی از آنها عبارتند از:

- Delaunay Triangulation
- Radial Sweep
- Greedy Triangulation

۲-۳-۲-۱ روش Delauney

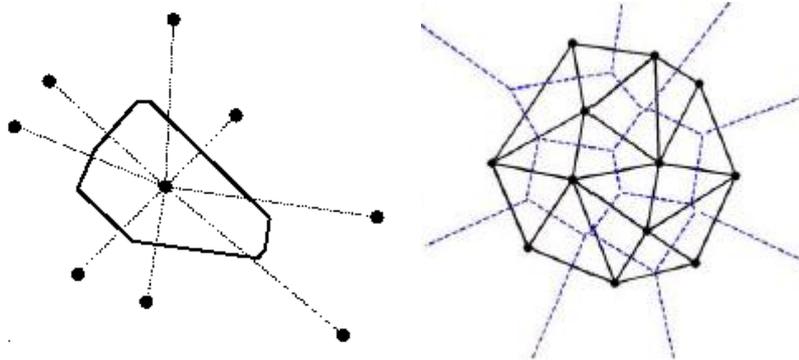
از آنجا که این نوع مثلث بندی، مستقل از نقطه شروع است و همواره شکل واحدی را ارائه می کند ویکه می باشد توانایی ایجاد دوباره این سطوح برای یک مجموعه از نقاط را دارد. علاوه بر این مزیت، تولید مثلث های باریک که موجب بروز خطا در درونبایی بین نقاط می شود، به حد اقل میرسد زیرا در این روش تا حد امکان از مثلث های متساوی الاضلاع استفاده می شود.

پیش از توضیح روش Delaunay ابتدا توضیحاتی راجع به دیاگرام Voronoi که با این مثلث بندی دارای ارتباط است داده می شود. این دیاگرام در سال ۱۸۵۰ توسط Peter Lijeune Dirichlet بحث شد. اما در سال ۱۹۰۸ در مقاله Voronoi این مطلب باز آورده شد، لذا از آن پس دیاگرام Voronoi نام گرفت.

در این دیاگرام هر نقطه قلمرویی را که ناحیه ای از صفحه است دارا می باشد که به آن نقطه از هر نقطه دیگر نزدیکتر است. در این روش مجموعه ای از پلیگون های محدب بدون هم پوشانی تولید می شود که کل محدوده را می پوشاند. این کار از طریق رسم عمود منصف های هر یال انجام می شود که نواحی محصور بین عمود منصف ها مناطق مربوط به هر نقطه خواهند بود. (شکل)

تعریف ریاضی دیاگرام به این صورت است :

$$D_i = \{P: \|P - P_i\| < \|P - P_j\|, i < j\}$$

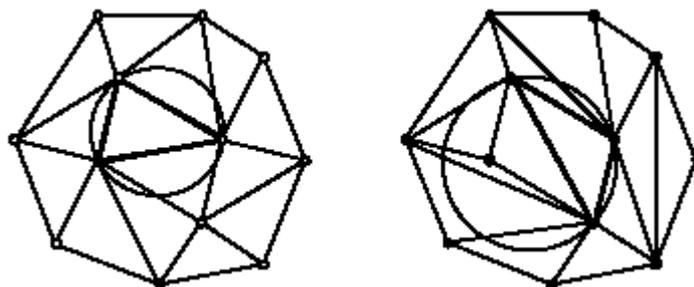


شکل: دیاگرام Voronoi

اگر یک نقطه فاصله اش از دو یا چند سایت مساوی باشد، آن موقعیت بین دو نقطه تقسیم می شوند. در نتیجه نقاطی که تنها به یک نقطه منتسب می شوند قسمت داخلی دیاگرام Voronoi را تشکیل می دهند و نقاطی که به دو سایت و بیشتر منتسب می شوند مرزها را مشخص می کنند.

اگر دیاگرام Voronoi را به عنوان مبنا در نظر گرفته شود، می توان مثلث بندی Delaunay را با کشیدن خطوط بین سایت های پلیگون های مجاور بدست آورد. اما با توجه به اینکه تشکیل مثلث بندی Delaunay در کامپیوتر آسانتر از دیاگرام Voronoi است، معمولاً آن را به طور مستقیم بدست می آورند. زیرا قانون اصلی برای تولید مثلث بندی Delaunay در قانون دایره فرمول می شود.

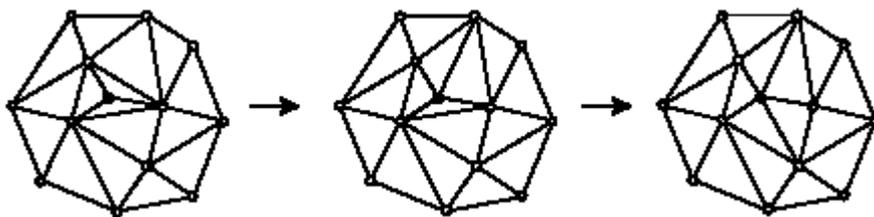
در مثلث بندی Delaunay دایره ای که از هر مثلث می گذرد نباید شامل هیچ نقطه دیگری شود. (شکل)



شکل: مثلث بندی Delaunay (شکل سمت چپ دارای شرایط است)

در صورتی که برای یک مجموعه از نقاط روی سطح مسطح، مثلث بندی Delaunay با شرط بالا ایجاد شود آنگاه دارای خواص ویژه ای به شرح زیر خواهد بود:

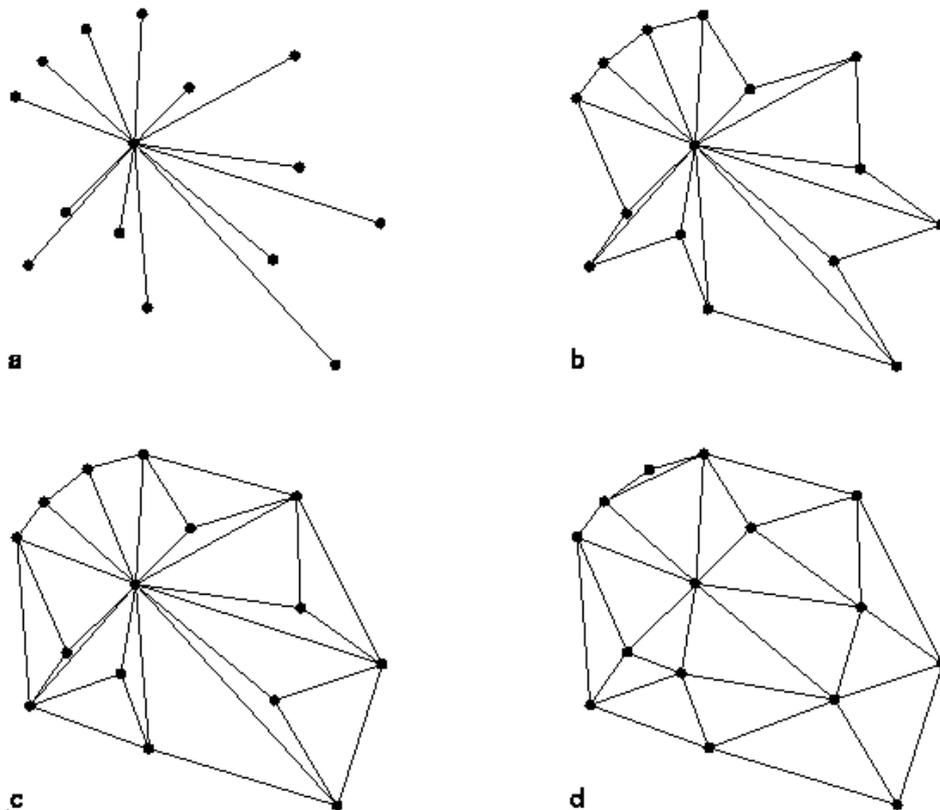
- ۱- مثلث بندی واحد است، یعنی از هر نقطه ای که شروع شود به یک شکل یکسان می رسد
  - ۲- یال های خارجی مثلث بندی Delaunay مرز Convex hull را برای مجموعه نقاط تشکیل می دهند
  - ۳- مثلث ها در این حالت به متساوی الاضلاع نزدیک هستند
  - ۴- گرافی مسطح است که حد اکثر  $3n-1$  یال و حد اکثر  $2n-5$  مثلث دارد که  $n$  تعداد سایتها می باشد، بنابراین برای تعیین نزدیکترین جفت سایت به جای بررسی تمام حالتها ممکن  $(n(n-1)/2)$  فقط  $3n-6$  جفت را بررسی می کنیم.
  - ۵- به جهت مزایایی که دارد، اغلب از سوی متخصصین نرم افزار به عنوان روش اصلی مورد استفاده قرار می گیرد.
- در شکل مراحل تشکیل یک مثلث بندی Delaunay مشخص است.



**شکل: تعدیل مثلث بندی برای رسیدن به Delaunay.**

#### ۲-۲-۲-۳-۲ روش Radial Sweep

در این روش نقطه ای که در مرکز منطقه واقع شده است به عنوان نقطه اولیه برای مثلث بندی انتخاب می شود و فاصله و جهت نقاط دیگر مجموعه از این نقطه مرکزی محاسبه و ذخیره می شوند. بعد از آن، با اتصال نقاط به نقطه مرکزی و با خطوط رسم شده بین نقاط مثلث های باریک و بلندی به وجود می آید. اگر دو نقطه در یک جهت باشند آنها یک جفت مثلث در هر خط مشترک تشکیل می دهند. بعد از اینکه اولین Sweep انجام شد، تقعرها که بوسیله مثلث بندی radial sweep اولیه تشکیل شده است باید بوسیله مثلث های جدید پر شوند. هر نقطه روی مرز با دو نقطه بعدی موجود در لیست مقایسه می شوند و بررسی می شود که آیا یک مثلث داخلی می تواند تشکیل شود یا نه، اگر چنین بود، مثلث جدید به داده ها اضافه می شود. در این حالت تمام نقاط، مثلث هایی بدون همپوشانی تشکیل داده اند. به هر حال اشکال و اتصالات مطلوب نیستند و برای بهینه نمودن اشکال، هر مثلث در برابر هر یک از همسایه هایش امتحان می شود. بدین ترتیب که یک چهار ضلعی بوسیله یک جفت مثلث تشکیل میشود. پس از محاسبه فواصل دو جفت نقطه روبروی هم اگر فاصله بین نقاط مشترک دو مثلث بزرگتر از فاصله دو نقطه دیگر باشد، نقاط طوری تعیین می شوند تا مثلثی با اضلاع کوتاهتر حاصل شود، این عمل بصورت تکراری و متوالی انجام می شود تا این شرط برای همه مثلثها برقرار شود. مراحل انجام این روش مثلث بندی در شکل شماره نمایش داده شده است.



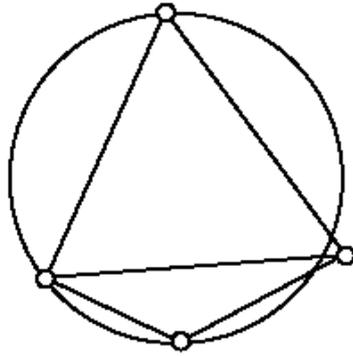
شکل شماره: مثلث بندی به روش Radial sweep

### ۲-۲-۳-۲ روش Greedy

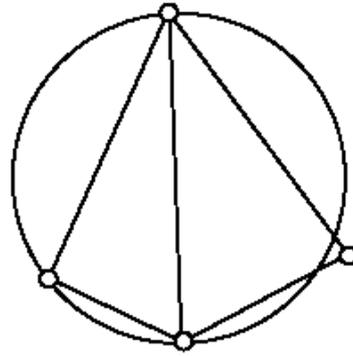
اساس این روش بر مبنای مینیمم کردن طول یالهای مثلث ها می باشد. در این روش مثلث بندی با متصل کردن اولین نقطه به نزدیکترین نقطه اطرافش شروع می شود. سپس از آن نقطه به نقطه ای با کوتاهترین فاصله نسبت به آن خطی رسم می شود. این کار تا جایی ادامه می یابد که هیچ نقطه ای بدون اتصال به نقاط دیگر باقی نمانده باشد. البته باید توجه شود که هیچ خطی، نباید خطوط رسم شده قبلی را قطع کند.

در مرحله بعد با مقایسه مثلث های همسایه و با در نظر گرفتن هر دو مثلثی که کنار هم قرار گرفته اند، مساله کوتاهترین فاصله بین نقاط مورد بررسی قرار می گیرد. به این صورت که از دو مثلث مجاور یک مستطیل قابل استخراج است که با در نظر گرفتن قطر های آن مثلث هایی پذیرفته می شوند که قطر کوچک را به عنوان یک ضلع در بر داشته باشند.

نتیجه این روش مثلث بندی بسیار شبیه به نتیجه روش Delaunay و گاهی اوقات منطبق بر آن است. شکل شماره تفاوت این دو روش را نشان می دهد.



Shortest Distance Triangulation



Delaunay Triangulation

شکل: تفاوت مثلث بندی Greedy با Delaunay

### ۳-۳-۲ روش های انترپولاسیون

هدف از درونیابی آن است که با استفاده از یک مجموعه نقاط سطحی پیوسته تولید شود. در واقع بوسیله درونیابی ارتفاع (Z) در نقاط برداشت نشده بین نقاط نمونه تخمین زده می شود. در واقع تولید این سطح به دو صورت امکان پذیر است. اول آنکه سطح کاملاً از نقاط نمونه بگذرد (exact) و دیگر آنکه سطح بر نقاط نمونه برآزش داده شود (inexact).

در چندین مورد دیگر نیز نیاز به درونیابی احساس می شود. یکی آنکه قدرت تفکیک مورد نظر با قدرت تفکیک فعلی برابر نباشد. دیگر آنکه مدل به کار برده شده برای تهیه DTM با مدل دلخواه یکسان نباشد و لازم باشد که مدلها به هم تبدیل شوند. مثلاً در تبدیل مدل شبکه (grid) به TIN و بر عکس. هم چنین در صورتیکه ارتفاع نقاط در خارج از محدوده نقاط نمونه، مورد نظر باشد، در واقع عمل برونیابی (extrapolation) انجام می شود. در مورد مساله درونیابی باید به این نکته توجه شود که برای حالات مختلف هیچ گاه استفاده از یک مدل به عنوان مدل بهینه پیشنهاد نمی شود چون یک مدل خاص در شرایط مختلف دقتهای متفاوتی را حاصل می کند. دقت نقاط برداشت شده، پراکنندگی نقاط و توزیع آنها، تراکم و چگالی نقاط و توانایی مدل انترپولاسیون دقت DTM نهایی را مشخص می کند و انتخاب مدل باید بر مبنای دقت، سرعت و قدرت نمایش عوارض خاص یا تشخیص مناسب آنها صورت گیرد.

مدلهای درونیابی بر مبنای پوشش منطقه ای به دو دسته سراسری (global) و محلی (local) تقسیم می شوند.

### ۱-۳-۳-۲ روش های Global

در این روش از همه نقاط نمونه استفاده می شود تا یک فرمول یا چند جمله ای واحد برای تخمین ارتفاع در تمام نقاط مدل تولید شود. یکی از مهمترین این روشها روش Trend Surface Analysis (TSA) است. در این روش هدف تعیین ارتفاعات کل منطقه با یک چند جمله ای به فرم  $Z = f(x,y)$  است. ضرایب این چند جمله ای از طریق روش کمترین مربعات به دست می آید.

## شکل

در این روش فرض بر آن است که سطوح را می توان به صورت ترکیبی از یک سطح Trend و یک سطح باقیمانده (residual) نمایش داد. به عنوان مثال برای یک سطح درجه یک داریم:

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + e(x, y)$$

که در آن چند جمله ای  $a_0 + a_1x + a_2y$  چند جمله ای Trend و  $e(x, y)$  مقدار باقیمانده است. در این روش تلاش می شود که Trend به اندازه ای به زمین منطبق شود که مقدار باقیمانده به صفر نزدیک شود. برای معادلات درجه یک معادلات به شکل زیر در می آیند:

$$\sum_{i=1}^n z_i(x, y) = na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_i z_i(x, y) = a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$\sum_{i=1}^n y_i z_i(x, y) = a_0 \sum_{i=1}^n y_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i y_i + a_2 \sum_{i=1}^n y_i^2$$

که در آنها  $n$  تعداد نقاط نمونه و  $Z$  مقدار ارتفاع برداشت شده است. با سه معادله حاصل شده، سه مجهول یعنی ضرایب معادله قابل محاسبه هستند. برای معادلات درجه بالاتر شکل کلی معادله به صورت زیر خواهد بود که با عنوان Global Polynomials شناخته می شوند.

$$z(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i a_{ij} x^i y^j$$

وقتی در محاسبات با اعداد بزرگ سر و کار داشته باشیم ماتریسها بسیار بزرگ می شوند. در این حالت معادلات از استحکام کافی برخوردار نیستند و یا به عبارتی *unstable* هستند. برای رفع این مشکل دو راه حل وجود دارد:

۱- بردن معادلات به مرکز ثقل که به این صورت انجام می شود:

$$x_c = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad \text{و} \quad \bar{x}_i = x_i - x_c$$

$$y_c = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad \text{و} \quad \bar{y}_i = y_i - y_c$$

$$z_c = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{n} \quad \text{و} \quad \bar{z}_i = z_i - z_c$$

۲- نرمال کردن معادلات به صورت:

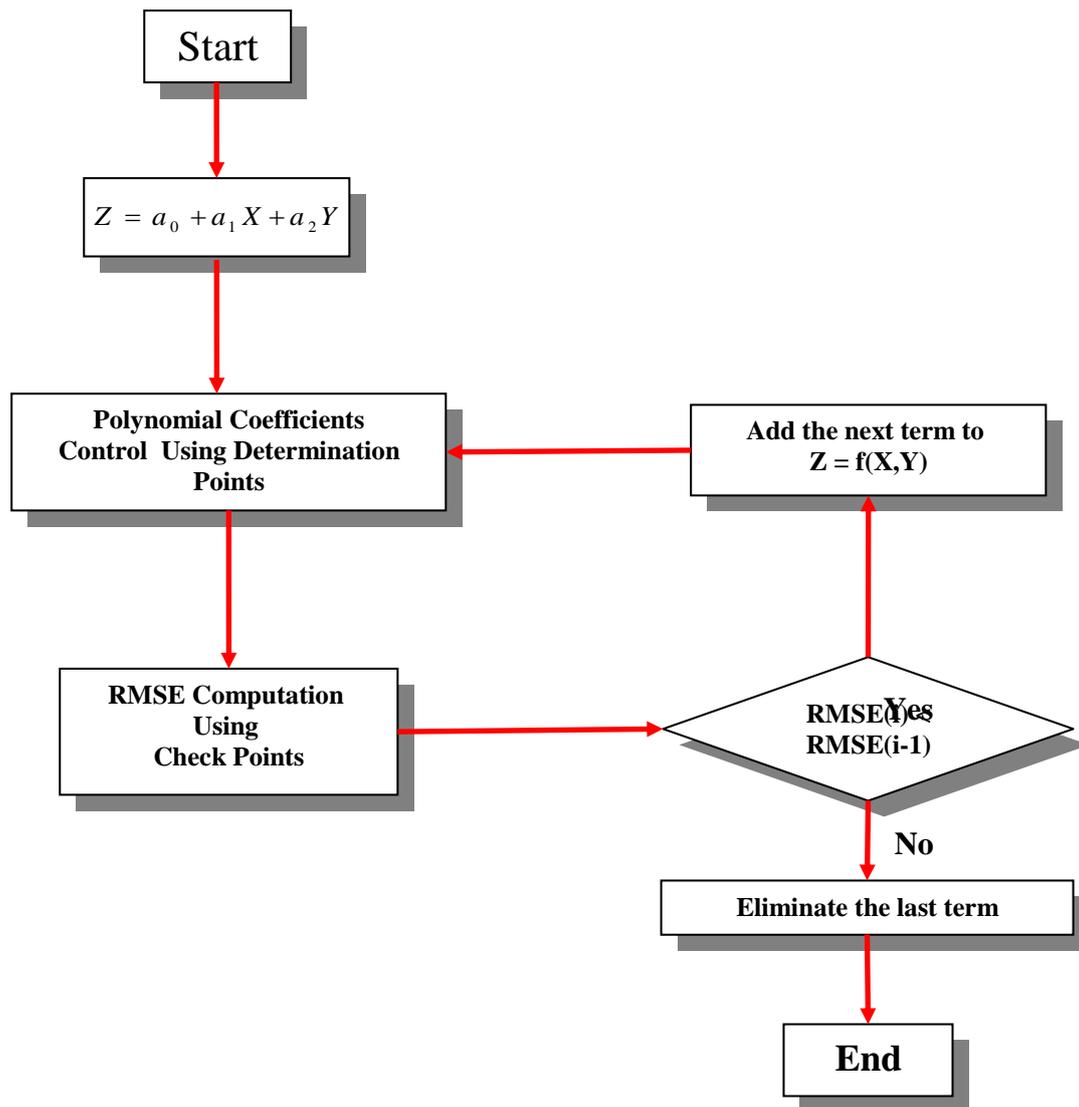
$$x_n = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

$$y_n = (y - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min})$$

$$z_n = (z - z_{\min}) / (z_{\max} - z_{\min})$$

البته این معادلات در حین محاسبات استفاده می شوند و پس از محاسبه بایستی آنها را به حالت واقعی برگرداند. برای حل معادلات و به دست آوردن ضرایب باید به تعداد کافی نقطه برداشت شده باشد. فاصله بین نقاط باید مناسب باشد و نقاط به خوبی پراکنده شده باشند.

فلوچارتی که در **شکل شماره** مشاهده می کنید، روش معمول استفاده از Global Polynomials را به صورت کلی نمایش می دهد.



شکل شماره: عملیات معمول در استفاده از Global Polynomials در تولید مدل DTM

نحوه کار به این صورت است که عملیات با یک چند جمله ای از درجه ۱، شامل سه ترم اول چند جمله ای شروع می شود. نقاط Sampling به دو دسته تقسیم می شود. دسته اول نقاط کنترل که از این نقاط به منظور محاسبه ضرایب چند جمله ای استفاده می شود و دسته دوم نقاط چک که از آنها به منظور ارزیابی دقت مدل استفاده می گردد. ابتدا با استفاده از نقاط کنترل، ضرایب چند جمله ای ها با استفاده از روابط فوق محاسبه می گردد. سپس با استفاده از نقاط چک دقت حاصل از این ضرایب مورد محاسبه قرار می گیرد. در مرحله بعد یک ترم به ترم های چند جمله ای اضافه می می شود و دوباره مقدار ضرایب را برای این چند جمله ای جدید، با استفاده از نقاط کنترل محاسبه شده و سپس مقدار RMSE با استفاده از نقاط چک برای این چند جمله ای تعیین می شود. حال در این مرحله مقدار RMSE با مقدار قبلی آن مورد مقایسه قرار می گیرد. در صورتی که مقدار RMSE جدید از مقدار قبلی آن کمتر باشد، مشخص می شود که دقت چند جمله ای با اضافه شدن این ترم نسبت به حالت قبل بهتر شده است. بنابراین اضافه نمودن ترم ها ادامه می یابد. در غیر این صورت، یعنی در حالتی که RMSE موجود نسبت به RMSE قبلی بیشتر شده باشد، ترم اضافه

شده به جای حذف خطا خود به مدل خطا وارد نموده است. بنابراین لازم است این جمله از از چند جمله ای حذف شود. حال می توان از چند جمله ای حاصل به منظور محاسبه مقدار تابع در نقاط مجهول استفاده نمود. چنانچه تعریف مدلی برای چند منطقه با مرز مشترک لازم باشد، برای هر منطقه یک مدل تعریف می شود و لازم است مدلها در مرزها دچار گسستگی نشوند، از این رو بهتر است از مرزهای fuzzy یا buffering استفاده شود. در این حالت یک محدوده به عنوان مرز در نظر گرفته می شود و نقاط این محدوده در تعیین معادلات هر دو مدل شرکت می کنند.

روش TSA در مواردی که دقت زیادی مورد نظر نمی باشد مثل فاز های اولیه حجم عملیات خاکی و مسیر مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش چون با یک فرمول یک مدل واحد حاصل می شود، سرعت تعیین Z بالاست و محاسبات معادلات با درجه پایین زمان کمی میگیرد. در واقع ساده بودن مدل و برنامه پذیر بودن از مزایای این روش می باشند. این روش برای داده هایی که از خاصیت آماری برخوردار می باشند مناسب است. اما در عمل داده ها معمولاً ماهیت آماری ندارند یعنی به هم وابسته نیستند بلکه مانند شکل زمین ماهیت اتفاقی دارند و این مدل نمی تواند این تغییرات محلی را به خوبی نمایش دهد. یکی از دیگر مشکلات این روش آن است که مدلهای درجه بالا تعریف و توجیه فیزیکی ندارند و unstable هستند. هم چنین این مدلها در مواقعی که به برونیابی (extrapolation) نیاز است دچار مشکل می شوند و به علت نداشتن توپولوژی، فقط آنالیزهای ساده را پشتیبانی می کنند. عیب این روش آن است که نسبت به روش معمول روش پیچیده تری است و در نتیجه استفاده از آن تنها در مواردی پیشنهاد می شود که دقت بالاتری مد نظر باشد. همینطور سرعت این روش از روش قبل کمتر است.

## ۲-۳-۳-۲ روش های Local

در این روش مدل بر اساس نقاط همسایه برازش داده شده و تولید می شود. در روش TSA به توپولوژی یا همسایگی نقاط توجهی نمی شود اما در این روش پنجرههایی تعریف می شود و نقاطی که در آن منطقه قرار می گیرند در برازش یک مدل شرکت می کنند. پس از مدلسازی محلی مراحل به ترتیب زیر می باشد:

ایجاد توپولوژی

تهیه مدل درونیابی و برآورد Z نقاط به کمک مدل تهیه شده

قبل از بررسی این مدلها، بایستی به چند نکته در مورد انتخاب روش درونیابی توجه شود که عبارتند از:

- اندازه، شکل و جهت محدوده ای که همسایگی نقاط را مشخص می کند.

- تعداد نقاط مورد استفاده در تعیین مدل بسته به تعداد درجات چند جمله ای ها

- پراکندگی و توزیع نقاط (منظم یا نامنظم)

- نوع و درجه مدل (صفحه، صفحه خمیده و ...)

- استفاده یا عدم استفاده از نقاط خاص (خط القعر، خط الراس و ...)

### توضیح بیشتر

روشهای درونیابی محلی به ترتیب زیر تقسیم بندی می شوند:

۱- TINbased که شامل Linear، Second Exact Fit و Quintic است.

۲- Gridbased که شامل Nearest Neighbour، Linear، Bilinear، Cubic Convolution و

IDW است.



## ۲-۳-۳-۱ روش های مبتنی بر ساختار TIN

این روشها بر پایه توپولوژی TIN قرار دارند.

### • Linear

در این روش برای به دست آوردن ارتفاع نقطه ای مثل  $p$  از ارتفاع های رئوس مثلثی که نقطه  $p$  در آن واقع است استفاده می شود. این کار به دو روش برداری و ماتریسی قابل انجام است.

روش برداری: با نوشتن معادله صفحه به صورت زیر تنها یک مجهول  $Z_p$  موجود می باشد که قابل محاسبه است.

$$[\vec{b} - \vec{a}] \times (\vec{c} - \vec{a}) \cdot (\vec{p} - \vec{a}) = 0$$

روش ماتریسی: به صورت برازش یک چند جمله ای عمل می کند مثلاً:

$$z_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i$$

که ضرایب  $a$  مجهولات هستند و با استفاده از معادلات و مشاهدات محاسبه می شوند. سپس با استفاده از معادله زیر می توان ارتفاع نقطه  $p$  را به دست آورد.

$$z_p = a_0 + a_1 x_p + a_2 y_p$$

این روش منجر به تولید یک سطح پیوسته می شود که البته این سطح نرم (smooth) نیست یعنی بردار عمود بر سطح ممکن است تغییرات ناگهانی داشته باشد.

### • Second Exact Fit

در این روش سطح از درجه در انتخاب می شود. در این سطح، نقاط سه مثلث جانی مورد استفاده قرار می گیرند و سطح باید از ۶ نقطه عبور کند پس معادله به صورت زیر خواهد بود:

$$z_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 x_i y_i + a_5 y_i^2$$

بدین ترتیب معادله ۶ مجهول دارد و با داشتن ۶ نقطه، ۶ معادله حاصل می شود. یعنی با داشتن ۶ معادله و ۶ مجهول هیچ سرشکنی صورت نمی گیرد.

در این حالت مثلث ها کمی خمیده هستند. نتیجه نهایی سطحی پیوسته است اما در نقاط مرزی ناصاف (دارای شکستگی) است.

### • Quintic

هدف این روش آن است که سطح پیوسته و نرم باشد. یعنی سطح در هنگام عبور از مرز به طور ناگهانی تغییر نمی کند. برای رسیدن به این هدف از یک معادله درجه پنج به صورت زیر استفاده می شود:

$$z(x, y) = \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^{5-i} a_{ij} x^i y^j$$

در این معادله ۲۱ ضریب مجهول وجود دارد پس چند جمله ای را می توان به صورت زیر نوشت:

$$z(x_i, y_i) = f(x_i, y_i, a_0, a_1, \dots, a_{20})$$

برای حصول نرمی روی مرزها باید از مشتق های درجه اول و دوم معادله استفاده شود. یعنی مقادیر  $\frac{\partial z}{\partial xy}$ ،  $\frac{\partial z}{\partial y}$ ،  $\frac{\partial z}{\partial x}$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \text{ و } \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \text{ باید محاسبه شوند.}$$

در سمت راست معادله درجه پنج و معادلات حاصل از مشتق گیری از این معادله مختصات نقاط نمونه جایگذاری می شوند مقادیر سمت چپ معادلات نیز با استفاده از فرمولهای گرادیان و شیب و رفتار برداری سطح به دست می آید. به عنوان مثال اگر نقطه P نقطه مجهول و بردارهای N بردار نرمال صفحات گذرنده از نقطه P و چهار نقطه مجاور آن باشند، با کمک بردارهای V که متصل کننده نقاط همسایه به نقطه P هستند، می توان مقادیر سمت چپ معادلات مشتق گیری شده را به دست آورد:

$$\vec{N}_2 = \vec{V}_2 \times \vec{V}_3, \quad \vec{N}_3 = \vec{V}_3 \times \vec{V}_4, \quad \vec{N}_4 = \vec{V}_4 \times \vec{V}_1, \quad \vec{N}_1 = \vec{V}_1 \times \vec{V}_2$$

بردار نرمال برآیند به این صورت به دست می آید:

$$\vec{N} = \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{N}_3 + \vec{N}_4$$

پس مقادیر سمت چپ معادلات مشتق گیری بدین صورت به دست می آیند:

$$\frac{\partial z}{\partial y} = z_{,y} = -\frac{N_y}{N_z} \frac{\partial z}{\partial x} = z_{,x} = -\frac{N_x}{N_z}$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = -\frac{\partial(z_{,y})}{\partial y} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = -\frac{\partial(z_{,x})}{\partial x}$$

از مجموعه این معادلات ضرایب معادله قابل محاسبه است و نتیجه یک سطح نرم خواهد بود.

### ۲-۲-۳-۳-۲ روش های مبتنی بر ساختار Grid

- نزدیکترین همسایه (Nearest Neighbour)

در این روش از بین z های نقاط چهار گوشه خانه (cell) ای از شبکه که نقطه مجهول در آن قرار گرفته است، ارتفاع نزدیکترین نقطه به نقطه مجهول نسبت داده می شود

#### Linear •

از آنجا که نقاط چهار گوشه cell شبکه ممکن است در یک صفحه قرار نگیرند می توان آنها را در دو صفحه متقاطع در نظر گرفت، به صورتیکه فصل مشترک این دو صفحه یکی از قطره های cell شبکه باشد. پس ارتفاع نقطه مجهول در هر سوی این فصل مشترک که قرار بگیرد با استفاده از معادله صفحه مربوط به آن سه نقطه محاسبه می شود. برای دانستن آنکه نقطه مجهول (p) در کدام صفحه قرار می گیرد از معادله زیر استفاده می شود، که در آن  $\Delta x$  و  $\Delta y$  فاصله بین نقاط شبکه هستند.

$$\bar{y}_p = \frac{y_p - y_1}{\Delta y} \quad \text{و} \quad \bar{x}_p = \frac{x_p - x_1}{\Delta x}$$

$$\text{if } \bar{x}_p \leq \bar{y}_p \quad \delta = 1$$

$$\text{if } \bar{x}_p > \bar{y}_p \quad \delta = 0$$

معادله مربوط به ارتفاع نقطه مجهول بدین صورت خواهد بود:

$$z_p(\bar{x}, \bar{y}) = \delta[z_1 + (z_3 - z_2)\bar{x}_p + (z_2 - z_1)\bar{y}_p] + (1 - \delta)[z_1 + (z_4 - z_1)\bar{x}_p + (z_3 - z_4)\bar{y}_p]$$

#### Bilinear •

در این روش تنها از ۴ نقطه cell شبکه استفاده می شود و به شبکه های مجاور توجهی ندارد. مدل مورد استفاده معادله درجه دویی است که فقط تا جمله xy را در بر دارد. سطح حاصله پیوسته است ولی نرم نیست. معادله این روش به صورت زیر است:

$$\bar{y} = \frac{y - y_{\min}}{\Delta y} \quad \text{و} \quad \bar{x} = \frac{x - x_{\min}}{\Delta x}$$

$$z(\bar{x}, \bar{y}) = z_1 + (z_4 - z_1)\bar{x} + (z_2 - z_1)\bar{y} + (z_1 - z_2 + z_3 - z_4)\bar{x} \cdot \bar{y}$$

### • Cubic

در این روش از ۱۶ نقطه برای به دست آوردن ارتفاع نقطه مجهول استفاده می شود. مدل مورد استفاده از درجه سه و ترکیب دو منحنی درجه سه می باشد. سطح حاصله در هر دو جهت X و Y پیوسته و نرم خواهد بود. این مدل بر خلاف مدل‌های پیش inexact است یعنی الزاما از نقاط نمونه عبور نمی کند و باقیمانده ها یا خطاهایی نسبت به نقاط نمونه وجود خواهد داشت. معادله به صورت زیر است:

$$z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 z_{ij} r_i c_j$$

در این معادله r فاصله ای است که نقطه مجهول در راستای محور Y با نقطه Z دارد و c فاصله ای است که نقطه مجهول در راستای محور X با نقطه Z دارد. در حقیقت وزن دهی نسبت به فاصله در هر بعد X و Y انجام شده است.

### • وزن دهی بر حسب معکوس فاصله (IDW: Inverse Distance Weighting)

در این روش به Z نقاط مجاور به نسبت فاصله آنها از نقطه مجهول، وزنی اعمال شده و در معادلات قرار می گیرند. در

$$\text{حقیقت نوعی میانگین گیری وزن دار صورت میگیرد یعنی: } w\alpha \frac{1}{d_i^p}$$

که توانی است که نشان دهنده میزان اهمیت نقطه است و معمولا ۲ در نظر گرفته می شود و هر چه این توان بیشتر در نظر گرفته شود تاثیر نقاط نزدیکتر بیشتر خواهد بود. d فاصله نقطه مجهول تا نقطه i ام می باشد و ارتفاع نقطه مجهول نیز طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$z(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

$$\text{و یا } z(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad \text{و} \quad \lambda_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad \text{و} \quad \sum \lambda_i = 1$$

که در این معادله  $\lambda$  وزن مربوط به نقطه i ام در تعیین ارتفاع نقطه مجهول است.

## مقایسه بین روش های مختلف انترپولاسیون بیاید

## ۳ منابع و روشهای جمع آوری داده

۱-۳ مقدمه

### توضیح در مورد هدف همیت و روشهای موجود

۱-۱-۳ داده های مورد نیاز برای تهیه DTM

نوع داده های مورد استفاده: داده ها به دو صورت مختصاتی و توصیفی برداشت می شوند. چون هدف تهیه مدل ارتفاعی است، در واقع فضا به نقاط مسطحاتی تقسیم شده و ارتفاع (Z) نقاط برداشت می شود. یعنی مشاهدات ارتفاعی (elevation observation) انجام می شود. از طرفی در مواردی خاص مثل تپه ها، شکستگی ها، خط الراسها، خط القعر ها و ... باید داده های توصیفی (attribute) برداشت شود تا در مرحله تولید مدل مشکلی ایجاد نشود.

۲-۱-۳ پارامترهای موثر در انتخاب روش مناسب

پارامترهای موثر در انتخاب روش مناسب مطابق زیر میباشند:

- وسعت منطقه
- دقت نهایی و کیفیت مورد نظر
- تجهیزات و امکانات موجود
- نوع اطلاعاتی که باید برداشت شود

هدف اساسی در موارد فوق برداشت نقاط نمونه با حداقل قیمت و حد اکثر دقت است. هر چه وسعت منطقه بیشتر باشد کاربرد روشهای زمینی کمتر شده و روشهای فتوگرامتری بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. چون دقت روشهای نقشه برداری بیشتر است اما در وسعت زیاد مقرون به صرفه نیست.

## توضیح

۲-۳ نقشه برداری

در این روش با استفاده از وسایل نقشه برداری نقاط زمینی به طور مستقیم برداشت می شوند. این روش در وسعتهای کم و مواردیکه دقت بالا مورد نیاز باشد استفاده می شود. اما از آنجا که هزینه و زمان مورد نیاز برای این روش زیاد است، زمانی استفاده می شود که روشهای دیگر قابل انجام نباشند مثلاً در نقشه برداری از مکانهای سرپوشیده و جنگلها. این روش معمولاً محدود به پروژه های خاص است و گاهی به منظور افزایش دقت سایر روشها به کار می رود. در روش نقشه برداری، نمونه برداری به صورت انتخابی انجام می شود و به طور مستقیم X، Y و Z نقاط را حاصل می کند. به دلیل حضور اوبراتور، تعداد و موقعیت نقاط به صورت کنترل و نظارت شده است.

## نکات مربوط به روش اینجا بیاید

# خلاصه ای از وضعیت روشهای نوین در اینجا بیاید+بحث بر روی آنها

## ۳-۳ فتوگرامتری

جمع آوری داده های فتوگرامتری بر اساس تفسیر سه بعدی عکسهای هوایی است. در این روش که بیشتر در مساحت های بالا استفاده می شود با استفاده از عکس، مختصات نقاط به دست می آید. دقت این روش از روش نقشه برداری پایین تر است اما سریعتر انجام می شود. برای بالا بردن سرعت کار از سیستم های رقومی استفاده می شود. در این سیستم ها به جای دیاپوزیتو، عکسهای رقومی شده به کار می روند و دخالت اوپراتور کمتر می شود. در این قسمت فرض می شود که تصویر رقومی به عنوان ورودی سیستم آماده شده است. در ابتدا با توجه به اینکه اساس مراحل مختلف فتوگرامتری رقومی از قبیل توجیه داخلی، توجیه نسبی و تولید DTM را عمل stereo matching تشکیل می دهد، در این مورد مطالبی ذکر می گردد.

## ۱-۳-۳ Stereo Matching

در روش رقومی بر خلاف روش آنالوگ که توجیهات با برجسته بینی انجام می شود، عکسهای اسکن شده به روش stereo matching توجیه می شوند. در واقع کار روی هم انداختن نقاط شناور در سیستم های آنالوگ از طریق stereo matching در سیستم های رقومی انجام می شود. پس از یافتن نقاط متناظر و انجام توجیهات با توجه به معادلات شرط هم خطی و اختلاف پارالاکس نقاط،  $x$ ،  $y$  و  $z$  نقاط زمینی محاسبه می شود. stereo matching در واقع یافتن پیکسل ها یا نقاط متناظر در دو تصویر است. در انجام این عمل ابتدا مساله matching entity یعنی نقطه ای که باید نقطه متناظرش در عکس بعدی پیدا شود، در نظر گرفته می شود. سپس conjugate entity یعنی نقطه متناظر در عکس بعدی جستجو و مشخص می شود. پس از آن مختصات نقطه محاسبه شده و در آخر کیفیت تناظر یابی، کنترل و ارزیابی می شود. روشهای موجود برای stereo matching عبارتند از:

### • Area-Based

در این روش تناظر یابی پیکسل ها از طریق مقایسه مقدار (value) آنها انجام می شود. یعنی پیکسل های دو تصویر به طور مستقیم و تک تک از نظر هم رنگ و هم مقدار بودن باهم مقایسه می شوند. این روش ساده ترین و مشهور ترین روش stereo matching است. مزیت این روش آن است که هیچ عارضه ای از دست نمی رود اما حجم کار بالاست و در مناطق بدون عارضه به سختی عمل می کند.

### • Feature-Based

در این روش ابتدا پیکسل ها به نحوی به عوارضی مثل نقطه، خط و پلی گون تبدیل و بعد مقایسه می شوند. مثلاً نسبت بین خطوط و زاویه بین آنها در یک عکس در نظر گرفته می شود و در عکس دیگر همین حالت خطوط بررسی و مقایسه می شود تا عارضه متناظر به دست آید. اساس روش فوق به این صورت است که با تشکیل لایه های هرم تصویری از بالا به پایین اقدام به تعیین عوارض موجود در هر عکس می شود. مسلماً در هر بار تشکیل هرم تصویری عوارض بیشتری مشخص می شوند. در مرحله بعد با استفاده از قیودی مثل قرار گرفتن بر روی خطوط اپی پولار یا ایجاد

شرط هم خطی اقدام به تناظر یابی عوارض موجود در دو عکس می شود. این روش در مناطق شهری به خوبی عمل می کند اما ممکن است قسمتی از عوارض از دست بروند.

#### • Hybrid

تلفیقی از دو روش فوق است که بسته به نوع عوارض، دقت و قدرت تفکیک استفاده می شود. یکی از کاربردهای این روش زمانی است که به علت وجود سایه قسمتی از عارضه مشخص نباشد. در چنین مکانهایی در صورت عدم تشخیص تقاطع ها و گوشه های عوارض، با تشخیص feature می توان نقاط تقاطع را به دست آورد.

در stereo matching به طور کلی به ترتیب زیر عمل می شود:

در عکس اول محدوده ای به نام template انتخاب می شود که به آن پنجره master نیز می گویند. در عکس دوم محدوده ای به نام پنجره جستجو (search window) با توجه به بعضی معیارها مثل باز متوسط، ارتفاع متوسط منطقه، مقادیر به دست آمده از توجیحات نسبی و مطلق و شکل منطقه انتخاب می شود. پنجره جستجو معمولاً بزرگتر از template است و به صورت تجربی تعیین می شود. هر چه ابعاد این پنجره کوچکتر باشد عملیات ساده تر انجام می شود. بهترین روش برای تعیین ابعاد محدوده جستجو، استفاده از خطوط اپی پولار است. از آنجا که عارضه نظیر در عکس راست در راستای خطوط اپی پولار قرار گرفته، Search Window به مناطق اطراف خطوط اپی پولار محدود می شود. باید توجه داشت که چون پارالاکس در راستای محور X، در نتیجه تغییرات ارتفاعی زمین می باشد لذا طول پنجره جستجو بیشتر از عرض آن در نظر گرفته می شود.

در پنجره جستجو، پنجره کوچکتری به ابعاد template حرکت می کند. معمولاً ابعاد این پنجره کوچک ۵ پیکسل در ۵ پیکسل است و به صورت پیکسل به پیکسل حرکت می کند.

به کمک یک معیار تناظر یابی (similarity entity) پنجره کوچک در محدوده پنجره جستجو با template انتخاب شده مقایسه می شود تا شبیه ترین قسمت به template مشخص شود. خروجی این مقایسه ممکن است یک یعنی تناظر کامل و یا صفر یعنی عدم تناظر و یا چیزی بین این دو باشد.

علت اینکه در عمل تناظر یابی از پنجره استفاده می شود و مقایسه پیکسل به پیکسل انجام نمی شود آن است که تعداد پیکسل های شبیه در حالت مقایسه پیکسل به پیکسل ممکن است بسیار زیاد باشد اما در پنجره با توجه به رابطه پیکسل ها با پیکسل های مجاور تشخیص نقاط متناظر راحت تر است.

در انجام عملیات تناظر یابی مشکلاتی وجود دارد که مستقیماً بر دقت کار اثر می گذارند. به عنوان مثال می توان موارد زیر را ذکر نمود:

- تغییر در مقیاس (scale differences): به دلیل تغییر در ارتفاع پرواز دو عکس مجاور اندازه عوارض و تعداد پیکسل هایی که اشغال می کنند در دو عکس متفاوت می شود.
  - تغییر در مقدار یا رنگ: تغییر در ارتفاع نه تنها از لحاظ موقعیتی بلکه از لحاظ عدد خاکستری (gray level) در عکسهای مجاور تفاوت ایجاد می کند.
  - کوتاه شدگی عوارض (foreshortening): به علت مایل بودن و شیب سطوح مختلف زمین، ابعاد اشیا در عکسها متفاوت ظاهر می شوند.
  - محدوده های غیر قابل دید (occlusion): ممکن است به علت تغییرات ارتفاعی محدوده ای که در عکس اول ظاهر شده است در عکس دوم غیر قابل دید باشد.
- به دلیل وجود مشکلاتی که ذکر شد پیکسل ها به طور کامل با یکدیگر متناظر نخواهند بود و تنها می توان وابستگی پنجره ها را بررسی کرد و شبیه ترین نقاط را به عنوان نقاط متناظر در نظر گرفت.

روش تناظر یابی استریو در مواردی مثل مثلث بندی اتوماتیک، استخراج عوارض از روی تصاویر (feature extraction) و توجیه اتوماتیک کاربرد زیادی دارد.

عمل تناظر یابی نقاط عکسی با هر کدام از روش های فوق که صورت گیرد خود به روش های متفاوتی قابل انجام است که در زیر روش Cross-Correlation که از مبنایی ساده برخوردار بوده و در اکثر سیستم های دیجیتال فتوگرامتری به کار می رود ذکر می گردد.

### ۲-۳-۳ تولید مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از فتوگرامتری رقومی

با استفاده از روش فتوگرامتری رقومی علاوه بر امکان دستیابی به نقشه های توپوگرافی منطقه، امکان تولید مدل رقومی ارتفاعی رقومی منطقه و همچنین تهیه اورتوفتو و موزائیک عکسی نیز وجود خواهد داشت. اتوماسیون روند فتوگرامتری، سبب گردیده تا علاوه بر تسهیل در انجام مراحل توجیه داخلی، نسبی و مطلق، بتوان به دقت های بالاتری نیز دست یافت. همین موضوع سبب گردیده تا مساله اتوماتیک نمودن محصولات و خروجی یک سیستم فتوگرامتری نیز مورد توجه قرار گیرد.

## توضیح بیشتر + بحث بر روی توانایی روش فتوگرامتری + مشکلات آن

### ۴-۳ Laser Scanning

#### ۱-۴-۳ - مفاهیم اولیه و روش کار دستگاه های لیزر

این روش که به روش اسکن سه بعدی هم معروف است، روش برداشت مستقیم است و به نحوی جزو روشهای نقشه برداری محسوب می شود. سیستم لیزری در واقع شامل یک دیود ساطع کننده می باشد که می تواند اشعه ها را در یک فرکانس خاص تولید کند. پالسها بسوی اهداف فرستاده می شوند و انعکاس آنها توسط دستگاه دریافت کننده دریافت می شود با استفاده از زمان رفت و برگشت و سرعت سیگنال، فاصله بدست می آید روش کار به این صورت است که پرتو لیزر تحت زاویه خاصی فرستاده می شود و پرتو های برگشتی از نقاط به طور منظم و به تعداد زیاد ثبت می شوند. تعداد این پرتو های برگشتی و در واقع تعداد نقاط ثبت شده آنقدر زیاد است که وقتی در محیطی مثل CAD نمایش داده می شوند به نظر می رسد که سطح باز سازی شده است. این داده ها در اصطلاح ابر نقطه ای (point cloud) نامیده می شوند. لیزر اسکن در حقیقت تکنیکی است که مختصات نقاط را به طور مستقیم و به همراه زوایا و offset ها برداشت می کند. اطلاعات بلافاصله بعد از پرواز با کمترین زمان قابل تبدیل به DTM هستند. در سیستم های قدیمی لیزر تنها مختصات نقاط را اندازه گیری می کرد اما اخیرا مقدار پیکسل (pixel value) هم برای پی بردن به نوع عارضه برداشت می شود.

- سرعت: محیطهای پیچیده سه بعدی نسبت به سایر تکنیک های متداول امروزی با سرعت فوق العاده بالایی جمع آوری می شوند.
- دقت: دقت این دستگاه های می تواند برای اهداف کوچک کسری از میلیمتر تا ۲۵ میلیمتر از اهداف در فواصل بالای ۲۵۰ متری حاصل شود.

- آرشیو کردن: بعنوان یک تصویر لحظه ای از یک سایت / هدف، این داده ها به صورت آرشیو شده می توانند به عنوان منبعی به منظور<sup>۱</sup> نمایش های روتین مورد استفاده قرار گیرد.

این نقاط می توانند به ۲ صورت رنگی یا خاکستری مبتنی بر شدت سیگنال دریافتی باشد. در بسیاری حالات، RGB مستقیماً ثبت می شود یا از عکس های همتراز شده به داده های اسکن استخراج می شوند. لیست زیر نمونه هایی از کارایی دامنه وسیع این نقاط را در کاربرهای مختلف نشان می دهد:

- رنگ آمیزی / مدل سازی / DTM
- نقشه های خطی ۲ بعدی و ۳ بعدی
- تصاویر ارتو
- تولید انواع پروفیل ها
- آنیمیشن سازی
- اندازه گیری های ساده

### ۳-۴-۲ دقت لیزر اسکنرها و عوامل تأثیرگذار

جزئیات دقیقی که کمپانی های سازنده دستگاه های لیزر اسکنینگ در کاتالوگ های خود در مورد تولیدات مربوطه خود ارائه می دهند، قابل قیاس نیستند. تحقیقات نشان می دهند برخی اوقات به این دقت نمی توان تکیه کرد. دقت این دستگاه ها از یک سری و نوع که در تعداد کمی نیز تولید می شوند می تواند از دستگاهی به دستگاه دیگر تغییر کند. در حقیقت نمی توان تصور کرد این دقت برای تمامی دستگاه ها واحد باشد. این تغییر دقت دستگاه ها به نوع کالیبراسیون خاص هر دستگاه و دقت در حمل و نقل دستگاه پس از تولید وابسته می باشد.

در این راستا تحقیقات و پژوهشهای زیادی به شرح زیر صورت گرفته که در زیر به اختصار به آنها اشاره می شود.

#### ۱. دقت زاویه

پالس لیزر توسط دستگاه دوران کننده کوچکی (آینه، منشور) منحرف شده و از آنجا به هدف ارسال می شود. زاویه دوم عمود بر اولی نمی باشد و ممکن است با استفاده از یک محور مکانیکی یا یک دستگاه دوران کننده دیگر تغییر کند. قرائت های حاصله از این زوایا در محاسبات سه بعدی مختصات ها به کار گرفته می شود. از آنجایی که تعیین موقعیت تک نقطه ها و تشخیص دقیق آنها کار آسانی نمی باشد، در این راستا تحقیقات متعددی انجام شده است. این خطا ها می توانند با اندازه گیری فاصله افقی و عمودی پدیده هایی (کروی) که در فاصله معینی از لیزر اسکنر قرار گرفته اند و مقایسه آنها با نتایج به دست آمده از سایر روش های نقشه برداری با دقت های بالا شناسایی و آشکار شوند.

1 Routine Monitoring  
2 Meshing  
3 Ortho Image  
4 Animation



## ۲. دقت برد

در این حالت، برد می تواند با استفاده از زمان پرواز یا با مقایسه فاز زمان رفت و برگشت سیگنال محاسبه شود. Triangulation scanners مشکل تعیین برد را به صورت مثلی با به کار گیری یک دستگاه انحراف دهنده سیگنال لیزر حل کرده اند. نقطه منعکس شده روی سطح عوارض و مرکز تصویر دوربین، در فاصله معینی از انحرافگر قرار گرفته. از دوربین به منظور تعیین جهت و مسیر سیگنال برگشتی استفاده می شود. از مقایسه با Ranging Scanner ها دقت به دست آمده از روش مثلث بندی با مربع فاصله لیزر اسکنر و عارضه پایین می آید (Bohler, Marbs, 2002).

خطاهای برد، وقتی فواصل مشخصی با استفاده از لیزر اسکنر اندازه گیری می شود می تواند مشاهده شود. اگر اسکنر با نقاط کنترل زمینی تعریف شده مجهز نباشد، در این صورت فقط می توانیم اختلاف فواصل بین تارگت ها را اندازه گیری نماییم. در این راستا می توان از تارگت های صفحه ای، کروی که موقعیت دقیق آنها با دقت بالایی بیش از دقت لیزر اسکنر توسط روش های مختلف نقشه برداری تعیین شده است به کار گرفت.

## ۳. قدرت تفکیک

از این واژه در زمینه های مختلف از جمله زمانی که کارایی لیزر اسکنر مطرح شود به کار برده می شود. از نقطه نظر کاربر، قدرت تفکیک بیان کننده قدرت تشخیص عوارض کوچک یا اجزای عوارض در ابر نقطه می باشد.

## ۴. شرایط محیطی

شرایط محیطی به سه قسمت زیر طبقه بندی می شود:

- دما: هر لیزر اسکنر در بازه دمایی مناسبی می تواند به صورت بهینه کار کند. حتی در این بازه خصوصاً در اندازه گیری فاصله انحراف به چشم می خورد. و این نکته باید مد نظر قرار گرفته شود که دمای داخل لیزر اسکنر همیشه پایین تر از دمای محیط می باشد. بازه مناسب دمایی توسط کمپانی های تولید کننده دستگاه های تولید کننده لیزر ارائه می شود.
- اتمسفر: در اندازه گیری فواصل کوتاه، تغییر پخش سرعت نور ناشی از دما و متغیرهای فشار روی نتایج تأثیر قابل ملاحظه ای نمی گذارد. و برای فواصل بلند این امر باید مد نظر قرار گیرد.
- تداخل امواج: همانطور که میدانیم لیزرها در باند فراکانسی محدودی کار می کنند. اگر تشعشع منبع نورانی (نور خورشید، لامپ) بالا باشد و با سیگنال مقایسه شود می تواند روی اندازه گیریهای ما تأثیر گذارد و خطا وارد کار کند.

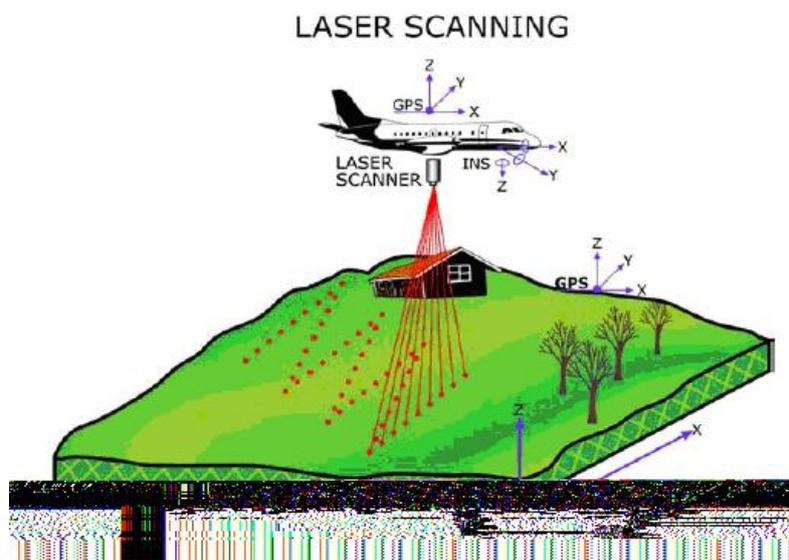
دستگاههای لیزر اسکنر دارای دو نوع هوایی و زمینی هستند. دستگاههای هوایی با استفاده از هواپیما یا جراثیل و دستگاههای زمینی بر روی سه پایه نقاط را برداشت می کنند.

## ۳-۴-۳ لیزر اسکنرهای هوایی

یک لیزر اسکنر هوایی سه عنصر اصلی دارد: GPS، INS و Laser. مطابق شکل GPS موقعیت لحظه ای محل هواپیما را ثبت می کند، INS زاویه حرکت هواپیما نسبت به نقطه زمینی را می دهد و مسافت یاب Laser فاصله بین هواپیما و نقطه زمینی را مشخص می کند. سیستم به یک آینه دورانی یا نوسانی مجهز است که پالسهای لیزری می

توانند تحت زاویه پخش، منطقه راجاروب کنند و امکان سنجش منطقه فراهم می شود. همچنین می توان با معکوس کردن جهت چرخش آینه، سمت عقب و جلوی خط حرکت را اسکن کرد. در واقع منطقه بصورت نوار برداشت می شود. فاصله هر نقطه از زمین به فاصله سنجنده از زمین و زاویه اسکن بستگی دارد

INS سه وضعیت پرواز، یعنی roll، pitch و yaw را می دهد که سیستمهای امروزی قادر به اندازه گیری این زوایا با دقت ۰/۰۱ درجه هستند. این اطلاعات در مرحله post-processing جهت برآورد زاویه و توجیحات دقیق بکار می روند. INS از دو ابزار تشکیل شده است: شتاب سنج (accelerometer) وژیروسکوپ افقی وقائم (gyroscope). در این سیستم از فرکانسهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می شود چون بازتاب خوبی از اهداف دارند. برداشت نقاط با سه الگوی (pattern) مختلف انجام می شود: بیضی، دایره و زیکزاک. هم پوشانی عرضی بین الگوها بستگی به دقت مورد نظر و طراحی پرواز دارد.



شکل شماره : نمایش سیستم تصویر برداری لیزر اسکنر های هوایی

. تراکم جمع آوری اطلاعات روی زمین بین ۰/۵ تا ۳ نقطه در هر متر می باشد و دقتی که بدست می آوریم حدود ۵cm تا ۲۰cm می باشد. پارامترهای سنجش معمولاً بصورت زیر می باشند: سرعت پرواز ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلومتر در ساعت (۷۰ تا ۵۰ m/s)، زاویه اسکن ۲۰ تا ۳۰ درجه، نرخ پالسها از ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ پالس در هر ثانیه. این تعداد پالس موجب اندازه گیری هر ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر روی زمین می شود.

گرانی، تجهیزات کم این دستگاهها در کشور، حجم بالای نقاط، سختی کار باین داده ها و ذخیره سازی آنها، عدم توجه به ساختار و پیچیدگی منطقه، نامشخص بودن مرزها به دلیل حجم بالای نقاط و کم بودن دقت در مقایسه با تعداد زیاد نقاط، از عیوب این روش است.

### ۳-۴-۴ لیزر اسکنرهای زمینی

امروزه با پیشرفت در تکنولوژی، روش لیزر اسکنینگ زمینی ارائه کننده راهی نو در تکنیک های نقشه برداری می باشد. این روش مرکب از جمع آوری و گرفتن داده ها با سرعت بالا از سطوح پیچیده و محیط های خارج از دسترسی ما به صورت کاملاً خودکار می باشد. در لیزر اسکن زمینی دستگاه بر روی سه پایه ای

<sup>5</sup> Terrestrial Laser Scanning

سوار می شود و می تواند دور تا دور خود را به صورت استوانه ای برداشت کند. سرعت برداشت لیزر اسکن به حدود ۲۸۰۰۰ نقطه در ثانیه می رسد و در طی ۴ دقیقه، ۳۶۰ درجه (یک دور کامل) را برداشت می کند. دقت دستگاهها بر اساس فاصله نقاط برداشت شده سنجیده می شود که معمولا حدود ۲ سانتی متر است و قیمت آنها بسته به قدرت تفکیک و دقت آنهاست. این سیستم در مدت یک ساعت می تواند منطقه ای به وسعت ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتر مربع را برداشت کند.

### ۳-۴-۱ طبقه بندی لیزر اسکنرهای زمینی

طبقه بندی لیزر اسکنرهای زمینی امری دشوار می باشد. این طبقه بندی می تواند بر حسب اندازه گیری (مثلث بندی، فاز و پالس) و یا بر حسب مشخصات فنی دستگاه لیزر باشد. در ابتدا باید گفت که از یک لیزر خاص برای تمامی اهداف نمی توان استفاده کرد. برخی از لیزر اسکنرها می توانند برای کارهای درون ساختمانی (برد کمتر از ۱۰۰ متر) مورد استفاده قرار گیرند. برخی دیگر برای کارهای بیرون ساختمانی (بردهای بیش از ۱۰۰ متر) و برخی دیگر برای کارهای برد کوتاه (برد در حد چند متر) با دقت بالا مورد استفاده قرار گیرد.

لیزر اسکنرهای زمینی میتوانند بر مبنای سیستم اندازه گیری فاصله طبقه بندی شوند. سیستم اندازه گیری فاصله برد (فاصله) و دقت حاصله از سیستم بستگی دارد. در این راستا سه تکنولوژی برای اندازه گیری فاصله با لیزر اسکنرها مورد استفاده قرار می گیرد.

- امروزه متداول ترین نوع سیستم اندازه گیری برای لیزر اسکنرها، اصل زمان پرواز می باشد. این روش اندازه گیری فواصل بالا را امکان پذیر می نماید. دقت این روش نسبت به سایر روش های دیگر کمتر می باشد.
- در کنار اصل زمان پرواز روش فاز نیز دومین روش معمول برای بردها و فواصل میانی می باشد. برد اندازه گیری در این روش به ۱۰۰ متر محدود می شود. در این حالت می توان به دقت چند میلی متر در اندازه گیری فواصل دست یافت.
- در بردهای کوتاه انواع مختلفی از لیزر اسکنرها موجود می باشند. اما اغلب از این نوع لیزر اسکنرها برای کارهای صنعتی، مهندسی (روش مستقیم نمایش پروسه ساختاری) مورد استفاده قرار می گیرد. روش اندازه گیری فاصله در این نوع لیزر اسکنرها، مثلث بندی اپتیکی می باشد. با این فن می توان به دقت هایی در حدود چند میکرومتر دست یافت.

جدول شماره ۱ نتیجه کلی از تقسیم بندی فوق را برای لیزر اسکنرها مبتنی بر اصول اندازه گیری نشان می دهد. می توان نتیجه گرفت این نوع تقسیم بندی می تواند به صورت یک طبقه بندی کلی مورد استفاده قرار گیرد. در کنار این طبقه بندی، طبقه بندی دیگری بر حسب مشخصات فنی دستگاه لیزر اسکن و قابلیتها و کارایی سیستم می باشد. این طبقه بندی چیزی است که کاربران به دنبال آن هستند.

<sup>6</sup> Optical Triangulation

- اطلاعات تکنیکی دستگاه های لیزر اسکن بر حسب موارد زیر می باشند:
- سرعت اسکنینگ و سرعت نمونه برداری سیستم اندازه گیری لیزر.
  - قدرت تفکیک مکانی (تعداد نقاط اسکن شده در میدان دید).
  - دقت سیستم اندازه گیری فاصله و سیستم انکسار.
  - ترکیب سایر تجهیزات با لیزر اسکنر (دوربین و GPS).
- جدول شماره ۱: طبقه بندی لیزر اسکنرها.

| تکنولوژی اندازه گیری | برد (m) | دقت (mm) | کمپانی های سازنده                          |
|----------------------|---------|----------|--|
| زمان پرواز           | <100    | <10      | Callidus, Leica, Mensi, Optech, Riegl      |
|                      | <100    | <20      | Optech, Riegl                              |
| فاز                  | <100    | <10      | LQscan, Leica, Visimage<br>Zoller+Frohlich |
| مثلث بندی اپتیکی     | <5      | <1       | Mensi, Minolta                             |

### ۲-۴-۳-۴-۳ کمپانی های سازنده لیزر اسکنرهای زمینی

برای کارهای دقیق، بردهای بالا و نقشه برداری های سه بعدی از مناطق، از سیستم های اندازه گیری متعددی استفاده می شود. در این راستا نیز کمپانی های متعددی فعالیت می نمایند که نمونه ای از دستگاه ها به همراه نام کمپانی تولید کننده به شرح زیر در تصویر شماره ۱۰ آورده شده است.

تصویر شماره ۱۰- کمپانی های تولید کننده لیزر اسکنینگ به همراه محصولی از آنها:



Trimble (Mensi) GS200



Optech ILRIS 3D



Riegl LMS-Z210i



Callidus CP 3200



IQSun IQSun 880



Minolta VIVID 910



Zoller + Fröhlich IMAGER 5003



Leica HDS 4500

### ۳-۴-۵ تهیه DTM با استفاده از لیزر

مراحل کلی در لیزر اسکنینگ به منظور تهیه مدل ارتفاعی

۴-۱: جمع آوری داده ها

این عمل در لیزر اسکنرها به صورت کاملاً اتوماتیک انجام می گیرد یعنی در هر بار اندازه گیری دستگاه لیزر را به سطح عارضه تابانده و در برگشت در هر ثانیه اطلاعات ثبت می شوند همانطور که در بالا گفته شد به شدت سیگنال دریافتی بستگی دارد.

۴-۲: فیلتر کردن داده های خام

به دلیل محدودیت فاصله اندازه گیری در لیزر اسکنینگ، داده های خام دارای تعداد زیادی نقاط اشتباه هستند که این نقاط قبل از انجام مراحل بعد باید از ایند داده ها جدا شوند. پس در حقیقت میتوان گفت شدت سیگنال دریافتی آن دسته از نقاط تشخیص داده شده که دور تر از منبع لیزر می باشند نسبت به آن دسته از نقاط که در فاصله نزدیکتری از منبع لیزر قرار گرفته اند، کمتر بوده و نقاط اندازه گیری شده در حقیقت خطا دار می باشند. در ابتدای کار برای از بین بردن خطاها در لیزرینگ از فیلتر کردن داده های خام استفاده می شود یعنی با تعریف یک<sup>۸</sup>مینیموم ترشولد برای مقادیر شدت این مشکل حل می شود. مشکل دیگر واگرا بودن جهت انتشار اشعه لیزر می باشد. یعنی در اندازه گیری ها اشعه لیزر مستقیماً به عارضه نمی خورد بلکه در این راستا پخش نیز می شود. به منظور حذف نقاط اشتباه در این حالت از مسیر و جهت اسکن کردن و جهت بین نقاط همسایه استفاده می شود، یعنی در این حالت برای هر نقطه زاویه

<sup>7</sup> Filtering

<sup>8</sup> Minimum Threshold

جهت اسکنر و ۸ نقطه همسایه مورد تست و ارزیابی قرار می‌گیرد اگر از مقدار معینی بیشتر بود نقطه از مشاهدات حذف می‌شود.

در نهایت از این نقاط به دست آمده می‌توان در سائز زمینه‌ها از جمله تهیه DTM از منطقه استفاده کرد.

۳-۴: تهیه DTM

در تهیه DTM نیز در این روش از نقاط ابری استفاده می‌شود. چون نقاط ما کلاسه بندی نشده‌اند باید از بین این نقاط یک مجموعه نقاط را انتخاب کنیم. باید توجه داشته باشیم که این نقاط انتخابی باید حتماً روی سطح زمین موجود باشند (نقاط کنترل). بدین منظور روی سطح نمونه یک شبکه افقی (۵۰\*۵۰) پهن می‌کنند. در هر سلول شبکه مختصاتی که کمترین مقدار Z را داشته باشد انتخاب می‌شود. و به عنوان نقطه کنترل اولیه مشخص می‌شود. اما تمامی نقاط شبکه دارای نقاط اسکن روی سطح زمین نیستند مثلاً در مناطق جنگلی نقاطی که زیر درختان یا سایه آنها قرار دارند بدون نقاط اسکن می‌باشند یا نقاط اسکنی که شامل نقاط زمینی نمی‌باشند. این مشکل مختص مناطق جنگلی نمی‌باشد. بلکه در مناطقی که مانند کوهستانی به چشم می‌خورد، تراکم و شدت نقاط اسکن شده در بالای تپه نسبت به نقاط اسکن شده در پایین تپه و نقاطی که روی شیب قرار گرفته‌اند کمتر است. پس در مناطق با شیب متغیر برای زمین در این راستا مانع محسوب می‌شوند. در این جا برای تشخیص نقاط روی سطح زمین از فیلترهای متعددی در این راستا استفاده می‌شود.

پس از انتخاب این نقاط زمینی با استفاده از روش<sup>۹</sup> مثلث بندی دلونی روی این نقاط TIN زده می‌شود. و در نهایت مدل ارتفاعی منطقه تشکیل می‌شود.

۳-۴-۶ مقایسه روش فتوگرامتری با روش لیزر اسکن

روشهای دیگر جمع آوری داده‌ها در مناطق کم عارضه مثل ساحل دریا دچار مشکل می‌شوند ولی لیزر اسکن توانایی برداشت در این مناطق را نیز دارد. هم چنین از آنجا که لیزر از عوارضی مثل برگ درختان نیز عبور می‌کند در مناطقی که روشهای دیگر مثل روش فتوگرامتری قابل انجام نیست، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهد نیروی انسانی و بودجه مورد نیاز در این روش حدود ۲۵٪ تا ۳۳٪ روش فتوگرامتری می‌باشد. امروزه استفاده تلفیقی از سیستم LIDAR و فتوگرامتری روش بسیار موثری در تهیه DTM بشمار می‌آید که این استفاده توأم نقصهای سیستم را پوشش داده و دقت مناسبی را ارائه می‌دهد

## توضیح بیشتر

۳-۵ استفاده از نقشه‌های موجود

در بسیاری از کاربردها مثل فاز اولیه پروژه‌های مسیر یا تعیین تقریبی حجم عملیات خاکی نیازی نیست که DTM با دقت بالا تولید شود اما سرعت تهیه آن برای کاربران مهم است. در چنین مواقعی از نقشه‌های توپوگرافی کوچک مقیاس استفاده می‌شود. برای استفاده از نقشه‌های کاغذی موجود لازم است عملیات رقومی سازی روی نقشه‌ها صورت بگیرد یعنی از منحنی میزانه نقاطی که به عنوان نقاط نمونه برداشت شود. نحوه برداشت ممکن است به صورت

<sup>9</sup> Delaunay Triangulation

دستی، اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک باشد. در روش دستی نمونه برداری به صورت انتخابی، در روش اتوماتیک به صورت سیستماتیک و در روش نیمه اتوماتیک ترکیبی از این دو است. در روش رقومی سازی دستی برداشت نقاط با حضور اپراتور انجام می شود که به کمک شبکه سیم های صفحه دیجیتالیزر و نقشه کاغذی و یا به صورت onscreen بر روی نقشه اسکن شده انجام می شود. نحوه برداشت نقاط ممکن است به دو صورت باشد. یکی به صورت polyline mode یعنی برداشت نقاط دلخواه روی عوارض و یا به صورت stream mode یعنی به صورت برداشت در فواصل زمانی یا مکانی مشخص. در روش رقومی سازی نیمه اتوماتیک هم چنان اپراتور حضور دارد و نقاط برداشت شده را کنترل می کند. معمولاً اپراتور ابتدا و انتها و نوع عارضه را مشخص می کند و نرم افزار بقیه مراحل را انجام می دهد. مثلاً در مورد منحنی میزانها اپراتور نقطه ای از منحنی و ارتفاع آن را به نرم افزار معرفی می کند و بعد نمونه برداری آغاز می شود.

در روش رقومی سازی اتوماتیک دخالت اپراتور به حد اقل می رسد و تنها نقطه شروع را مشخص می کند و حتی عدد منحنی میزان توسط نرم افزار قرائت می شود.

خطاهای DTM حاصل از روش کار توگرافیک دو منبع عمده دارند، یکی خطاهای اولیه که مربوط به نقشه اولیه می شود و دیگری خطای تبدیل نقشه اسکن شده به DTM می باشد. خطای نقشه اولیه شامل خطای روش تهیه نقشه (نقشه برداری، فتوگرامتری و ...) به علاوه خطای ترسیم نقشه یعنی  $0.3\text{mm} * n$  می باشد. در مرحله تبدیل نقشه اسکن شده به DTM نیز بسته به روش رقومی سازی و روش مدل سازی و نحوه درونیابی خطاهایی وارد جریان کار می شود.

۳-۵-۱ روش دستی

### توضیح بیشتر

۳-۵-۲ روش اتوماتیک

مراحل روش کار توگرافیک اتوماتیک شامل موارد زیر است:

- ۱- اسکن نقشه (scanning)
- ۲- حذف نویز (noise removal)
- ۳- تشخیص و باینری کردن منحنی ها (detection and binerization)
- ۴- نازک سازی (skeletonization)
- ۵- برداری کردن (vectorization)

۳-۵-۲-۱ اسکن نقشه

### توضیح بیشتر راجع به خود مفهوم و نکات آن از جمله رزولوشن

۳-۵-۲-۱-۱ اسکنرها

اسکنرها جهت بازیافت اطلاعات دیجیتالی از تصاویر آنالوگ به کار می روند. در کاربردهای فتوگرامتری و کار توگرافی از اسکنرها به عنوان یک وسیله ورودی استفاده می شود و عموماً برای اسکن کردن نقشه ها و عکسهای هوایی و ماهواره ای بکار می روند. هر چند که پیشرفتهای بزرگی در تهیه مستقیم داده های رقومی با استفاده از

دوربینهای هوایی دیجیتالی (استفاده از CCDهای سطحی، خطی، سه خطی) در سالهای اخیر رخ داده است ولی هنوز در بسیاری از بخشهای فتوگرامتری از سیستمهای Filmbased استفاده می شود. زیرا جایگزینی رقومی فیلمهایی که توسط دوربینهای فتوگرامتری گرفته شده اند به علت فرمت، رزولیشن، خصوصیات طیفی فیلم و حجم زیادی که اشغال می کنند چندان کار راحتی نیست. امروزه نیاز به داده های رقومی هوایی به منظور تولید تصاویر ortho، انجام مثلث بندی بصورت خودکار، تولید DTM و تولیدات مشتق شده از آن بسیار بیشتر شده است. اما استفاده از اسکنرهای فتوگرامتری باعث مشکلات زیادی نظیر ضعف توجیه داخلی و نتایج مثلث بندی هوایی در مقایسه با پلاترهای تحلیلی و ایراد در DTM حاصل از فتوگرامتری رقومی مشاهده شده است که گاهی به علت ناکافی بودن دقتهای هندسی و رادیومتریکی Scanner ها است.

عمل اسکن کردن اولین مرحله پیدایش داده های رقومی است و احتمالاً بیشترین تاثیر را در ایجاد اشکال در پردازش های فتوگرامتری رقومی داراست. متأسفانه بسیاری از کاربران، همه اسکنرهای فتوگرامتری را قبول دارند اما تجربه نشان می دهد که بسیاری از اسکنرها مشکلات هندی و رادیومتریکی بسیاری دارند که باید مورد بررسی قرار گیرند. به طور کلی در هر اسکنر یک سیستم نورپردازی وجود دارد که نور را به تصویر می فرستند. در نتیجه مقداری از این نور پس از برخورد به تصویر برمی گردد و توسط sensor ها دریافت می شود. Sensor ها signal هایی را به ADC می فرستند و سپس عمل quantization انجام می گیرد یعنی به ازای هر مقدار انرژی یک درجه خاکستری به هر پیکسل اختصاص داده می شود.

از نظر sensor می توان اسکنرها را به گروه های زیر تقسیم کرد.

#### ۱- سنسورهای خطی

این سنسور ها که بیشتر در اسکنرهای مهم استفاده می شوند از ۱۰۲۰۰ تا ۲۰۴۸ پیکسل در یک ردیف استفاده می کنند، اگر چه گاهی تعداد پیکسلهای فعال کمتر است. در سالهای اخیر تمایل غالب نه فقط در اسکنرهای فتوگرامتری بلکه در سایر اسکنرها نیز به استفاده از CCD های سه خطی رنگی است. اسکنر XL-10 از این CCD ها برای اسکن کردن تمام تصویر با یک بار جارو کردن استفاده می کند. در R-M1-2 از CCD یک خطی استفاده می شود.

#### ۲- سنسورهای سطحی

شامل سطحی از CCD با رنج رزولیشن بین ۵۱۲\*۵۱۲ تا ۲۰۰۰\*۲۰۰۰ پیکسل می باشند. همه اسکنرها دارای یک سری حرکاتی هستند که بر اساس آنها (از لحاظ حرکت) می توان اسکنرها را به دو دسته تقسیم نمود:

(۱) سنسور متحرک، صفحه نمایش ثابت (مثل Vx, SCAI, ultrascam)

(۲) سنسور ثابت، صفحه نمایش متحرک (مثل DSW 300- RM 1-2)

صفحه نمایش و سنسور متحرک می توانند در یک یا دو جهت حرکت کنند.

جنبه های رادیومتریکی که سابقاً در مقابل جنبه های هندسی کمتر به آنها توجه می شد، امروزه با پیشرفت اسکنرها مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در این زمینه جهت کاهش نویزهای رادیومتریکی و گسترش dynamic rang با وجود محدودیتهای موجود ultra و RM2 از سیستم Cooling With Peltier element استفاده کردند.

کیفیت رادیومتریکی نکاتیو بخصوص نوع رنگی آن خیلی پایین است. در گذشته به دقت رنگی توجه چندان نمی شد و به این علت در بسیاری از کارهای بعدی فتوگرامتری از رنگ استفاده نمی شد.



برخی از مشکلات در جنبه‌های رادیومتریکی و هندسی اسکنرها مربوط به کالیبراسیون اسکنرهاست که به علت ضعف الگوریتم و error های نرم‌افزاری آنهاست.

با پیشرفتهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری LUT (look up table) ها به کار گرفته شدند. LUT جدولی است که مقادیر درجات خاکستری را از روی این جدول به صورت خطی یا لگاریتمی تغییر می‌دهد. اسکنرهای SCAI و ortho rision از LUT خطی و DSW 300 از LUT لگاریتمی استفاده می‌کنند.

جنبه‌های رادیومتریکی اسکنرها شامل رزولوشن رادیومتریکی و دقت رادیومتریکی می‌شود. رزولوشن رادیومتریکی به تعداد بیت‌های quantization مربوط می‌شود، یعنی اسکنر انرژی دریافتی را به چند درجه خاکستری تقسیم می‌کند. مثلاً اسکن ۸ بیتی درجات خاکستری را به  $2^8$  قسمت تقسیم می‌کند. دقت رادیومتریکی بر مبنای نویز است، یعنی انحراف DN از مقدار واقعی را نشان می‌دهد. برای تست دقت رادیومتریکی، عکسی تهیه می‌شود که همه DN های آن با هم برابر باشند. چنین عکسی را می‌توان با ساخت یک فایل در فتوشاپ و پرینت آن تهیه نمود. با اسکن نمودن این عکس، مقدار DN تصویر ممکن است بطور کلی تغییر کند اما این خطا، خطای سیستماتیکی است که به دقت مربوط نمی‌شود. اما انحراف DN ها بعد از عمل اسکن مربوط به دقت رادیومتریکی اسکنر است.

یکی دیگر از مواردی که در زمینه دقت اسکنرها باید مورد توجه قرار گیرد Pixel size می‌باشد.

برای عکسهای هوایی ماکزیمم چگالی ۲/۵D برای سفید و سیاه و ۳/۵D برای رنگی مورد نیاز است. بطور تنوری برای  $(B/W) 10^{2/5}$  یعنی ۳۱۶ درجه خاکستری و برای رنگی  $10^{3/5}$  یعنی ۳۱۶۲ درجه خاکستری مورد نیاز است تاکنون بیشترین Density ادعا شده ۴/۸D یعنی ۱۶ بیتی است.

با تکنولوژی موجود CCD های خطی با اجزای کافی برای رزولوشنهای بالای  $10\mu m$  یا کمتر در یک نوار هستند. CCD های خطی زمان exposure کمتری دارند که نسبت به CCD های سطحی این اختلاف حدود 2 ms است. از سوی دیگر Intensity بالایی نیاز دارند و اندازه پیکسل آنها کوچکتر است. در مورد اندازه پیکسل باید گفت که با انجام تستهای عملی ثابت شده است که برای بعضی کارهای خاص مانند تولید تصاویر ortho و DTM با اندازه پیکسل  $25-30\mu m$  نتایج خوبی بدست می‌آید، اما اگر برای این کارها اندازه پیکسل نصف شود، منافع چندانی حاصل نخواهد شد. برای تفسیر و mapping و اندازه‌گیری نقاط کوچک علامتدار اندازه پیکسل باید  $10-15\mu m$  باشد.

CCD های خطی در مقایسه با سطحی ها گنجایش ذخیره اطلاعات کمتری دارند و noise کمتری در آنها مشاهده می‌شود.

اسکنر ها از جنبه‌های مختلف به انواع متفاوتی تقسیم بندی می‌شوند. از لحاظ ساختار کاری به دو دسته تخت یا مسطح (flatbed) و استوانه ای (drumbed) و از لحاظ دقت به دو دسته فتوگرامتری و غیر فتوگرامتری (desktop publishing or DTP) تقسیم می‌شوند.

### توضیح در مورد اسکنر های تخت و drum

#### ۳-۵-۲-۱-۱-۱ اسکنرهای فتوگرامتری

اسکنر های فتوگرامتری دارای استحکام هندسی بالا و دقت حدود ۲/۵ تا ۱۰ میکرون می‌باشد و دقت هندسی این اسکنر ها ۵ تا ۷ میکرون است. بر حسب قدرت تفکیک هندسی و هم چنین قدرت تفکزی: رادیومتریک قینت اسکنر ها متفاوت می‌باشد. در تبدیل نقشه های خطی به رقومی خطاهایی ایجاد می‌شود که نقشی بسیار جدی در دقت DTM نهایی دارند.

اسکنرهای فتوگرامتری از نظر دقت به دو دسته تقسیم می شوند:

- کم دقت مانند Vexcel Vx, RM 1-2, ultra scan

- دارای دقت بالا مانند Zeiss SCAI, LHS DSW 300

و البته XL-10 هم بین این دو گروه قرار می گیرد.

**اسکنرهای فتوگرامتری دقت هندسی بالا ( $2-4\mu m$ ) و رزولیشن هندسی بالا ( $4-12/5\mu m$ ) دارند.** گاهی در این اسکنرها نرم افزارهای فتوگرامتری مانند توجیه داخلی و امکان ایجاد image pyramid وجود دارد. بعضی از آنها کارهایی مانند اندازه گیری فیدوشال مارکها را بصورت کاملاً اتوماتیک انجام می دهند (مانند ۳۰۰ DSW و SCAI). اندازه گیری فیدوشالها جزو ملزومات نرم افزارهای اسکنرها نیستند این عمل می تواند بعداً توسط نرم افزارهای فتوگرامتری هم انجام شود.

بعضی از اسکنرهای فتوگرامتری قادرند به صورت online تاثیر تغییر پارامترهای تنظیم اسکنر و هیستوگرام را قبل از انجام اسکن نمایش دهند. بعضی از آنها اعمال پردازش تصاویر مانند sharpening, flipping و چرخش تصویر را انجام می دهند. عمل subsampling هم توسط نرم افزارها با استفاده از واسطه یابی انجام می شود. پارامترهایی مانند شدت نورپردازی و سرعت اسکن کردن و زمان نمایش می توانند به راحتی انتخاب شوند که البته بستگی به نوع سنسورهای به کار گرفته شده دارد.

اسکن نمودن roll film در سالهای اخیر رشد بسیاری یافته است و اکثر اسکنرها این قابلیت را دارند. پارامترها مهم در این زمینه عبارتند از دقت رادیومتریکی عالی که قادر به اسکن کردن نگاتیو باشد، قابلیت اسکن تصاویر دلخواه کاربر، قابلیت re-orientation مانند flipping، رد کردن عکسهایی که به اسکن آنها نیازی نیست، تشخیص اتوماتیک شروع و پایان film و طراحی خوب برای جلوگیری از image demagint طول و عرض فیلم، قطر قرقره و سرعت برگرداندن قرقره. در اسکن Roll film بخصوص با hot spots مشکلات خاصی وجود دارد مانند اینکه پارامترهای scan جهت بهبود Contrast باید تنظیم شوند.

برای تست هندسی اسکنرها مدل‌های مختلفی وجود دارد که این مدلها هر یک برای انواع مختلف اسکنرها جوابهای متفاوتی می دهند. این کار با استفاده از صفحات شیشه ای دارای شبکه های منظم انجام می شود. خطای هندسی توسط یک ترانسفورماسیون affain که بین نقاط اندازه گیری شده شبکه و مقادیر رفرنس که روی صفحه شیشه ای با دقت  $1-2\mu m$  کالیبره شده اند تخمین زده می شود. اسکنرهای پیشرفته مانند SCAI به علت یکنواختی بهتر اجزای آن دارای اختلافات کمتری هستند.

**اسکنرهای فتوگرامتری دارای استحکام هندسی بالا و دقت حدود  $2/5$  تا  $10$  میکرون می باشند.** دقت هندسی این اسکنرها **۵ تا ۷ میکرون است.** بر حسب قدرت تفکیک هندسی و هم چنین قدرت تفکیک رادیومتریکی، قیمت اسکنرها متفاوت می باشد.

نیازمندیها برای اسکن عکسهای هوایی و نقشه ها متفاوت است. عکسهای رنگی چه بصورت رنگی و چه سیاه و سفید اسکن شوند نیاز به اندازه  $25 \times 25$  سانتیمتر دارند، رزولوشن حداقل  $1200-600$  DPI، صحت هندسی  $5-2\mu m$  (برای کاربردهای با دقت بالا)، رزولوشن رادیومتریکی  $10-12$  بیتی و رنج چگالی  $2/5D$  (برای عکسهای Panchromatic) تا  $3/5D$  (برای عکسهای رنگی) از ملزومات اسکن عکسهاست. عکسهای ماهواره ای نیز همین شرایط را نیاز دارند البته بجز اندازه اسکن کردن که  $30 \times 45$  سانتیمتر می باشد.

در صورتی که نقشه ها به صورت سیاه و سفید و یا رنگی هستند. این نقشه ها روی کاغذهای شفاف یا کاغذ معمولی و نیازمند اندازه های بزرگ مثلا" اندازه A1 هستند. برای اسکن نقشه ها رزولوشن DPI ۱۰۰۰-۴۰۰، نیاز است. صحت هندسی باید بیشتر از صحت نقشه باشد که معمولا" ۰/۳-۰/۲ میلیمتر است و بطور معمول با رزولوشن رادیومتریکی ۴-۱ بیت اسکن می شوند (چون نقشه با ۲۵۶ درجه خاکستری یا تمام رنگی نادر است).

### ۳-۵-۲-۱-۱ اسکنرهای DTP

اسکنرهای DTP برای کاربردهایی کاملا" متفاوت از کاربردهای فتوگرامتری/کارتوگرافی ساخته شده اند. چون این نوع اسکنرها بخش بزرگی از بازار اسکنرها را به خود اختصاص داده اند، پس در معرض توسعه سریع تکنولوژی هستند. این اسکنرها می توانند داده های باینری، graylevel، Halftone، و رنگی را اسکن کنند و نرم افزارهای خوب و ارزانیتمی دارند که پارامترهای اسکن را تنظیم می کنند، پردازش تصاویر را انجام می دهند و می توانند به کامپیوترها با Platformهای متفاوت (مثل مکینتاش، PCها و ایستگاههای کاری Unix) وصل شوند.

این اسکنرها معمولا" در اندازه A4 اسکن می کنند ولی می توانند تا ابعاد A3 و حتی بیشتر را نیز اسکن کنند. برخی اسکنرهای این دسته نمی توانند کاغذهای شفاف را اسکن کنند ولی برخی از آنها فقط در ابعاد کوچک (برای اسکنرهای A4 ماکزیمم عرض کاغذ شفاف می تواند ۸/۵-۸ اینچ باشد) کاغذ شفاف را اسکن می کنند. با چنین عرضی می توان فیلمهایی با ۸ فیدوشل مارک را اسکن کرد (که ۵ فیدوشل مارک مرئی هستند).

کیفیت رزولوشن رادیومتریکی و سرعت اسکن آنها گاهی اوقات بیشتر از اسکنرهای فیلمهای فتوگرامتری است که این نوع اسکنرها بسیار گرانقیمت نیز هستند. اسکنرهای DTP که قابلیت کنترل رزولوشن اتوماتیک و منحنی تن قابل تعریف توسط کاربر که می تواند در حین اسکن کردن اعمال شود، را دارند نیاز به زمان چند دقیقه ای دارند تا پارامترهای اسکن آنها تعریف شود که این در مقایسه با اسکنرهای فتوگرامتری بسیار ناچیز است. بویژه اینکه در بسیاری از مواقع اجزاء الکترونیکی اسکنرهای DTP بروزتر و مدرنتر از اجزاء اسکنرهای فتوگرامتری هستند.

مهمترین مسئله اسکنرهای DTP فقدان صحت هندسی بالای آنها می باشد. خطاها برحسب نوع طبقه بندی دارای تقسیم بندی متفاوتی هستند مثل خطاهای هندسی و رادیومتریکی

یا خطاهایی که دائما" تغییر می کنند و آنهایی که به آهستگی تغییر می کنند. مهمترین خطاهایی که ثابت هستند یا به آهستگی تغییر می کنند عبارتند از:

اعوجاج عدسی، Defect، پیکسلها، خطای در یک راستا نبودن CCDها، خطای Subsampling، ایجاد لکه در اثر سرعت بالا و فوکوس نامناسب، Misregistration کانال رنگها. مهمترین خطاهایی که دائما" در حال تغییر هستند عبارتند از تعیین مکان مکانیکی، عدم ثبات روشنایی، Strip، لرزشها، نویزهای الکترونیکی، گردوغبار و...

همانطور که می بینیم خطاهایی که دائما" تغییر می کنند بیشتر به رادیومتری مربوط می شوند و خطاهای هندسی که در حال تغییر هستند مربوط به تعیین موقعیت مکانیکی و لرزشها می باشند. خطاهای عمده اکثرا" عدم صحت تعیین صحت موقعیت هندسی، اعوجاج عدسی، نویزهای الکترونیکی، توازن رنگها و Misregistration رنگها می باشند. خطاهای دیگر بستگی به طراحی و ساختار اسکنرها و بخشهای مختلف اسکنرها دارد. بطوریکه برخی خطاها به کیفیت و استحکام اسکنرها بستگی دارد مثلا" در اسکنرهای DTP خطای تعیین موقعیت در یک اسکنر از یک اسکنر به اسکنر دیگر متفاوت است یا در اسکنرهای DTP خطای هندسی در امتداد چیدمان CCDها به طرف کناره ها بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد در حالیکه این خطا در طول اسکن کردن ممکن است به آهستگی افزایش یابد.

اگرچه در برخی کاربردها مثل اسکن نقشه ها، اسکنرها حتی بدون کالیبراسیون صحت هندسی کافی را دارند ولی بهبود این موضوع محدوده کاربرد آنها را بسیار بیشتر می کند. در ادامه به نحوه اصلاح خطاهای این اسکنرها پرداخته می شود.

#### اصلاح خطاهای اسکنرهای DTP ۳,۵,۲,۱,۱,۲,۱

همانطور که ذکر شد اسکنرهای DTP یکی از بخشهای بازار اسکنرها هستند که به سرعت در حال رشد می باشند. این اسکنرها در حال توسعه کیفیت کلی تصویر، توسعه اندازه های اسکن، بهبود رزولوشنهای رادیومتریک و هندسی و کم کردن قیمت هستند.

فروشندهگان اسکنرهای DTP یا با نیازمندیهای اسکنرها در کاربردهای فتوگرامتری/کارتوگرافی آشنا نیستند یا اینکه به سادگی از کنار این نوع کاربردها می گذرند. پس توسعه و بهبود صحت هندسی اسکنرهای DTP به خاطر افزایش قیمت و یا عدم استقبال مشتریان امکانپذیر نیست.

بنابراین می توان یک شرط اختیاری در اختیار مشتری گذاشت که صفحه های کالیبراسیون و نرم افزارها را با قیمتی مناسب خریداری کند. همانطور که بیان شد کالیبراسیون هندسی با یک روش ساده برای انواع مختلف اسکنرها قابل انجام است و رسیدن به دقت حدود  $5-7\mu m$  نیز برای آنها امکان پذیر است. با این توضیح امکان استفاده از اسکنرهای DTP در برخی کاربردهای فتوگرامتری وجود دارد.

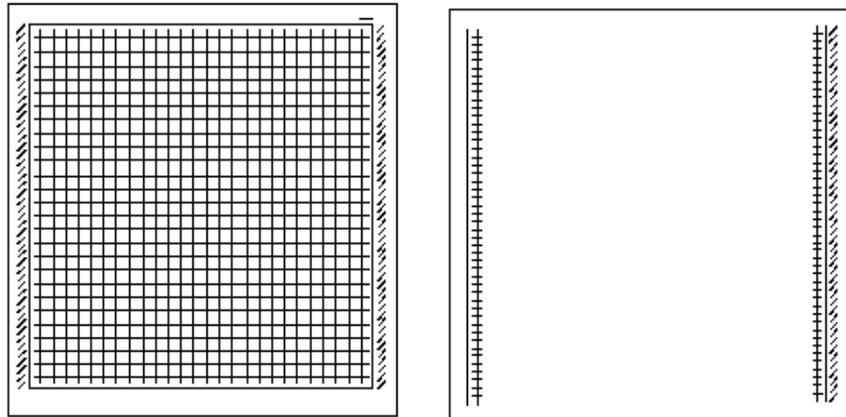
به هر حال مهمترین مشکل اسکنرهای DTP فقدان صحت هندسی بالای آنها می باشد. با بهبود این مساله، محدوده کاربرد آنها بسیار بیشتر می کند. ولی در برخی کاربردها مثل اسکن نقشه ها، اسکنرها حتی بدون کالیبراسیون، صحت هندسی کافی را دارند ولی هنوز هم مشکل عدم امکان افزایش ابعاد اسکن آنها که محدود به A3 است، وجود دارد. در اسکن نقشه های خطی به رقومی خطاهایی ایجاد می شود که نقشی بسیار جدی در دقت DTM نهایی دارند. با استفاده از شبکه های متریک می توان خطاهای اسکن را شناسایی و حذف کرد.

اصلاح نقشه های اسکن شده در سه مرحله انجام می شود:

- ۱- تشخیص میزان خطا
- ۲- تشکیل ترانسفورماسیون لازم برای اصلاح خطا
- ۳- اعمال ترانسفورماسیون به منظور حذف خطا و یا کاهش آن

#### تشخیص میزان خطا ۳,۵,۲,۱,۱,۲,۱,۱

مهمترین روش برای تست هندسی، استفاده از test pattern ها است که مهمترین آنها صفحات شبکه ای می باشد. معمولاً برای انجام این تست از دو صفحه شبکه ای استفاده می شود. مطابق شکل صفحه سمت چپ (Off line) برای مدل کردن خطاهایی که به آهستگی تغییر می کنند (یعنی خطای اعوجاج عدسی) و صفحه سمت راست (On line) برای مدل کردن خطاهایی که دائماً در حال تغییر هستند (تعیین موقعیت مکانیکی)، استفاده می شوند.



شکل ۱: صفحات شبکه ای مورد استفاده برای تست هندسی

صفحه سمت چپ دارای شبکه  $25 \times 25$  با فواصل یک سانتیمتر است و صفحه سمت راست دارای علامت "+" در حاشیه های سمت چپ و راست است که فاصله بین آنها یک میلیمتر است. شبکه ها معمولاً با خطوط به ضخامت  $190 \mu\text{m}$  و مربعهای سفید کوچک در مرکز تقاطع طراحی می شوند. این مربعها بارها توسط دستگاه تحلیلی Wild AC1 و با صحت  $2-3 \mu\text{m}$  اندازه گیری می شوند.

در مرحله تشخیص میزان خطا از یک ترانسفورماسیون کانفورمال استفاده می شود. به این ترتیب که در سیستم تعریف شده فوق نقاط کنترل مختصات دارای مشخص می شوند و پس از اسکن نقشه به همراه شبکه، دوباره مختصات آنها اندازه گیری می شود و ضرایب معادله کانفورمال محاسبه می شود. پس از آن به کمک نقاط چک که از قبل بر روی نقشه مشخص شده اند و مختصات صحیح آنها در دسترس است میزان خطا (total error) از معادله محاسبه می شود. این نقاط چک نباید در دست آوردن ضرایب معادله کانفورمال شرکت داده شوند و تنها برای تعیین میزان RMSE استفاده می شوند.

یک معادله کانفورمال به شکل زیر خطاها را حذف نمی کند بلکه فقط آنها را کشف می کند.

$$x = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$y = b_0 + a_2x - a_1y$$

### شکل خطاها و میزان آنها بیاید

مطابق تستهای انجام شده برای اسکنرهای DTP، صحت هندسی معمولاً از  $60 \mu\text{m}$  کمتر است و در بعضی موارد مثلاً در Mirage حتی نزدیک  $20 \mu\text{m}$  می باشد. خطاها عموماً در جهت X یعنی جهت قرار گرفتن CCD ها، بزرگتر است که نمایانگر اعوجاج عدسی بزرگتر در این راستا می باشد. عموماً وقتی از ۴ نقطه گوشه به عنوان نقطه کنترل استفاده می شود، خطای نقاط چک افزایش می یابد، چون نقاط گوشه خطای بیشتری نسبت به نقاط میانی دارند پس پارامترهای افاین برآورد شده خطای بزرگتری خواهند داشت. از این رو نتایج حاصل از ۸ نقطه کنترل بهتر از ۴ نقطه است.

$$\text{تشکیل ترانسفورماسیون لازم برای اصلاح خطا} \quad 3, 5, 2, 1, 1, 2, 1, 2$$

در مرحله دوم باید یک ترانسفورماسیون مناسب برای اصلاح خطا تشکیل شود. معمولاً از یک چند جمله ای افاین شروع کرده و سپس با افزودن جملاتی به آن، چند جمله ای های متفاوتی حاصل می شود. با امتحان نقاط چک در این معادلات و به دست آوردن میزان RMSE، چند جمله ای هایی که باعث تغییر جدی در میزان خطا می شوند حفظ شده و بقیه حذف می شوند و در نهایت یک ترانسفورماسیون با کمترین میزان خطا به دست می آید.

## توضیح بیشتر در مورد نحوه به دست آوردن ترانسفورماسیون لازم با استفاده از Polynomialها و اشاره به روش ژنتیک

۳, ۵, ۲, ۱, ۱, ۲, ۱, ۳ اعمال ترانسفورماسیون به منظور حذف خطا و یا کاهش آن در مرحله سوم معادله باید بر روی کل تصویر اعمال شود. محصول این مرحله موقعیت صحیح پیکسل هاست در حالیکه به مقدار پیکسل نیز نیاز است که در نتیجه باید عمل resampling نیز انجام شود. از آنجا که اسکنرها در اثر گذشت زمان دچار خطاهایی می شوند باید قبل از استفاده کالیبره شوند. برای امتحان کالیبره بودن دستگاه در زمان اسکن نقشه ابتدا یک شبکه اسکن می شود، پس از آن نقشه به همراه شبکه مورد اسکن قرار می گیرد. در مرحله بعد مجدداً شبکه اسکن می شود و رفتار ترانسفورماسیون به دست آمده از شبکه اول با شبکه دوم مقایسه می شود. در صورت مشابه بودن ترانسفورماسیون در هر دو سیستم مختصات، شبکه از لحاظ کالیبره بودن تایید می شود.

### ۳-۵-۲ حذف نویز

وجود نویز به دلیل اسکن ضعیف و یا کیفیت پایین نقشه اولیه می باشد. حذف نویز به وسیله تکنیک های smoothing انجام می شود. در عمل Smoothing ابتدا عمل کشف نویز با استفاده از تکنیک های پردازش تصاویر و بررسی ناپیوستگی ها و تغییرات شدید در مقدار پیکسل ها انجام می شود. معمولاً با تعریف یک پنجره و بررسی مقادیر پیکسل ها در آن پنجره نویزها کشف می شوند. پس از کشف نویز در تصاویر، عمل رفع نویز به چندین روش انجام می شود:

- روش میانه: در این روش مقادیر پیکسل های پنجره به ترتیب صعودی یا نزولی مرتب شده و عدد وسطی (میانه) جایگزین مقدار نویز کشف شده می شود.

### توضیح بیشتر

- روش میانگین: در این روش میانگین مقادیر پیکسل های پنجره جایگزین مقدار نویز می شوند. در هر دو این روشها خود مقدار نویز هم برای حفظ کنتراست وارد می شود.

### توضیح بیشتر

### ۳-۵-۲ تشخیص و باینری کردن منحنی میزانها

محصول این مرحله یک لایه رستری است که فقط شامل منحنی میزان هاست. برای تشخیص منحنی میزانها از تکنیک پردازش تصاویر در edge detection استفاده می شود. در تشخیص منحنی میزانها باید به نکات زیر توجه شود:

- منحنی میزانها عوارضی خطی هستند.
- رفتار منحنی میزانها مثل لبه (edge) هاست.
- رنگ منحنی میزانها متفاوت از رنگ زمینه است.
- هدف، پیدا کردن تغییرات ناگهانی به غیر از نویز در تصویر است.

Edge detection به چندین روش انجام می شود. به عنوان مثال می توان از روش استفاده از پنجره های مشتق گیری مرتبه اول مثل فیلترهای sobel و canney نام برد که به کمک آنها تغییرات ناگهانی پیکسل ها بررسی می شود. روش دیگر استفاده از مشتق دوم است که مثالی از آن فیلترهای مشتق دوم لاپلاسین می باشد. پس از انجام مرحله edge detection باید مرحله باینری کردن صورت گیرد یعنی کل پیکسل های تصویر به دو مقدار صفر و یک تبدیل شوند. این مرحله در صورتی امکان پذیر است که تصویر نرم (smooth) شده باشد و کنتراست تصویر افزایش یافته باشد (enhancement) و منحنی ها استخراج شده باشند. یکی از روشهای باینری سازی استفاده از یک حد آستانه (threshold) به صورت زیر است:

$$g(x,y)=255 \quad \text{if } f(x,y)>T$$

$$g(x,y)=0 \quad \text{if } f(x,y)<T$$

یعنی با این کار ۲۵۶ رنگ به دو کلاس رنگ تبدیل میشوند. برای یافتن مقدار آستانه روشهای مختلفی وجود دارد:

- ۱- روش دستی و انتخابی (interactive) که در آن خود کاربر مقدار T را تعیین می کند و اکثر نرم افزارها این امکان را در اختیار قرار میدهند.

۲- روش اتوماتیک که در آن به صورتهای زیر عمل می شود:

- با تقسیم حداکثر مقدار پیکسل بر عدد دو و انتخاب آن به عنوان T
- استفاده از میانه مقادیر پیکسلها به عنوان T
- استفاده از هیستوگرام و تعیین مقدار pick هیستوگرام و انتخاب نقداری نزدیک به آن به عنوان T

### ۳-۲-۴ نازک سازی

در تصویر باینری شده حاصل ممکن است خطوط به صورت عوارض سطحی یعنی با عرض بیشتر از یک پیکسل ذخیره شده باشند و باید عمل نازک سازی بر روی آنها انجام شود. این مرحله توسط فیلترهایی که خروجی آنها عوارضی به ضخامت یک پیکسل است انجام می شود. از جمله این فیلترها می توان فیلترهای کددار را نام برد.

### ۳-۲-۵ برداری کردن

در این مرحله علاوه بر تعقیب منحنی میزانها و تبدیل آنها از حالت رستری به برداری در صورتیکه در منحنی های حاصله ناپیوستگی وجود داشته باشد برطرف می شود. در واقع عمل tracing یا contour following انجام می شود. این کار به صورت نیمه اتوماتیک و اتوماتیک قابل انجام است. در روش نیمه اتوماتیک اوپراتور نقطه شروع را مشخص می کند و نرم افزار تا محلی که به قطع شدگی برسد منحنی را تعقیب می کند (cadowerlay) و اتصالها توسط اوپراتور برقرار می شود. اما در روش اتوماتیک از الگوریتمی به نام ماتریسهای جهت یاب (directional matrix) استفاده می شود. در این الگوریتم پیکسل های مجاور در زوایای مختلف حول پیکسل مورد نظر مورد بررسی قرار می گیرند و بسته به فاصله، نزدیکترین پیکسل یا مقدار یک به عنوان امتداد دهنده منحنی میزان مورد نظر تعیین می شود و ناپیوستگی منحنی میزان در این فاصله برطرف می شود. در این روش که نرم افزار به طور اتوماتیک منحنی میزانها را تشخیص می دهد. ممکن است در جاییکه منحنی ها به هم نزدیک می شوند اشتباه رخ دهد و امتداد یک منحنی میزان به دیگری متصل شود. مشروط نمود.

## توضیح

### ۴ تغییر و اصلاح DTM

در جریان تهیه DTM از فضای زمین واقعی با روش نمونه برداری و ایجاد یک مدل یک سطح رقومی به نام DTM ایجاد شده است. قبل از استفاده از این محصول لازم است مشخص شود که آیا این سطح همان سطح دلخواه است و یا نیاز به تغییراتی دارد و باید اصلاح شود. Manipulation به معنی ایجاد تغییرات و یا اصطلاحاً دستکاری اطلاعات است. پس از تهیه DTM با دو هدف می توان آنرا تغییر داد:

۱- اصلاح (Refinement) برای بهبود کیفیت، مثل برطرف کردن خطاهای موجود در DTM

۲- ایجاد تغییرات (Modification) مثل جسابندن دو DTM به یکدیگر

موارد فوق به چهار شکل صورت می گیرند که در زیر توضیح داده می شوند

### توضیح بیشتر

#### Editing 1-۴

زمانی از Edditing استفاده می شود که لازم باشد توپولوژی DTM ویرایش شود و شامل اضافه کردن (add) حذف کردن (delete) و تغییر دادن (move) نقاط می باشد. در مدل شبکه ای این ویرایش محدود به تغییر دادن ارتفاع نقاط شبکه می باشد که کار آسانی است اما در مدل TIN اضافه و کم کردن نقاط هم مطرح می شود که خود باعث تغییر مدل می شود. حذف یا افزودن یک نقطه به مدل TIN باعث به هم خوردن ارتباط می شود و باید شکل توپولوژی مدل تغییر کند. در صورتیکه این عمل به صورت interactive انجام گیرد یعنی نتیجه بافاصله بعد از تغییر مشاهده شود یعنی عمل edding به صورت بصری (visual) صورت گیرد، کار دقیقتر و راحت تر انجام می شود.

### توضیح بیشتر و شکل

#### Filtering ۲-۴

در ادامه به شرح چند مورد عملی از کاربرد فیلتر در پروژه های DTM پرداخته می شود و چگونگی اصلاح داده های فتوگرامتری توسط فیلترها و نقش آنها در بهبود DTM و ایجاد تولیدات جدید شرح داده می شود.

اهدافی که در filtering دنبال می شوند عبارتند از:

- smoothing

در این حالت به منظور کمرنگ کردن نمایش تغییرات جزئی و لبه ها و یا حذف برخی خطاها و بررسی روند تغییرات سطح، فیلترهای lowpass برری DTM اعمال می شود.

- Enhancement

در این حالت به منظور بارز سازی تغییرات جزئی و لبه ها، نمایش خطاها در یک جهت خاص مثلاً نمایش تغییرات ارتفاعی با اغراق و در مقیاس چند برابر از فیلتر خای highpass استفاده می شود.

- (DVR) Data Value Reduction



در این حالت هدف، کاهش حجم داده ها در زمان پردازش، با حذف نقاط تکراری و ذخیره فضای داده است. زمانی که DTM تشکیل می شود، معمولاً تعداد نقاط بیش از تعداد مورد نیاز است و پردازش و انجام کلیه عملیات روی این داده ها زمان بر است. این مشکل زمانی بیشتر بروز می کند که کار به صورت online انجام شود یعنی زمانی که تغییرات DTM باید به طور لحظه ای نمایش داده شوند. هم چنین زمانی که به دنبال نقاطی با ارتفاع خاص هستیم جستجوی این نقاط زمان زیادی خواهد گرفت. این مشکل در مدل شبکه ای نسبت به مدل TIN بیشتر واضح است. یکی از روشهای DRV تبدیل شبکه (grid) با حجم بالا به یک TIN با حجم کمتر است. برای این کار به ضابطه ای برای حذف نقاط نیاز است. یعنی ابتدا یک تلورانس دقت برای  $\Delta z$  انتخاب می شود و بر طبق آن وجود نقطه ها قبول و یا رد می شود. مراحل کار به این ترتیب است که ابتدا با اولین سه نقطه موجود یک مثلث تشکیل می شود نقطه بعدی به منظور افزودن مثلث دیگر، مورد بررسی قرار می گیرد. یعنی به کمک صفحه گذرنده از مثلث اول ارتفاع نقطه انتخاب شده ( $\hat{z}$ ) محاسبه و با ارتفاع آن نقطه در شبکه مقایسه می شود:  $\Delta z = z_A - \hat{z}_A$ ، اگر مقدار  $\Delta z$  از تلورانس در نظر گرفته شده بیشتر باشد نقطه در شبکه TIN جدید قرار خواهد گرفت و در غیر این صورت از شبکه نقاط حذف خواهد شد. بنابراین نقاطی از شبکه که در شیب یکسان قرار دارند و در یک صفحه قرار می گیرند، حذف می شوند.

#### ۴-۲-۱ فیلترها

فیلترها نقش مهمی در تولید و ارتقاء DTM حاصل از داده های فتوگرامتری دارند. فیلترها جهت سهولت عملیات اصلاح تصویر و استخراج عوارض خاص، در روند تولید DTM و یا پس از آن وارد می شوند. این فیلترها با اعمال اثرات گوناگون بر تصویر در جاهای مختلف کاربرد دارند. از جمله مهمترین این فیلترها می توان به فیلترهای بالاگذر و پایین گذر اشاره کرد. البته لازم است به این نکته توجه شود که باید فیلترهای مناسبی جهت داشتن اثر مورد نظر در تصویر مورد استفاده قرار گیرند. در واقع داشتن آگاهی از معایب فیلترها و اثرات تخریبی آنها بسیار مهم است. نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه بیانگر این مطلب است که اعمال فیلترها تابع عارضه، وضعیت توپوگرافی منطقه، نوع تغییرات خواسته شده، وسعت منطقه، قدرت تفکیک و کیفیت تصویر فتوگرامتری و... می باشد. همچنین در مواردی که فیلتر برای حذف خطاها به کار رفته نتایج بسیار خوبی بدست آمده و مراحل بعدی از جمله طبقه بندی با دقتی بهتر به انجام رسیده است.

هدف از اعمال فیلترها نرم کردن (smoothing)، واضح سازی (enhancement) و کم کردن حجم داده هاست. فیلترهای نرم کننده و واضح ساز معادل فیلترهای پایین گذر و بالا گذر مورد استفاده در پردازش تصاویر هستند. این فیلترها هم در حوزه مکان و هم در حوزه فرکانس به کار می روند و بیشترین کاربرد را در مدل های شبکه ای دارند. تأثیر فیلتر نرم کننده (پایین گذر) حذف جزئیات بوده و در واقع سطح DTM را نرم تر می کند. فیلترهای واضح ساز (بالاگذر) برعکس عمل می کنند، یعنی نقاط منفصل اهمیت بیشتری دارند، در حالیکه شکلهای نرم اهمیت کمتری می یابند. فیلترهای نرم کننده معمولاً جهت حذف خطاها استفاده می شوند. همچنین می توان در عمل جنرالیزاسیون از آنها استفاده نمود.

با اعمال فیلترها می توان حجم داده های یک DTM را کاهش داد. مراحل کاهش حجم داده ها از این طریق را می توان جهت حذف داده های تکراری نقاط به کار برد تا با فضای ذخیره سازی کمتر، زمان پردازش داده های DTM کاهش یابد. همچنین این عمل ممکن است به عنوان یک مرحله پیش پردازش در تولید DTM و یا برای تبدیل یک DTM شبکه ای به یک TIN به کار رود.

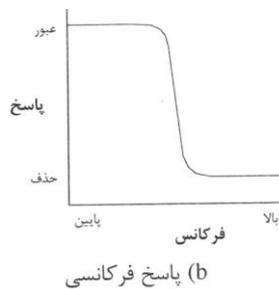
یکی از قوی ترین تکنیکهای مورد استفاده در پردازش تصویر کانولوشن است که از متداول ترین کاربردهای آن استفاده در فیلترهای رقومی است.  
معادله عمومی کانولوشن به صورت زیر است:

$$C_{X,Y} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{i,j} \times m_{i,j}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{i,j}}$$

قلب این معادله یک ماسک و یا کرنل است که دارای عناصر  $m_{i,j}$  است. این کرنل همانند یک تصویر رقومی، آرایه ای از اعداد با ابعاد مشخص  $(m \times n)$  است. هر عنصر از کرنل در مقدار پیکسل متناظر در تصویر ورودی که داری عناصر  $p_{i,j}$  است ضرب می شود. این حاصل ضربها با هم جمع شده و نتیجه بر مجموع کرنل تقسیم می شود. مخرج کسر به عنوان وزن ماسک شناخته شده است. نتیجه این تقسیم یک پیکسل از تصویر خروجی است. کانولوشن نیازمند توان محاسباتی بالایی است. در زمان ایجاد یک برنامه کانولوشن باید در نظر داشت که پس از محاسبه مقدار یک پیکسل، مقدار اولیه آن برای شرکت در همسایگیهای مجاور مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین تا پایان محاسبه تمامی پیکسلها، هیچ مقدار جدیدی نباید جایگزین مقادیر اولیه شود.

#### ۲-۲-۴ فیلترهای بالا گذر و پایین گذر

کرنل  $3 \times 3$  زیر یک فیلتر پایین گذر را نشان می دهد. تمامی پیکسلها در همسایگی ورودی با نسبت یکسان، در پیکسل کانولوشن شده خروجی سهیم هستند. زیرا تمام عناصر کرنل مقادیر ۱ دارند. به عبارت دیگر مقدار پیکسل خروجی یک میانگین ساده از پیکسلهای ورودی است. شکل زیر پاسخ فرکانسی این فیلتر را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، مناطق دارای فرکانس پایین بدون تغییر باقی می ماند و مناطق دارای فرکانس بالا به همین صورت میانگین گیری شده و باعث حذف تغییرات سریع می شوند.  
با اعمال این فیلتر می توان نویزهای تصویر مانند تأثیر دانه بندی عکس اسکن شده را از تصویر حذف کرد. البته این عمل باعث از بین رفتن لبه های تیز می شود.



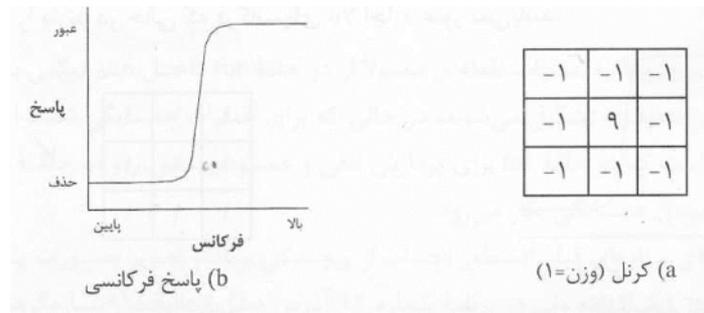
|   |   |   |
|---|---|---|
| ۱ | ۱ | ۱ |
| ۱ | ۱ | ۱ |
| ۱ | ۱ | ۱ |

(a) کرنل (وزن ۹)

#### شکل ۱

کرنل زیر یک فیلتر بالا گذر را نمایش می دهد. عدد ۹ در مرکز کرنل نشان می دهد که مضرب بسیار بزرگتری از مقدار پیکسل ورودی به پیکسل خروجی منتقل می شود. شکل زیر بیانگر این مطلب است که این فیلتر فرکانسهای بالا را تقویت می کند، درحالیکه فرکانسهای پایین تأثیری عکس می گیرند. اثر کلی این فیلتر واضح شدن لبه ها در تصویر

است که به دلیل تأثیر شدید ، معمولاً نتایج چندان مطلوبی ارائه نمی دهند. یکی از راههای حل این مشکل ، اعمال مرحله به مرحله واضح سازی روی تصویر اولیه است.



شکل ۲

#### ۳-۲-۴ فیلتر شبکه مثلثی (ATM)

یک گرید را می توان به عنوان شکل خاصی از TIN در نظر گرفت که نودهای منظمی در یک شبکه مثلثی دارد. وقتی که در جریان عمل فیلتر کردن برخی از نقاط حذف می شوند ، گرید به TIN تبدیل می شود. روش فیلتر مبتنی بر یک الگوریتم است که مرتباً نقاط پر اهمیت را به مثلث بندی اضافه می کند تا اینکه دیگر برای نمایش سطح در تلورانس در نظر گرفته شده به نقاط بیشتری نیاز نباشد. اهمیت نقطه از طریق فاصله عمودی بین نقطه و مدل مثلث بندی تولید شده بدون آن نقطه تعیین می شود.

#### ۴-۲-۴ فیلتر میانه، ماکزیمم و مینیمم

فیلترهایی که نوع عمل آنها با توجه به نوع داده ها تغییر می کند را فیلترهای آماری یا غیرخطی و یا فیلترهای رتبه ای می گویند. سه فیلتر در این دسته را می توان به شرح زیر بیان کرد: فیلتر میانه مقدار میانه را برای پیکسل انتخاب می کند و فیلترهای ماکزیمم و مینیمم به ترتیب بزرگترین و کوچکترین مقادیر را انتخاب می نمایند. فیلتر میانه می تواند برای حذف نویزهای فرکانس بالا استفاده شود ولی ممکن است اثرات ناخواسته داشته باشد. این حالت بیشتر در تصاویر رنگی مشاهده می شود. فیلتر مینیمم به دلیل کم کردن تأثیر اجسام روشن تصویر گاهی با نام فیلتر فرسایشی و فیلتر ماکزیمم به دلیل برجسته کردن قسمتهای روشن با نام فیلتر افزون ساز نیز نامیده می شوند. برخی اثرات نامطلوب این فیلترها می تواند با عدم انتخاب پیکسلهای با رتبه خاص و جایگزینی میانگین پیکسلهای اطراف به جای آن محدود شود. معمولاً اعمال ۳ پیکسل کافی است . چون با اعمال پیکسلهای بیشتر تصویر مات می شود.

#### ۵-۲-۴ فیلتر شبه میانه ای

این فیلتر برای حذف تأثیر دانه بندی تصویر پس از اسکن کردن فیلم اعمال می شود. الگوریتم حذف اثر دانه بندی یک گروه از پیکسلها را در نظر می گیرد که از یک بردار افقی و عمودی تشکیل شده اند. شکل زیر این فیلتر را نشان می دهد. ترتیب پیکسلها روی خط افقی و عمودی حفظ می شود. این دو بردار می توانند به صورت بردار تک بعدی  $(a,b,c,d,e,f,g,c,h,i)$  نمایش داده شوند. ترتیب فوق به شکل زیر مجموعه هایی از سه پیکسل مجاور به صورت  $(a,b,c), (b,c,d), (c,d,e), \dots, (c,h,i)$  نشان داده می شود. سپس کمترین مقدار هر زیر مجموعه پیدا

شده و به عنوان یک مجموعه جدید مرتب می شوند. در آخر بیشترین مقدار این مجموعه تحت عنوان Maximin مشخص می شود:

$$\text{Maximin} = \max[\min(a,b,c), \min(b,c,d), \min(c,d,e), \dots, \min(c,h,i)]$$

این عملگر پس از اعمال به یک تصویر مناطق روشن ناگهانی (نویز) را حذف می کند. به همین ترتیب عملگر minimax که کمترین مقدار مربوط به بیشترین مقادیر زیر مجموعه هاست تعریف می شود و نقاط تیره ناگهانی را از تصویر حذف می کند. برای حذف هر دو نوع نویز هر دو این فیلترها باید به تصویر اعمال شوند و ترتیب آنها مهم نیست.

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|   |   | f |   |   |
|   |   | g |   |   |
| a | b | c | d | e |
|   |   | h |   |   |
|   |   | i |   |   |

شکل ۳

#### ۶-۲-۴ فیلتر میانگین (Mean)

کرنل زیر بیانگر این فیلتر می باشد. این فیلتر میانگین پیکسلها را می گیرد و به جای پیکسل خروجی قرار می دهد. این فیلتر جز فیلترهای پایین گذر است و همان تاثیرات را دارد. همچنین ممکن است مرزها را خراب کند و قدرت تفکیک را کاهش دهد.

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 1/9 | 1/9 | 1/9 |
| 1/9 | 1/9 | 1/9 |
| 1/9 | 1/9 | 1/9 |

شکل ۴

#### ۷-۲-۴ فیلتر گوس

این فیلتر نوع خاصی از فیلتر میانگین وزنی است که در آن داده ها توزیع نرمال دارند. فیلتر میانگین وزنی شبیه فیلتر میانگین است با این تفاوت که وزنها یکسان نیستند و به پیکسل مرکزی وزن بیشتری داده می شود البته جمع کلیه وزنها برابر یک می شود. در فیلتر گوس درجه روشنائی مرکزی بهتر حفظ می شود و میزان تخریب کم است.

### Merging ۳-۴

این حالت در واقع برای اتصال دو یا چند DTM به هم کاربرد دارد. در حالت Joining دو شبکه (grid) یا TIN هم مرز به هم متصل می شوند. اگر دو شبکه، قدرت تفکیک و سیستم مختصات یکسان داشته باشند به راحتی در کنار هم قرار می گیرند، اما اگر در یکی از موارد فوق متفاوت باشند یکی از آنها مورد resampling قرار گرفته و پس از آن به هم متصل می شوند. برای اتصال دو TIN به یکدیگر در قسمت مرزی یک سرشکنی محلی (Local Adjustment) صورت می گیرد و دو TIN به یکدیگر متصل می شوند.

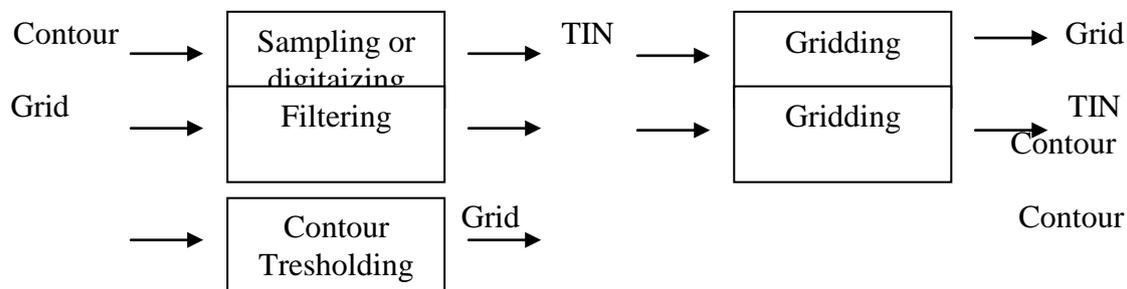
Merging به منظور یکی کردن دو DTM که با هم هم پوشانی (overlap) دارند استفاده می شود. در حالتیکه دو DTM شبکه ای مورد merg قرار می گیرند، کار مثل حالت joining صورت می گیرد. اما در حالت TIN محدوده هم پوشانی دو DTM باید باز سازی شود که به دو صورت قابل انجام است:

- یک DTM به عنوان مبنا در نظر گرفته می شود و نقاط و مثلثهای جدید به کمک نقاط DTM دوم به آن افزوده می شوند تا جاییکه DTM دوم دیگر تغییری نکند.
- مثلث بندی مجددی با در نظر گرفتن تمامی نقاط دو DTM انجام می گیرد.
- مشکلی که ممکن است به وجود آید تعیین دقت شبکه TIN نهایی است. چون DTM های اولیه دقت های متفاوتی دارند، در مورد دقت TIN نهایی نمی توان به راحتی اظهار نظر کرد.

### توضیح بیشتر و شکل

#### Data structure conversion ۴-۴

این حالت برای تغییر کلی ساختار داده ها و مدل DTM انجام می شود. مثلاً جاییکه ذخیره و پردازش داده ها به صورت TIN باشد ولی برای نمایش لازم باشد به grid تبدیل شوند و یا برای نمایش داده ها روی سطح کاغذ گاهی لازم است ساختار DTM به حالت منحنی میزان (contour) تغییر داده شود. مراحل در شکل زیر نمایش داده شده اند. توضیحات گزینه های این شکل در قسمتهای پیشین آورده شده است تنها در مورد Contour Thresholding بایستی ذکر شود که در این روش موقعیت نقاط منحنی بین خطوط شبکه با استفاده از نسبت فاصله منحنی تا نقاط شبکه و ارتفاع آنها به دست می آید.



#### ۱-۴-۴ شبکه بندی (Gridding)

هدف شبکه بندی رسیدن از یک مجموعه نامنظم نقاط به یک مجموعه منظم است که در monitoring یا نمایش DTM کاربرد دارد. برای رسیدن به این منظور دو روش وجود دارد: Linear و Moving Average و Projection که در زیر به توضیح روش Moving Average پرداخته می شود.

#### ۱-۴-۴-۱ روش Moving Average

در این روش ابتدا نقاط نامنظم بر اساس موقعیت جغرافیایی شان مرتب می شوند تا کار سریعتر انجام شود. شبکه دلخواه در نظر گرفته می شود و با توجه به آن نقاط اطراف نقطه مجهول شبکه تعیین می شوند. یعنی هر نقطه شبکه دارای ارتفاع مجهولی است که برای به دست آوردن آن از نقاط نمونه اطرافش استفاده می شود. ارتفاع نقطه مجهول با یکی از روشهای TINbased به دست می آید. تعیین نقاط مجاور نقطه مجهول و هم چنین روش یا مدل به کار رفته برای حصول ارتفاع نقاط در دقت نهایی تاثیر می گذارند. معمولاً تعیین نقاط مجاور بر اساس فاصله آنها از نقطه مجهول انجام می شود که به یکی از دو روش زیر صورت می گیرد. البته ذکر این مساله ضروری است که در برخی موارد نزدیکترین نقاط الزاماً به بهترین و دقیق ترین ارتفاع منجر نخواهند شد.

##### ۱- نزدیکترین نقاط

در این روش از نزدیکترین فاصله به عنوان معیار انتخاب نقاط استفاده می شود ولی تعداد نقاط موثر باید از پیش تعیین شده باشد. این روش سریع، ساده و برنامه پذیر است، اما معایبی نیز دارد. مثلاً ممکن است نقاط مجاور نقطه مجهول شبکه در یک راستا قرار گرفته باشند، چون نقاط بدون توجه به توپولوژی انتخاب می شوند. در این صورت ارتفاع نقاط به طور صحیح تعیین نخواهد شد. هم چنین اگر نقاط نمونه نزدیک به هم انتخاب شده باشند دقت ارتفاع های به دست آمده مناسب نخواهد بود. به عنوان مثال در سطوح شیبدار با شیب تند در فواصل کم، تغییرات ارتفاعی زیادی وجود دارد. پس در صورت نزدیک بودن نقاط نمونه به هم این تغییرات ارتفاعی در تعیین ارتفاع نقطه مجهول شرکت نخواهند کرد.

##### ۲- روش مشروط

در این روش برای رفع معایب روش نزدیکترین نقاط منطقه اطراف نقطه شبکه به ۴ یا ۸ منطقه تقسیم می شود و از هر منطقه تعداد مشخصی نقطه در تعیین Z دخالت داده می شوند. گاهی برای محدود کردن مشروط می توان حداکثر فاصله را نیز مشروط نمود.

## ۵ تفسیر DTM

تفسیر DTM بر مبنای اطلاعاتی است که از DTM به عنوان خروجی در یافت می شود این تفسیر ممکن است به صورت عددی یعنی تحلیل کمی داده های رقومی زمین باشد و یا به صورت بصری یعنی تحلیل بصری نمایش گرافیکی. تفسیر DTM به منظور بررسی خصوصیات شکل زمین، بررسی کیفیت DTM و به کار گیری آن در کارهای طراحی و مهندسی به کار می رود.

### ۱-۵ بررسی خصوصیات شکل زمین (Geomorphometric Analysis)

این بررسی ها به دو دسته عمومی و خاص تقسیم می شوند. آنالیزهای عمومی (general) در مورد توابع و اطلاعاتی است که هر DTM در خود دارد مثل شیب (slope & aspect)، انحناف تقعر و تحدب. اینگونه آنالیزها مربوط به خصوصیات کلی سطح زمین است و خاص منطقه ای نمی باشد و در تمام سطوح ناهموار پیوسته قابل اجراست. یکی از این آنالیزها local relief یا نمایش وضعیت نقاط مختلف DTM نسبت به یکدیگر است. در این آنالیز با استفاده از یک نقشه ارتفاعات نمایش داده می شوند. معمولاً از رنگهای تیره برای نمایش ارتفاعات کم و از رنگهای روشن برای نمایش ارتفاعات بالا استفاده می شود.

آنالیزهای خاص (special) مربوط به استخراج اطلاعات و اشکال خاص است مثل خط القعرها، خط الراس ها و قله ها که باید حتما دیده شوند تا مورد تفسیر قرار بگیرند. روشهای ژئومورفومتری خاص اساساً بر روی توصیف پدیده های زمین به هیدرولوژی سطحی متمرکز هستند. اطلاعات حاصل شده را می توان در کاربردهایی مثل شبیه سازی جریانات هیدرولوژی، مدل سازی ژئومورفولوژیکی و پشتیبانی روشهای درونبایی استفاده نمود.

از جمله آنالیزهای عمومی می توان موارد زیر را نام برد:

Slope determination - این اطلاعات از طریق تعریف یک صفحه مماس بر نقطه مورد نظر بر روی DTM قابل استخراج می باشد. از جمله اطلاعاتی که به این روش به دست می آید می توان از Gradient یا Slope که ماکزیمم میزان تغییرات ارتفاعی را بدست می دهد و Aspect که جهت ماکزیمم تغییرات شیب را مشخص می سازد، را نام برد.

- مشتق های مرتبه دوم: تقعر و تحدب DTM را در نقاط مختلف آن مشخص می سازد. (نرخ تغییرات شیب)

- Drainage Density: که معمولاً از داده Grid استفاده می کند.

از جمله آنالیزهای خاص که به تشریح هندسه و توپولوژی عوارض بخصوصی می پردازد، می توان آنالیزهای مربوط به تعیین موارد زیر را نام برد:

- Surface Specific points: مانند گردابها، دریاچه ها

- Linear Features: کانالهای آبی و گذرها

- Arial Features: حوزه های آبرگیر و دریاها

## شکل

۱-۱-۵ ویژگی های عمومی قابل استخراج از هر DTM

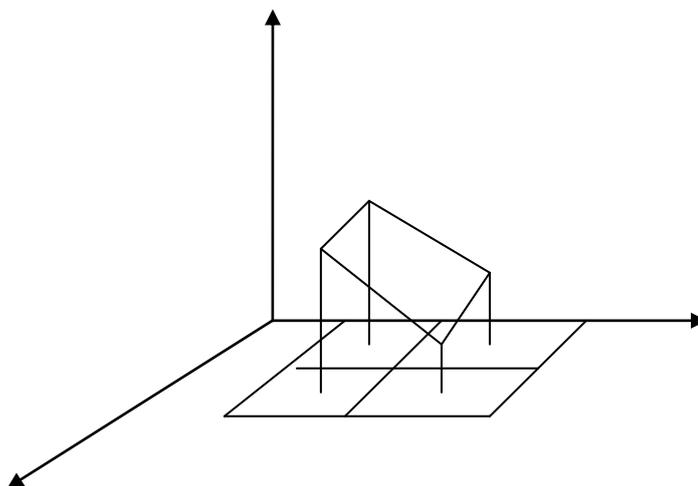
## Slope and Aspect ۱-۱-۱-۵

به دست آوردن میزان شیب از معمولترین کاربردهای ژئومورفومتری عام است. اگر سطح DTM و یک نقطه خاص در نظر گرفته شوند، آن نقطه در جهات مختلف نسبت به خط عمود بر DTM دارای زوایای مختلفی است. بیشترین مقدار این زوایا، زاویه شیب یا slope می باشد که نشان دهنده شیب زمین در آن نقطه است. ازیموت این خط جهتی را نشان می دهد که شیب سطح به آن سمت است که به آن aspect می گویند.

در واقع شیب (Slope) برداری است که دارای اندازه و جهت می باشد. اندازه این بردار همان زاویه افقی (Slope) آن می باشد و جهت آن با آزیموت (Aspect) تعیین می شود. یک روش معمول برای محاسبه Slope استخراج اندازه و جهت این بردار از بردار نرمال بر صفحه می باشد. (بردار نرمال برداری است عمود بر سطح که جهت آن به سمت خارج از سطح می باشد)

در شکل هدف محاسبه شیب المان A است که از به هم وصل کردن مراکز Pixel های Grid بدست می آید. شیب این سطح از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\text{Slope} = ((\Delta H_x / \Delta x)^2 + (\Delta H_y / \Delta y)^2)^{1/2}$$



$\Delta H_x$  و  $\Delta H_y$  اختلاف ارتفاع نسبی به ترتیب در دو جهت شرقی - غربی و شمالی - جنوبی می باشند و  $\Delta x$  و  $\Delta y$  فاصله بین همسایه ها در همین دو راستا هستند.

اگر معادله سطح DTM با F نمایش داده شود، داریم:

$$\text{slope} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad \text{و} \quad \text{aspect} = \text{tg}^{-1}\left(\frac{\partial f / \partial x}{\partial f / \partial y}\right)$$

مطابق شکل برای محاسبه این مقادیر در هر پیکسل می توان از ۴ یا ۸ پیکسل اطراف استفاده نمود.

|        |        |        |
|--------|--------|--------|
| Z(1,1) | Z(1,2) | Z(1,3) |
| Z(2,1) | Z(2,2) | Z(2,3) |
| Z(3,1) | Z(3,2) | Z(3,3) |

با چهار پیکسل مجاور:



$$\partial f / \partial x = \text{slope (a)} + \text{slope (b)} / 2$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{2} \left[ \frac{z_{22} - z_{21}}{D} - \frac{z_{23} - z_{22}}{D} \right] = \frac{z_{23} - z_{21}}{2D}$$

که D فاصله بین دو نقطه شبکه است. و به همین ترتیب:

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{z_{32} - z_{12}}{2D}$$

با هشت پیکسل مجاور:

$$\partial f / \partial x = \sum_{i=1}^6 \text{slope (s}_i) / 6$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{z_{13} - z_{33} + z_{23} - z_{11} - z_{21} - z_{31}}{6D}$$

و به همین

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{z_{31} - z_{33} + z_{32} - z_{11} - z_{12} - z_{13}}{6D}$$

ترتیب:

در صورتیکه مدل به صورت سراسری (global) باشد، مشتق اول معادله سطح، slope خواهد بود. مشتق دوم نشان دهنده تغییرات slope است که در واقع تغییرات میزان پستی و بلندی های زمین را نشان می دهد، به این مقدار اصطلاحاً convexity گفته می شود.

aspect معمولاً در جهت عقربه های ساعت و نسبت به شمال مغناطیسی سنجیده می شود. البته برای نمایش مدل aspect در DTM، از رنگهای مختلف استفاده می شود که برای سهولت فهم، آنها را در بازه های مشخص با رنگهای خاصی معرفی می کنند، مثلاً هر ۴۵ درجه را با یک رنگ خاص نمایش می دهند.

برای محاسبه aspect به این صورت عمل می شود:

$$\begin{aligned} \text{for } (\Delta H_x / \Delta x) < 0 & \quad \text{Aspect} = 90 - 180 / \pi \arctan [(\Delta H_y / \Delta y) / (\Delta H_x / \Delta x)] \\ \text{for } (\Delta H_x / \Delta x) > 0 & \quad \text{Aspect} = 270 - 180 / \pi \arctan [(\Delta H_y / \Delta y) / (\Delta H_x / \Delta x)] \\ \Delta H_y / \Delta y < 0 & \quad \text{and } \Delta H_x / \Delta x = 0 & \quad \text{for Aspect} = 0 \\ \Delta H_y / \Delta y > 0 & \quad \text{and } \Delta H_x / \Delta x = 0 & \quad \text{for Aspect} = 180 \end{aligned}$$

## به مقاله ۲۱ مراجعه و نوع تفسیرهای زیر معلوم شود

۵-۱-۲- شبکه های آبی (Drainage Networks)

اطلاعات مربوط به شبکه های آبی، حوزه های آبریز و مرز گودالها و چاله های آبی در علوم مختلفی از جمله ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، فرسایش خاک و شهرسازی کاربردهای بسیار مهمی دارند. بخصوص در شهرسازی عدم توجه و استفاده از آنها منجر به صدمات جبران ناپذیر مالی و جانی خواهد شد. در تمامی الگوریتمهایی که برای مدل کردن شبکه های آبی بکار می روند یک قانون طلایی (Golden Rule) وجود دارد که به ظاهر ساده می آید:

**Water flows down hill !**

اما این قانون در برخی موارد نقض می شود که عبارتند از:

- تبخیر آب

- خاصیت موئینگی خاک که موجب می شود آب در بعضی نقاط به سطح زمین راه یابد

- متأسفانه هیچ الگوریتمی قابلیت مدل کردن شرایط فوق را ندارد و بهترین الگوریتم ها با ساده کردن صورت مسأله به مدل کردن شبکه های آبی در سطح زمین می پردازند و تا این تا حدودی قضیه را با تقریب مواجه می سازد. در این قسمت به بررسی شبکه های آبی پرداخته می شود.

## Flow Directions

دو الگوریتم برای محاسبه جهت جاری شدن آب در هر نقطه مورد استفاده قرار می گیرند:

- ۱- این الگوریتم تنها ۴ جهت برای جاری شدن در نظر می گیرد (بالا، پایین، چپ و راست) و چون این ۴ جهت مشابه حرکت های مهره رخ در شطرنج می باشد این الگوریتم را رخ (Rook) هم می نامند.
- ۲- این الگوریتم به طبیعت نزدیک تر است اما محاسبه طولانی تری دارد و ۸ جهت در نظر می گیرد و باز هم به دلیل تشابه آن با نحوه حرکت مهره وزیر در شطرنج به آن Queen هم می گویند.

به عنوان مثال Grid مقابل را در نظر بگیرید.

|    |   |    |    |
|----|---|----|----|
| ۱۱ | ۹ | ۱۲ | ۱۴ |
| ۹  | ۸ | ۶  | ۷  |
| ۶  | ۵ | ۴  | ۵  |
| ۶  | ۰ | ۲  | ۶  |

الگوریتم ۴ جهته به این صورت عمل می کند:

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |
| ۳ | ۳ | ۳ | ۴ |
| ۳ | ۳ | ۳ | ۴ |
| ۲ | ۰ | ۴ | ۴ |

بایستی توجه کرد که شماره ها در جهت عقربه های ساعت و از بالا انتخاب می شوند. و فرض می شود که آب در هر سلول به سلولی در همسایگی آن که کمترین مقدار را دارد سرازیر می شود و شماره آن سلول همسایه را به سلول مرکزی نسبت داده می شود.

الگوریتم ۸ جهته به این صورت عمل می کند:

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| ۴ | ۴ | ۵ | ۶ |
| ۴ | ۴ | ۵ | ۶ |
| ۴ | ۵ | ۶ | ۶ |
| ۳ | ۰ | ۷ | ۷ |

## تعیین Watershed

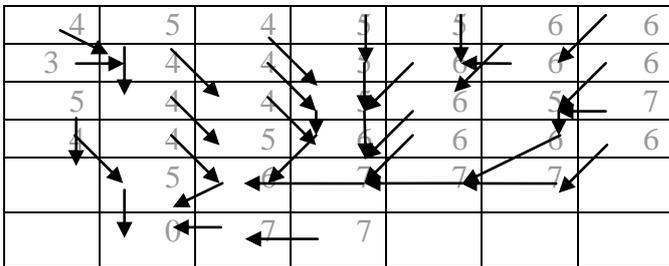
Water shed در واقع به عنوان یک داده توصیفی به هر نقطه از شبکه نسبت داده می شود و بیان کننده ناحیه ای است که آب عبوری از آن نقطه از آنجا نشأت گرفته است. الگوریتم از یک نقطه مشخص آغاز می شود و تمام سلولهایی که آب آنها به آن نقطه سرریز می شود را مشخص می کند سپس تمام سلولهایی که آب آنها به سلولهای مرحله قبل سرریز می شود و ... مشخص می شوند. پس در واقع Water shed همیشه به صورت یک پلی گون می باشد.

## Drainage Networks تعیین

مشابه Flow Directions است اما حالت تجمعی را مد نظر می گیرد. در این الگوریتم مقدار صفر در مرز آرایه (ماتریس) به عنوان کانالی که به ماتریس مجاور سرازیر شده تفسیر می شود. معمولاً یک میزان Threshold برای سرازیر شدن در نظر می گیرند که در صورتی که آب تجمعی در هر نقطه از آن میزان بیشتر شده آن را نمایش می دهند. در شکل نمونه ای از این الگوریتم دیده می شود. همچنین در صفحات بعدی نمونه پیاده سازی شده این الگوریتم بر روی زمین و مریخ ملاحظه می شود.

## Derive Drainage Network Using Flow Accumulation

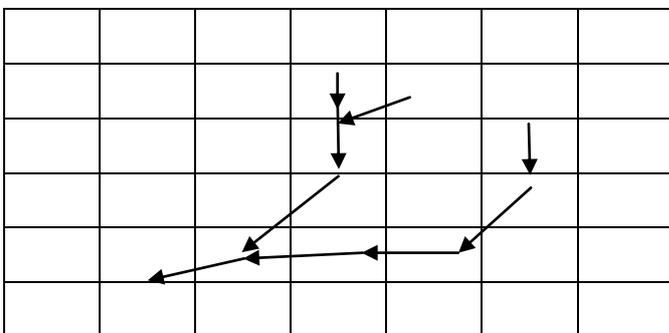
### Flow accumulation



### Flow direction

|   |    |    |    |   |   |   |
|---|----|----|----|---|---|---|
| 1 | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 4  | 1  | 3  | 5 | 2 | 1 |
| 1 | 1  | 5  | 9  | 1 | 3 | 1 |
| 2 | 1  | 2  | 16 | 1 | 4 | 1 |
|   | 3  | 20 | 9  | 7 | 2 |   |
|   | 26 | 2  | 1  |   |   |   |

Threshold = 3



شکلهای بعد؟ در فایل موجود نیست؟

## توضیح بیشتر

### ۲-۵ Quality assessment

برای یک پروژه مدل رقومی زمین، هدف نهایی تولید یک DTM با دقت مورد نیاز یا مشخص در یک روش اقتصادی و کارآمد می باشد. به عبارت دیگر دقت، قیمت و بازده موضوعاتی هستند که بیشترین اهمیت را برای تولید کننده DTM و کارفرما دارند. از میان این خصوصیات، دقت احتمالاً مهمترین موضوع می باشد، زیرا که آن معمولاً در مرکز ثقل یک پروژه DTM خاص واقع می شود.

همانطور که چیزی به عنوان نقشه کاملاً دقیق وجود ندارد، مدل رقومی زمین دقیق نیز وجود ندارد. تمامی مدل‌های رقومی زمین کم و بیش در بعضی موارد خطاهایی را شامل می شوند، این نقصان دقت به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد. با توجه به عملیاتهای نقشه برداری، دقت مدل زمینی بایستی با کاربرد انتخاب شده یا مورد نظر متناسب باشد. هیچ مهندس عمرانی، بطور مثال، از منحنی میزانهایی که از نقشه برداری با مقیاس استاندارد ۱:۵۰۰۰ توسعه یافته است به عنوان مبنای برنامه ریزی و کنترل یک پروژه ساختمانی استفاده نخواهد کرد. دقت مدل‌های رقومی زمین و فاکتورهای که بر دقت آنها تأثیر می گذارند در مباحث استخراج و کاربرد این مدلها موضوعات قابل تأملی می باشند.

دقت یک DTM ممکن است توسط مقایسه مقادیر ارتفاعی که از یک سطح DTM به دست آمده با مقادیر ارتفاعی همان نقاط که توسط اندازه گیری سطح زمین به یک روش مشخص با دقت بالاتر به دست می آید ارزیابی و تعیین می شود. مثلاً، DTM ای که از رقومی کردن منحنی میزانها به دست آمده است می تواند با اندازه گیریایی که توسط نقشه برداری زمینی یا فتوگرامتری انجام شده است کنترل شود. داده هایی که از چنین مقایسه ای به دست می آید شامل اختلاف ارتفاعات (یا باقیمانده ها) در نقاط ثبت شده است. این مقادیر ممکن است از نظر علامت مثبت یا منفی باشند. مثبت یا منفی بودن این مقادیر بستگی به ارتفاعات نسبی دو سطح مورد مقایسه در نقاط متوالی دارد. این داده ها ممکن است پس از این برای انجام محاسبات آماری برای تعیین دقت مورد استفاده قرار گیرند.

مواردی که در ارزیابی کیفیت DTM اهمیت دارند، شامل دو مبحث است: یکی تشخیص نوع خطا که ممکن است شامل خطاهای فاحش (blunders) و یا خطاهای سیستماتیک باشد و دیگری برآورد میزان خطا که مربوط به خطاهای اتفاقی موجود در DTM است.

### ۱-۲-۵ Error detection

خطاها ممکن است از دو نوع باشند، هندسی (geometry) یعنی نقطه دارای خطای هندسی یا موقعیتی باشد و یا attribute یعنی به نقطه، خاصیتی اشتباه نسبت داده شده باشد (مثلاً نقطه اشتباهها در خط القعر در نظر گرفته شده باشد). تشخیص نوع خطا به دو صورت اتوماتیک و یا interactive صورت می گیرد. در روش اتوماتیک DTM حاصل با یک DTM موجود از منطقه و یا با نقاط کنترل موجود به صورت اتوماتیک مورد مقایسه قرار می گیرد. روش interactive در طول عملیات تهیه داده و DTM و یا بعد از تولید DTM با دخالت کاربر و کمک نرم افزار انجام می شود.

در مواردی که از نقشه برای تولید DTM استفاده می شود، مقیاس داده های ورودی تعیین کننده دقت DTM حاصل شده نیست. بلکه قدرت تفکیک (resolution) یا فاصله نقاط نمونه برداری شده است که دقت DTM را مشخص می کند. چه بسا دقت مدلی با ۸۰ نقطه نمونه برداری شده از نقشه ای با دقت ۰/۵ متر بهتر از مدلی با دقت ۰/۵ سانتیمتر ولی با ۴۰ نقطه نمونه باشد.

در مورد برآورد میزان خطا یا دقت هندسی به دو نکته باید توجه شود. یکی دقت مورد انتظار  $\delta_{final}$  و دیگری دقت موجود RMSE. دقت مورد انتظار با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\delta_{final} = \sqrt{\delta_0^2 + \delta_{int}^2}$$

در این فرمول  $\delta_0$  دقت داده های اولیه و دقت برداشت نقاط نمونه است که بستگی به نوع منبع داده و روش نمونه برداری و دقت تجهیزات دارد.  $\delta_{int}$  دقت تهیه DTM است که بستگی به روش درو تیبایی، تراکم نقاط (density)، توزیع نقاط (distribution) و نوع و اهمیت نقاط دارد.

برآورد دقت موجود با استفاده از تعداد قابل توجهی نقطه چک (check) امکان پذیر است. هر نقطه چک دارای دو سری مختصات است یکی حاصل از DTM و دیگری مختصات واقعی نقطه. به کمک اختلاف این دو سری مختصات که با استفاده از فرمول زیر به دست می آید، خطای کل یا RMSE نقاط چک قابل محاسبه است:

$$(\Delta x, \Delta y, \Delta z) = (x, y, z) - (\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$$

## توضیح بیشتر

### ۵-۲-۱-۱ دقت اطلاعات ارتفاعی

باتوجه به روشهای نقشه برداری مرسوم، دو روش اصلی برای ثبت و نمایش اطلاعات ارتفاعی وجود دارد، که هر دوی آنها ممکن است به عنوان داده های ورودی DTM ها مورد استفاده قرار گیرند:

- نقاط ارتفاعی (spot heights) که به صورت منظم یا غیر منظم توزیع شده اند.

- منحنی میزانها (contours) که با فاصله ارتفاعی متناسب با هدف نقشه، مقیاس و شیب سطح زمین تولید شده اند.

در هر دو مورد، دقت باید هم از نظر موقعیت مسطحاتی و هم از نظر مقادیر ارتفاعی مورد بررسی قرار گیرد. به بیان ساده تر، مثلاً یک نقطه ارتفاعی ممکن است از نظر مسطحاتی در موقعیت نادرستی قرار گرفته باشد ولی ارتفاع آن صحیح باشد. از نظر موقعیت مسطحاتی صحیح بوده ولی ارتفاعش نادرست باشد، یا به طور کلی هم از نظر مسطحاتی و هم از نظر ارتفاعی نادرست باشد.

بنابراین دقت نقاط ارتفاعی به طور نرمال با مقادیر RMSE مسطحاتی و ارتفاعی، ارزیابی شده و مشخص می شود. منحنی میزانها، عوارض خطی هستند و دقت آنها به سادگی داده های نقطه ای قابل شرح نیست. خطاها و در نتیجه RMSE فقط در موقعیتهای نقاط قابل تشخیص می توانند تعیین شوند، که روی خطوط منحنی میزان اغلب ایجاد چنین موقعیتهایی به صورت صریح ممکن نمی باشد. اگرچه، تلاشهایی برای تعیین دقت منحنی میزانها توسط عبارات عددی دقیق صورت گرفته است معمولترین روش تعیین دقت منحنی میزانها، تعریف یک مقدار تفرانس (RMSE) برای خطاهای مجاز در منحنی میزانها است و سپس چک کردن این مورد که آیا نقاط روی نقشه یا نقاطی که از اندازه گیریهای زمینی یا فتوگرامتری به دست آمده اند در حد چنین تفرانسی هستند یا خیر؟ دقت مشخص شده با توجه به فاکتورهای مورد نظر از جمله مقیاس، شیب زمین و فاصله ارتفاعی تعیین می شود و اساس آن مقادیر RMSE تعیین شده برای نقاط است. استاندارد پذیرفته شده برای منحنی میزانها به طور نرمال در حدود ۳ برابر استاندارد است که برای نقاط اندازه گیری شده می تواند به دست آید. به صورت کلی، از لحاظ احتمال مربوط به فاصله ارتفاعی، برای مثال، 90% نقاط آزمایش شده باید در حدود نصف فاصله ارتفاعی منحنی میزانها از مقدار واقعی اشان باشند.

در مورد منحنی میزانها نکته دیگری نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد، تصحیح مورفولوژیکی آنها، یا صحت نمایش کوچکترین (ولی اغلب بحرانی) بی نظمیهای سطح زمین است. این موضوع بیشتر به جزئیات منحنی میزانها مربوط است تا شکل کلی آنها.

دقتهایی که برای نمایش ارتفاع روی نقشه ها تعیین شده اند، اکثراً، بر مبنای کار Coppe که در اولین سالهای این قرن انجام شده است، پایه گذاری می شوند. او ثابت کرد که خطاهای ارتفاعی در ارتباط مستقیم با شیب زمین افزایش می یابند و روابط زیر را بیان کرد که در آنها  $a$  زاویه شیب است.

$$\text{RMSE} = \pm (A + B * \tan a) \quad \text{ارتفاعی}$$

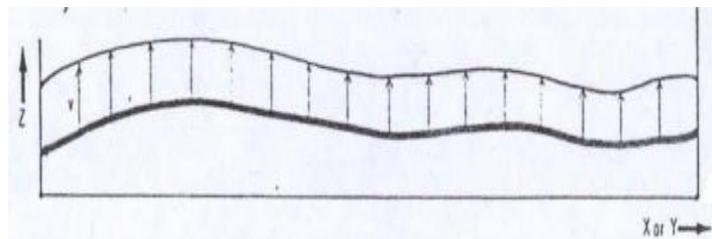
$$\text{RMSE} = \pm (A + B * \cot a) \quad \text{مسطحاتی}$$

$A$  و  $B$  ثوابتی هستند که در ارتباط با مقیاس (و شرط دقت) نقشه برداری تعریف می شوند. تقریباً ۸۵ سال از زمانی که  $Koppe$  این قانون را بیان کرد می گذرد و اعتبار آن چندین بار طی این سالها مورد سوال قرار گرفته است. با وجود این، همین فرمول ها اساس تعیین دقت ارتفاع را در اکثر نقشه برداریهای توپوگرافی مدرن تشکیل می دهند.

#### ۲-۱-۲-۵ تعیین دقت

از آنجایی که سیستمهای مدلسازی رقومی زمین یا به تولید یک شبکه منظم از نقاط ارتفاعی اتکا می کنند یا می توانند چنین شبکه ای را ایجاد نمایند، چک کردن دقت این نقاط توسط مقایسه با یک شبکه کنترل از مقادیر ارتفاعی که توسط اندازه گیریهای زمینی یافتوگرامتری به دست آمده اند، مقتضی و نسبتاً ساده است. چنین مقایسه ای مقادیر خطای استاندارد را برای نودهای شبکه ارائه کرده و پایه ای برای ارزیابی خطاهایی که در نقاط با ارتفاع درونیابی شده و یا در منحنی میزانها مستعد رخ دادن هستند، تامین می کند. دقتهای بسته های نرم افزاری مدلسازی رقومی زمین به چنین روشی می تواند مورد مقایسه قرار گرفته و تجزیه و تحلیل شود.

**تصویر** موقعیتهایی را نشان می دهد که یک سطح به صورت یکنواخت بالاتر از دیگری است. مقدار خطا ( $v$ ) در هر نود ثابت است و ممکن است مثبت یا منفی باشد.

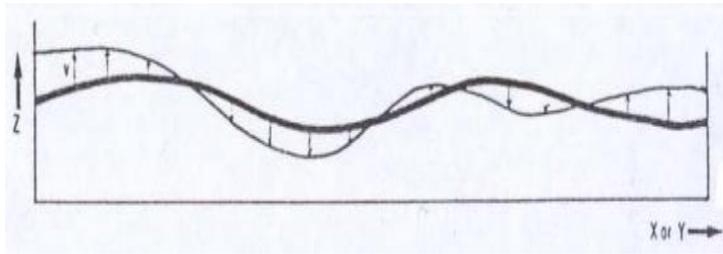


**تصویر:** شیفت سیستماتیک کلی یک سطح نسبت به سطح دیگر

این موقعیت شیفت سیستماتیک کلی یک سطح را نسبت به سطح دیگر منعکس می کند و در چنین موردی مقدار متوسط خطا با توجه به فرمول زیر به دست می آید:

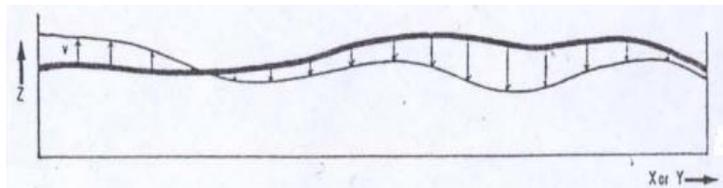
$$\bar{X} = ME = v$$

**تصویر** مقادیر کاملاً متفاوت  $v$  را هم از لحاظ اندازه و هم از لحاظ علامت نمایش می دهد.



تصویر: نمایش مقادیر کاملاً متفاوت  $v$

باتوجه به تعداد زیاد نقاط نمونه، مقدار متوسط خطا در چنین موردی مساوی و یا بسیار نزدیک به صفر خواهد بود و بزرگی و توزیع مقادیر اختلاف ارتفاعی می تواند به خوبی توسط تعریف خطای جذر میانگین مربعی شرح داده شود. در مورد **تصویر** بزرگی خطا تقریباً به صورت قابل ملاحظه تغییر می کند ولی اکثر اختلافات در یک جهت هستند.



تصویر: نمایش ترکیبی از اثرات سیستماتیک و اتفاقی

این حالت ترکیبی از اثرات سیستماتیک و اتفاقی را منعکس می کند. در چنین موردی مقدار میانگین خطا، خطای سیستماتیک را نشان می دهد و انحراف معیار خطاها بزرگی و توزیع مقادیر باقیمانده را آشکار می سازد. اصولاً ارزشمند نیست که مقدار میانگین خطا برای کاهش خطای سیستماتیک از سطح DTM توسط جمع یا کم کردن مقدار  $X$  از ارتفاع هر نود شبکه مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲-۲-۵ DTM quality control

### توضیح مقدماتی

#### ۱-۲-۲-۵ بررسی پارامترهای مؤثر بر دقت DTM

دقت هر DTM تابعی از فاکتورهای مختلف است که این فاکتورها می توانند به صورت زیر خلاصه شوند:

- روشهای جمع آوری داده ها
- طبیعت (تراکم و توزیع) داده های ورودی
- روشهایی که برای تولید DTM به کار گرفته می شوند (سیستم های مورد استفاده)

#### ۱-۱-۲-۲-۵ روش جمع آوری داده ها

با توجه به تحقیقات انجام گرفته، از میان روش های جمع آوری داده نقشه برداری زمینی، اندازه گیری فتوگرامتری و رقومی کردن داده های کارتوگرافی، داده های نقشه برداری زمینی نتایج دقیق تری را ارائه می کنند ولی دیجیتالیز کردن داده های کارتوگرافی دارای کمترین دقت است.

در روش نقشه برداری زمینی دقت‌های در حدود  $\pm 3\text{mc}$  یا کمتر از این به سهولت در نقاط اندازه گیری شده به دست می آید. ولی این روش جمع آوری داده ها با در نظر گرفتن دقت بالای آن بسیار زمان بر بوده و هزینه های زیادی دارد که این موارد باعث می شود این روش برای مناطق وسیع غیر عملی باشد. ولیکن در پروسه های انجام شده به خوبی مشخص است که داده های جمع آوری شده به این روش RMSE کمتر و در نتیجه دقت بالاتری دارند.

در روش فتوگرامتری فاکتورهایی که بر دقت داده های اندازه گیری شده به این روش تاثیر می گذارند عبارت اند از:

– مقیاس عکس و ارتفاع پرواز

– نسبت باز به ارتفاع

– دقت دستگاهی

– روشی که برای اندازه گیری بکار گرفته می شود، که شامل دو روش استاتیک (نقاط گسسته تصادفی یا انتخابی) و دینامیک (داده های اسکن شده یا منحنی میزانه) می باشد

با این توضیح، برای یک مجموعه از پارامترهای ارائه شده از قبیل مقیاس، نسبت باز به ارتفاع و دقت دستگاهی پیش بینی دقت احتمالی تکنیکهای مختلف اندازه گیری ممکن می باشد. اگر یک سطح دقت خاص مورد نیاز بوده و نوع دوربین و وسیله plotting به انواع موجود محدود باشد در نهایت برای دستیابی به دقت مورد نظر بایستی مقیاس عکس و روش اندازه گیری را به درستی انتخاب نمود. روشهای دینامیک اندازه گیری بطور مشخص دقت کمتری از روشهای استاتیک اندازه گیری نقاط دارند (معمولاً دقت روشهای دینامیک یک سوم روشهای استاتیک است).

تحقیقات مختلف انجام شده نشان می دهند که اندازه گیریهای فتوگرامتری می توانند داده هایی با دقت قابل قبول ارائه دهند و از نظر پارامترهای زمان و هزینه تولید، روش فتوگرامتری واقعاً تنها روش عملی تهیه داده های دقیق برای تولید DTM در مناطق نسبتاً وسیع است.

روش رقومی سازی داده های کارتوگرافی کم دقت ترین روشهای تولید داده های ورودی است. واضح است که، دقت داده های نقشه منبع یک فاکتور حساس بوده و باید توجه شود که عملیات رقومی کردن نیز منجر به کاهش دقت مسطحاتی خواهد شد.

البته این خطای اضافی با توجه به دقت دستگاهی دیجیتالیزر و چگونگی عملیات رقومی کردن متفاوت است. ولی برای مثال، با رقومی سازی دستی منحنی میزانه روی یک میز دیجیتالیزر عادی، خطاهای مسطحاتی تا حدود  $\pm 0.5\text{mm}$  در مقیاس نقشه خواهند بود. دنبال کردن خطوط به روش اتوماتیک و دیجیتالیز کردن تصاویر رستری اسکن شده، خطاهای انسانی وابسته به موقعیت را کاهش می دهد و نتایجی با دقت بالاتر را ارائه خواهد کرد. با این وجود از آنجائیکه رقومی کردن داده های کارتوگرافی در وسعت زیادی مورد استفاده قرار می گیرد، دقت این نوع داده های ورودی بایستی با احتیاط مورد توجه قرار گیرد. این موضوع به این معنی نیست که چنین روشهایی نباید مورد استفاده قرار گیرند ولیکن کاربرد DTM هایی که از چنین منابعی به دست می آید بایستی انتخاب شده باشد در مواردیکه از منحنی میزانه برای تولید DTM استفاده می شود احتمال کاهش دقت بیشتر می باشد.

## ۵-۲-۱-۲ تراکم و توزیع داده های ورودی

تراکم و توزیع داده های ورودی هم به روش جمع آوری و دستیابی به داده ها و هم به شکل و دقت DTM وابسته است.



داده هایی که به صورت منظم توزیع شده اند، برای مثال یک grid، به صورت خطوط موازی تمام منطقه را به خوبی پوشش می دهند ولیکن چنین نمونه برداری منظمی از سطح زمین ممکن است منجر به حذف جزئیات کوچک از جمله آبریزها، آبراهه ها، شکستگی ها و تغییر شیبها شود. یک راه حل برای این مشکل کاهش فاصله نقاط روی grid است. ولی این راه حل حجم داده ها زمان پردازش ها را افزایش خواهد داد. پیشنهاد نمونه برداری به روش progressive و یا تکمیل داده هایی که بصورت منظم برداشت شده اند با انتخاب نقاط ارتفاعی در موقعیت های کلیدی و شکستگی ها راه حل مناسبی به نظر می رسد.

داده های منحنی میزان نتایج مقبول تری از لحاظ توزیع ارائه می دهند ولی باید به خاطر داشت که دقت داده های منحنی میزانها (چه از روش فتوگرامتری به دست آمده باشند و چه از روش رقومی کردن داده های کارتوگرافی) به طور اجتناب ناپذیری پائین تر از دقت نقاط ارتفاعی گسسته می باشد. توزیع نقاطی که از منحنی میزانها به دست آمده اند متناسب با شیب زمین خواهد بود و بطور طبیعی در مناطق شیب دارتر نقاط بیشتری نتیجه می شود. مشکل ذکر شده در مناطق مسطح با درونیایی منحنی میزانها از داده های DTM تولید شده به روش grid تقریباً حل شده است ولی در هر حال تکمیل داده های منحنی میزانها با نقاط ارتفاعی برداشت شده در شکستگی ها مناسب است.

### بحث بر روی روش های تهیه داده های خام DTM

#### ۳-۵ مدل سازی با استفاده از DTM

کاربردهای مهندسی، طراحی و برنامه ریزی به عملیات تفسیری خاصی نیاز دارد. دسته ای از این روشهای تفسیر برای تحلیل بصری ارتفاعات زمین مثل تعیین میدان دید برای هر نقطه و تعیین مناطقی که از هر نقطه قابل رویت هستند و محاسبه سایه ارتفاعات و تعیین مناطقی که در سایه قرار می گیرند استفاده می شوند. گروه دیگری از روشهای تفسیر جهت برنامه ریزی، محاسبه پروفیل، محاسبه حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی در طراحی راهها و مخازن مورد استفاده قرار می گیرند.

## نمونه ها از مقاله Applications بیاید

## ۶ نمایش DTM

### ۶-۱ مقدمه

نمایش دارای نقشی حیاتی در فهم و درک DTM است که به مرحله تفسیر DTM بسیار وابسته است. نتایج مراحل تفسیر DTM نیاز به نمایش دادن دارند و از سوی دیگر عملیات تفسیر به بهبود نمایش کمک می کند. نمایش DTM می تواند مستقیماً از طریق تفسیر بصری به تصمیم گیری ها کمک کند بدون آنکه هیچ تحلیل کمی ارائه کند. نمایش DTM از دو جنبه مطرح می شود، یکی نمایش خود DTM و دیگری نمایش محصولات آن. نمایش DTM در دو فضا قابل انجام است، یکی فضای دو بعدی که به دو صورت static (شامل منحنی میزانه‌ها، hill shading، hypsometric tints و ترکیب با داده های دو بعدی و اورتو فتو) و دینامیک (به صورت نمایش perspective) است و دیگری فضای سه بعدی که به دو صورت محیطهای بصری سه بعدی (شامل کلاهها و دستگاههای هوشمند و محیط گرافیک کامپیوتری) و مدل های سه بعدی فیزیکی است.

در فضای دو بعدی استاتیک، برای ارتباط مستقیم با نتایج، سطح از یک وجه دیده می شود ولی در حالت دینامیک زاویه دید در حال تغییر است و برای جستجو در محیط DTM، مدل از جهات مختلف دیده می شود. نمایش محصولات DTM شامل نمایش نقشه های شیب، جهت شیب، پروفیل انحنای شیب و پروفیل انحنای در جهت عمود بر شیب می باشد.

### ۶-۲ روش های دوبعدی

#### ۶-۲-۱ منحنی میزان

منحنی می زان یا isoline، خطی است که نقاط با ارتفاع یکسان را به هم وصل می کند. منحنی میزانهای یکی از بارزترین و مهم ترین روشهای نمایش DTM در نمایشهای بزرگ مقیاس هستند. آنها به سبب سادگی یکی از پر کاربردترین روشهای نمایش DTM محسوب می شوند. ساختار منحنی میزانهای به طور مستقیم به روشهای درونیابی DTM وابسته است. در حالت نمایش به وسیله منحنی میزانهای سه روش مختلف وجود دارد:

- ساده: فواصل منحنی میزان ها مساوی است و زاویه دید عمود بر سطح است. بنابراین دید سه بعدی در تصویر وجود ندارد و منحنی با ارتفاع بالاتر را بدون خواندن عدد روی منحنی نمی توان تشخیص داد.



شکل: منحنی میزان ساده

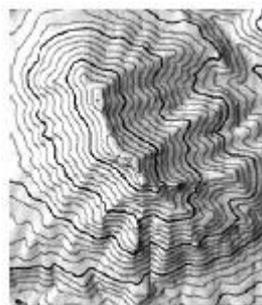
- مایل (Inclined): فاصله منحنی میزانها نسبت به زاویه دید طوری تغییر می کند که سطوح منحنی میزانها را می توان تشخیص داد. در واقع وقتی مدل از زائیه خاصی دیده می شود، نقاط نزدیک نزدیکتر دیده می شوند و احساس دید سه بعدی ایجاد می شود.



شکل : منحنی میزان مایل

- سایه دار (Shaded): سطوح بین منحنی میزانها بر اساس نوعی طبقه بندی ارتفاعی مرتب شده و با رنگهای مشخصی نمایش داده می شوند. این طبقه بندی می تواند انتخابی و یا کاملاً اتوماتیک باشد. رنگ دهی ممکن است به صورت سایه سیاه و سفید باشد که در آن مقدار درجه خاکستری برای هر پیکسل بر اساس رابطه زیر به دست می آید:

$$g(i, j) = \frac{z_{ij} - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}} \times 255$$

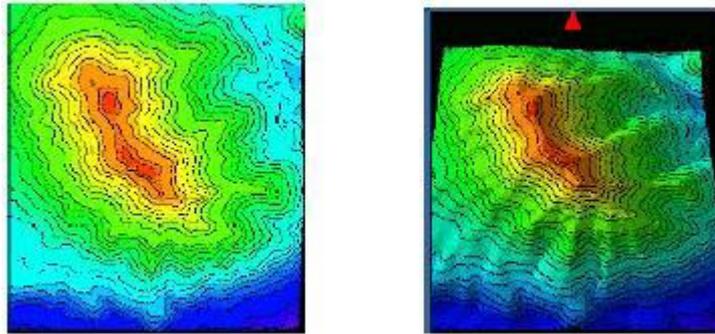


شکل : منحنی میزان سایه دار سیاه و سفید

یکی دیگر از روشهای رنگ دهی، استفاده از سایه های رنگی است. درجه سایه های رنگی در این روش بر اساس تبدیل درجه خاکستری به درجات رنگی RGB با استفاده از روش های مختلف مثل الگوریتم psodu coloring ایجاد می شود. این شیوه رنگ دهی تصویر به دو صورت پیوسته (continous) و گسسته (stepped) انجام می شود که از روابط زیر محاسبه می شود:

$$g(i, j) = \frac{z_{ij} - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}} \times 255$$

If  $10 < g(x,y) < 30$  then  $g(i,j)=15$   
 ,... If  $30 < g(x,y) < 60$  then  $g(i,j)=45$



شکل : منحنی میزان سایه دار رنگی

### ۲-۲-۶ Hill shading

یکی از روش های نمایش داده های DTM به صورت تحلیلی روش hillshading است که در خروجی، فایلی به صورت تصویر رستری ایجاد خواهد کرد. هر پیکسل در تصویر ناهمواریها درجه خاکسری دارد که مطابق با مقدار ارتفاع محاسبه می شود. این درجه خاکستری از دو روش محاسباتی به دست می آید.

#### ۱- روش برداری

از آنجا که این روش کنترل بهتر و دقیق تری بر روی جهت و امتداد پرتو نور دارد، در بیشتر کاربردها از این روش استفاده می شود و کاربران بسیاری به دلیل سادگی این روش از آن استفاده می کنند. در روش برداری، قوانین بازتابش نور از سطح زمین برای ایجاد مدل به کار برده می شود.

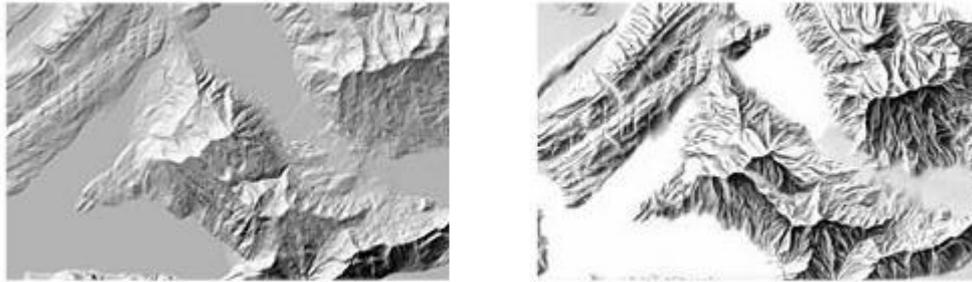
#### deffuse reflection -

در این نحوه نمایش میزان روشنایی که با توجه به یک منبع نور به هر پیکسل می رسد برای نمایش آن پیکسل استفاده می شود. یعنی با در نظر گرفتن منبع نوری مثل خورشید در یک زاویه خاص میزان سایه روشن های ایجاد شده، شبیه سازی شده و نمایش داده می شود. میزان تیره یا روشن بودن هر نقطه از سطح بستگی به زاویه ای دارد که بردار عمود بر سطح در آن نقطه با منبع نور دارد. برای تعیین مقدار هر پیکسل ابتدا بردار نرمال ( $\vec{n}$ ) برای هر پیکسل به دست می آید. این بردار می تواند نوعی میانگین از نرمال های دو مثلث تشکیل دهنده هر پیکسل سطح باشد. هم چنین زاویه خورشید و در واقع بردار جهت خورشید ( $\vec{L}$ ) تعیین می شود. زاویه بین دو بردار  $\vec{n}$  و  $\vec{L}$  که به نام  $\theta$  خوانده می شود، برای تعیین میزان درجه خاکستری مورد استفاده قرار می گیرد.

$$g(i, j) = f(\cos \theta) = \frac{\vec{n} \cdot \vec{L}}{|\vec{n}| |\vec{L}|} \times 255$$

در صورتیکه مقدار  $\theta$  بیشتر از ۹۰ درجه به دست آید، مقدار پیکسل مقداری منفی خواهد بود که صفر در نظر گرفته می شود. چون در این صورت پیکسل در سایه کامل قرار گرفته است. نکته قابل توجه آن است که در این روش سایه عوارض بلند تر بر روی عوارض دیگر نخواهد افتاد.

محاسبات در این روش بسیار ساده و سریع است و به همین علت در مسایل گرافیک کامپیوتری بسیار کاربرد دارد. مقایسه نقشه های سایه زده دستی با نتایج حاصل از این روش در مناطق کوهستانی نشان می دهد که این روش برای نمایش جزئیات ناهمواریها خوب عمل نمی کند.



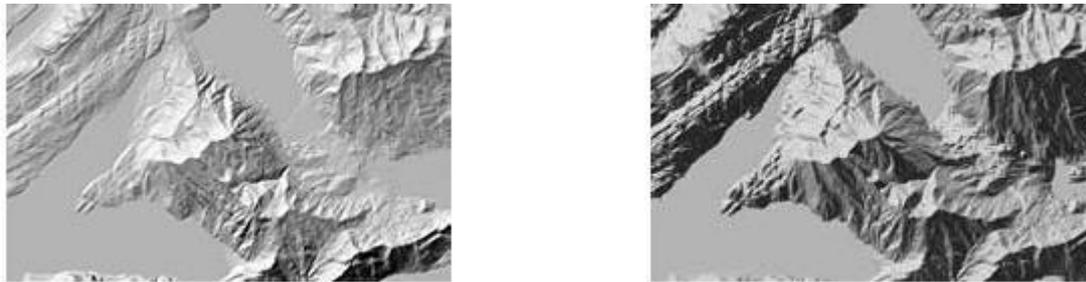
شکل: راست: سایه های دستی، چپ: diffuse reflection

### Aspect based shading -

اسا این روش بر پایه جهت شیب (aspect) است. در این روش سایه، مطابق با رابطه زیر محاسبه می شود:

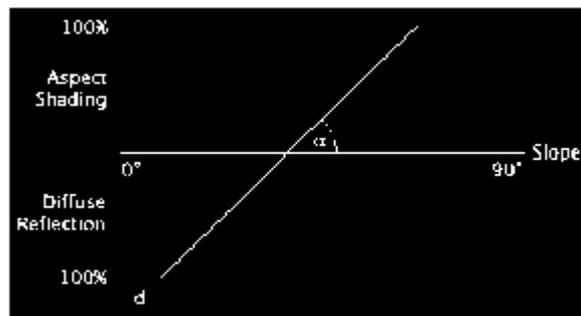
$$grayvalue = \frac{\cos(\alpha) + 1}{2}$$

در این رابطه  $\alpha$ ، برابر زاویه بین جهت شیب و آزیموت امتداد نور است. شکلهای زیر مقایسه از روشهای مذکور را نشان می دهد.



شکل: راست: Aspect based shading، چپ: diffuse reflection

روش Aspect based shading بیشتر برای نمایش مناطق کوهستانی مناسب است در حالیکه روش diffuse reflection بیشتر برای نمایش مناطق مسطح و پست مناسب می باشد. تابع شیب زمین، قابلیت ترکیب دو روش فوق را برای ایجاد سایه فراهم می کند. به این ترتیب که ابتدا یک فیلتر متوسط ماتریس تغییرات شیب به دست آمده از DTM را تا حدودی نرم کرده و سپس بر اساس دیاگرام به شکل زیر میزان تاثیر هر روش به شکل در صد و بر حسب شیب منطقه از صفر تا صد محاسبه می شود.



شکل: دیاگرام ترکیب

مقادیر  $\alpha$  و  $d$  را می توان بر حسب کاربرد در ترکیب دو روش فوق به صورت بهینه ترکیب کرد.



شکل: ترکیب دو روش

## ۲- روش اختلافی

این روش بر اساس عملگرهای رستری و بر روی فرمت DTM Grid عمل می کند به طور خاص این روش از ترکیب یک سری از تصاویر با درجات خاکستری به دست آمده از DTM و با استفاده از عملگرهای ریاضی و منطقی به دست می آید. این روش محاسبات پیچیده ای دارد و معمولاً کمتر به کار می رود.

عموماً چهار فاکتور بر روی تاثیرات دیدگانی یک hillshading موثر است:

- آزیموت خورشید: جهت پرتو ورودی که از صفر تا ۳۶۰ درجه در جهت ساعتگرد تغییر می کند.
- ارتفاع خورشید: زاویه بین پرتو ورودی و سطح افقی است که بین صفر تا ۹۰ درجه تغییر می کند.
- شیب سطح: که بین صفر تا ۹۰ درجه تغییر می کند.
- جهت شیب: که بین صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند.

بر اساس رابطه زیر رادیانس نسبی برای هر پیکسل در یک شبکه ارتفاعی و یا برای هر یک از مثلث ها در یک مثلث بندی محاسبه می شود.

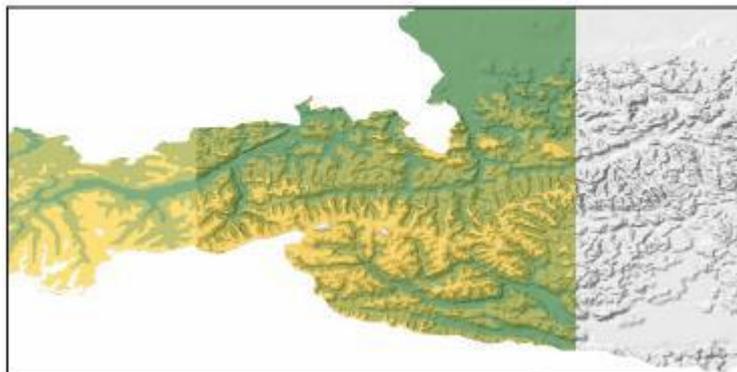
$$R_f = \cos(A_f - A_s) \sin H_f \cos H_s + \cos H_f \sin H_s$$

که در این رابطه،  $R_f$  مقدار رادیانس نسبی برای هر پیکسل است که مقداری بین صفر تا یک خواهد بود،  $A_f$  جهت شیب،  $A_s$  آزیموت خورشید،  $H_f$  شیب و  $H_s$ : ارتفاع خورشید را نشان می دهد. مطابق رابطه  $I_f = R_f \times 255$ ، اگر مقدار  $I_f$  برابر ۲۵۵ شود، رنگ سفید و اگر برابر با صفر شود، رنگ سیاه را نتیجه می دهد.

## ۳-۲-۶ Hypsometric Tints

در این روش، با استفاده از رنگ های مختلف سبز، زرد، قرمز و سفید، ارتفاعات از پایین ترین سطح تا بالاترین سطح نمایش داده می شوند. این روش به دو شکل گسسته (طبقه طبقه) و پیوسته (تدریجی) رنگ را بر روی پیکسل ها اعمال می کند. این روش معمولاً در اطلس ها و نقشه های آموزشی بسیار استفاده می شود. اخیراً از آیین روش برای نمایش سطوح با توپوگرافی پیچیده نیز استفاده می شود. استفاده از این رنگها نباید دید اشتباهی را در ذهن در مقایسه با رنگهای طبیعی ایجاد کند. به طور مثال رنگ سبز نشانه پوشش گیاهی و رنگ زرد نشانه بیابان نیست، بلکه هر رنگ طبقه ای از ارتفاعات را نشان می دهد. در این نقشه ها رنگ های روشن تر مثل زرد و قرمز برای نمایش نقاط مرتفع تر و رنگهای تیره تر مثل آبی و سبز برای نمایش ارتفاعات پایین تر استفاده می شود. در شکل زیر نقشه هیپسومتریک با استفاده از جدول معرفی ارتفاعات به صورت گسسته نشان داده شده است.

| Elevation     | red | green | blue |
|---------------|-----|-------|------|
| 0 – 1000 m    | 23  | 104   | 23   |
| 1000 – 2000 m | 134 | 143   | 0    |
| 2000 – 3000 m | 255 | 197   | 0    |
| 3000 – 5000 m | 255 | 250   | 245  |



شکل: نقشه هیپسومتریک به روش گسسته

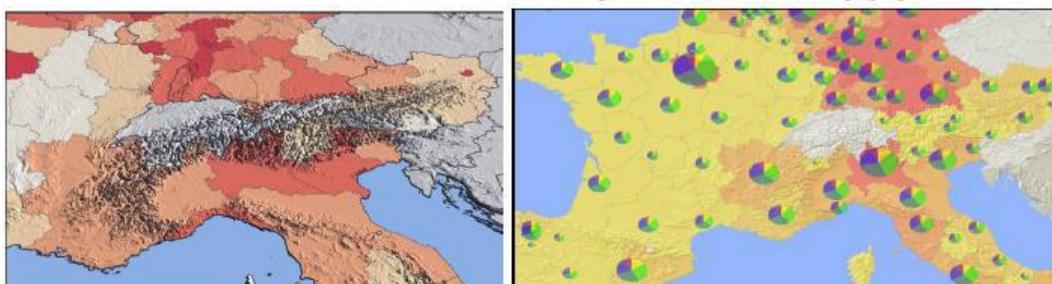
در تصویر زیر دومین نوع از نقشه های هیپسومتریک به صورت پیوسته نمایش داده شده است.



شکل: نقشه هیپسومتریک به روش پیوسته

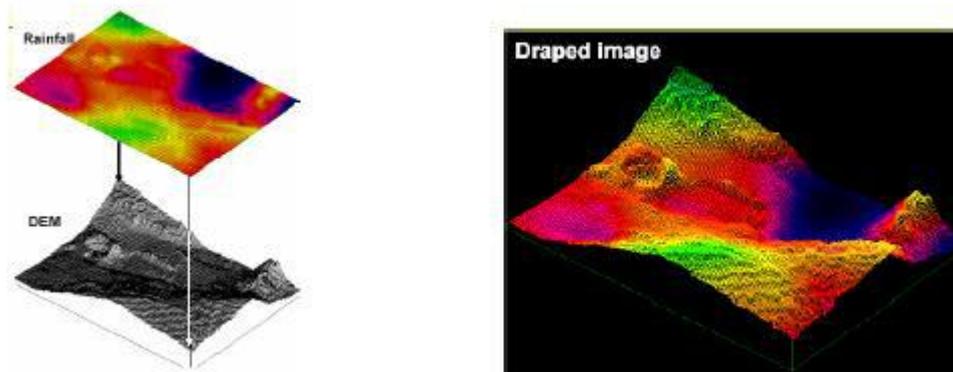
۴-۲-۶ ترکیب با داده های دو بعدی

اساسا هر نوع از داده های دو بعدی مسطحاتی را می توان با نقشه DTM ترکیب کرد. شکل زیر دو نمونه از نقشه های DTM سایه دار در ترکیب با نقشه داده های آماری جمعیت را نشان می دهد.



شکل: همپوشانی با داده های آماری جمعیت

مثال دیگر، ترکیب داده های DTM با نقشه راهها یا هر نوع از داده های مسطحاتی مثل لایه ریزش باران است، که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: همپوشانی با لایه ریزش باران

### ۳-۶ روش های سه بعدی

#### ۱-۳-۶ نمایش دینامیک (دید پرسپکتیو)

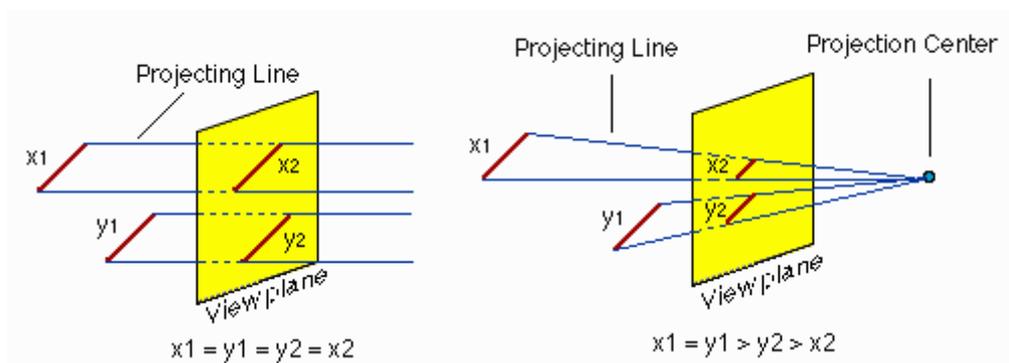
در این روش، امکان تغییر نقطه دید مشاهده کننده برای نمایش جهات مختلف مدل وجود دارد. یکی از امتیازات ویژه این روش آن است که پارامترهای مدل برای بهبود وضعیت دید مدل قابل تغییر خواهد بود. برای مثال محور قائم، قابلیت اغراق برای نمایش ناهمواریهای کوچک را خواهد داشت. برای نمایش این مدل، روشهای مختلفی وجود دارد.

#### - سیستم تصویر موازی

این سیستم تصویر، خطوط موازی، در همه نقاط سیستم، موازی باقی می ماند و همگرا یا واگرا نیستند. این سیستم، قابلیت مقیاس دهی داشته ولی دید سه بعدی برای بیننده ایجاد نمی کند.

#### - سیستم تصویر پرسپکتیو

این نوع سیستم تصویر نوعی دید طبیعی بر حسب عمق و فاصله فراهم می کند. در نمای این سیستم، خطوط موازی به سمت نقطه *vanshing* همگرا می شوند. بنابراین عوارض دورتر کوچکتر به نظر میرسند. در این روش امکان اندازه گیری مقیاس وجود ندارد ولی دید سه بعدی خوبی برای بیننده فراهم می کند.



شکل: سیستم های تصویر، راست: پرسپکتیو، چپ: موازی

نمایش در سیستم سه بعدی با چهار پارامتر کنترل می شود.

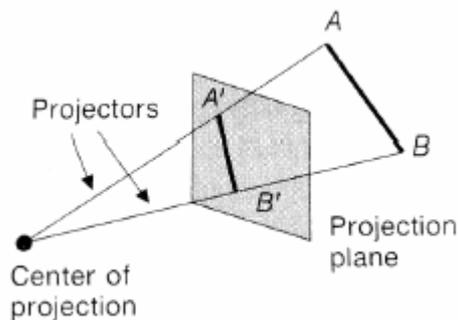
- آزیموت دید: امتداد بین مشاهده کننده و سطح که از صفر تا ۳۶۰ درجه در جهت ساعتگرد تغییر می کند.



- زاویه دید: زاویه بین سطح افق با ارتفاع مشاهده کننده که از صفر تا ۹۰ درجه تغییر می کند. ۹۰ درجه نشان دهنده دید مستقیم از بالاست و صفر نشان دهنده دید از جلو می باشد.
  - فاصله دید: فاصله بین مشاهده کننده و سطح
  - مقیاس Z: فاکتور اغراق است که نشان دهنده نسبت بین مقیاس قائم و افق می باشد. این فاکتور برای نمایش عوارض ارتفاعی کوچک کاربرد دارد.
- خصوصیات ویژه مدل سه بعدی شامل قابلیت نمایش به وسیله کامپیوتر، دید سه بعدی خوب و دقت محدود آن است.

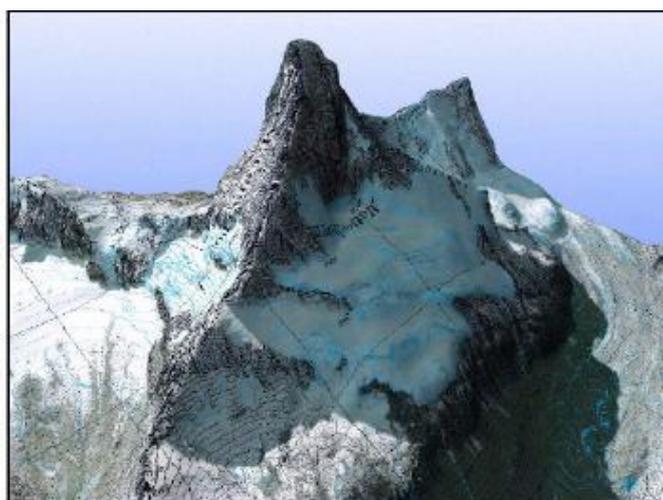
### Block Diagram - ۲-۳-۶

این روش از سیستم پرسپکتیو و سیستمی مشابه با سیستم دیدگانی انسان استفاده می کند. در این سیستم اندازه عوارض با فاصله آن از مرکز تصویر نسبت معکوس دارد. بنابراین اگرچه از لحاظ دید نمای واقعی از عوارض ایجاد می کند ولی روش مناسبی برای ذخیره اشکال دقیق و اندازه گیری روی آنها نیست. فواصل در این تصویر قابل اندازه گیری نیست و خطوط موازی در این سیستم تصویر موازی باقی نمی ماند.



شکل: سیستم تصویر پرسپکتیو

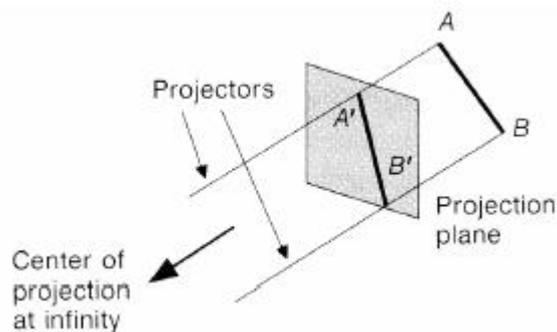
تصویر زیر یک Block Diagram از مشهرترین کوه سوئیس Matterhorn با هم پوشانی با نقشه های توپوگرافی را نشان می دهد.



شکل: نمای پرسپکتیو

### ۳-۳-۶ دید پانورامیک

دید پانورامیک از سیستم تصویر موازی برای نمایش استفاده می کند که دید واقعی کمتری نسبت به روش قبل دارد. این سیستم معمولاً برای اندازه گیریهای دقیق در مدل استفاده می شود. خطوط موازی در این سیستم موازی باقی می ماند و زوایا در صورت موازی بودن عارضه با صفحه تصویر حفظ خواهند شد. در بسیاری از کاربردها امکان استفاده از سیستم تصویر موازی وجود ندارد ولی به جای آن از روش شبه موازی استفاده می شود. در این روش اساس سیستم پرسپکتیو به کار می رود با این تفاوت که نقطه مرکز تصویر در فاصله بسیار دور فرض می شود. به صورت تئوری این سیستم پرسپکتیو است ولی در عمل تفاوتی با سیستم موازی ندارد.



شکل: سیستم تصویر شبه موازی در دید پانورامیک

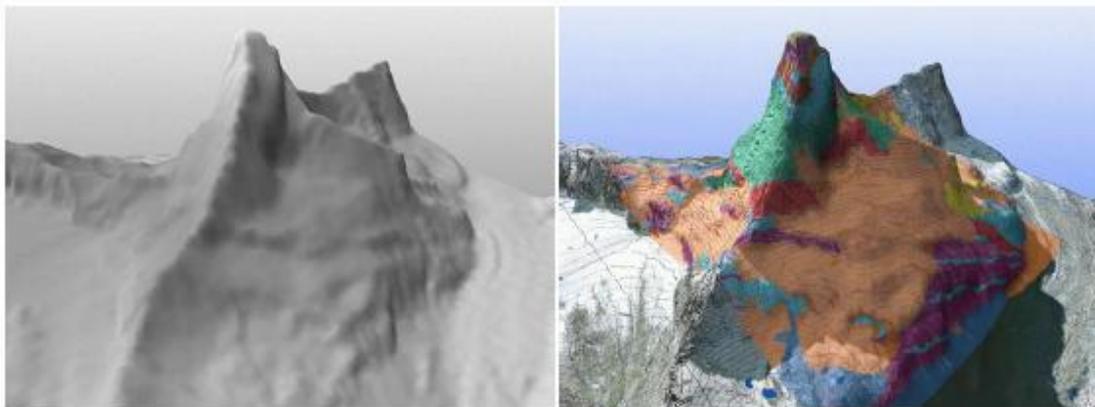
تصویر زیر نمای پانورامیک از منطقه Datchstain در استرالیا را نشان می دهد که با تصویر ماهواره ای منطقه هم پوشانی داده شده است.



شکل: نمای پانورامیک

### ۴-۳-۶ مدل های بافت دار

ترکیب داده های سه بعدی سایه دار از DTM با داده های اضافی از منابع مختلف نمای بهتری از واقعیت را ایجاد می کند. این منابع عبارتند از تصاویر ماهواره ای، داده های برداری رستر شده، نقشه های اسکن شده و نقشه های موضوعی. شکل زیر نمونه ای از این نقشه ها را نشان می دهد.



شکل: نقشه های بافت دار

#### ۴-۶ مدل‌های سه بعدی واقعی

اساس این روش بر مبنای دو تصویر پوشش دار است که با قرار گرفتن این عکسها در مقابل چشمها و ایجاد دید سه بعدی فتو گرامتری، مدل سه بعدی از ناهمواری ها، ایجاد می شود. این مدل ها امکان دسترسی به دقت بالا بوسیله اندازه گیری پارالاکس را به همراه دید سه بعدی بسیار خوب فراهم می کند.

#### ۵-۶ مدل‌های سه بعدی فیزیکی

مدل های سه بعدی فیزیکی با استفاده از موادی مانند چوب، شن و فوم یکی از روشهای خوب نمایش DTM است. در این مدل ها ناهواری های زمین را بر اساس منحنی میزانها در مقیاس کوچکتر و بدون کدبندی می توان به صورت مستقیم تشخیص داد. خاصیت مهم این مدل ها ارتباط مستقیم با مدل و قابل لمس بودن مدل است. در این مدل ناهمواری ها به شکلی واضح و قابل لمس قابل مشاهده اند.

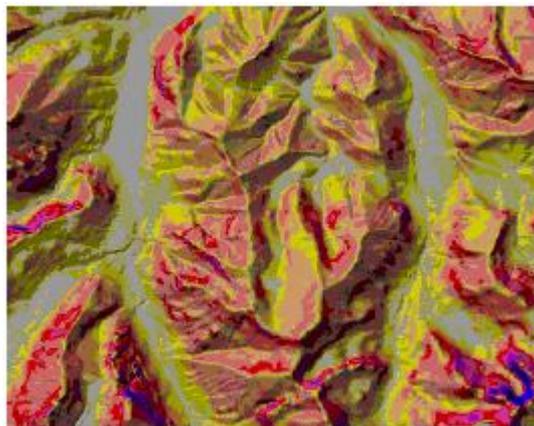


شکل: مدل فیزیکی سه بعدی

#### ۶-۶ - نمایش محصولات DTM

- شیب

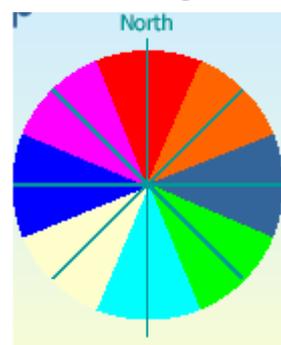
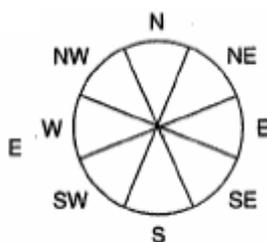
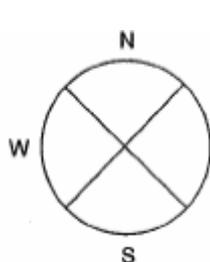
شیب ماکزیمم مقدار تغییرات ارتفاعی یک پیکسل در مقایسه با پیکسل های مجاور آن است. نقشه های شیب به صورت یک شبکه دارای مقدار شیب برای هر پیکسل (بر اساس رابطه ذکر شده برای تعیین شیب) تهیه می شوند. برای نمایش این نقشه ها از اختصاص رنگهای خاص به فواصل مشخصی از مقادیر شیب استفاده میشود.



شکل: نقشه شیب

- جهت شیب

جهت شیب، جهت ماکزیمم مقدار شیب را در یک پیکسل نشان می دهد. بر اساس مقادیر جهت شیب رنگها طبقه بندی می شوند به طوری که هر رنگ مقادیر خاصی از مقادیر جهت شیب را نمایش دهد. و بر اساس این طبقه بندی نقشه های جهت شیب تهیه می شوند.



شکل: طبقه بندی رنگها



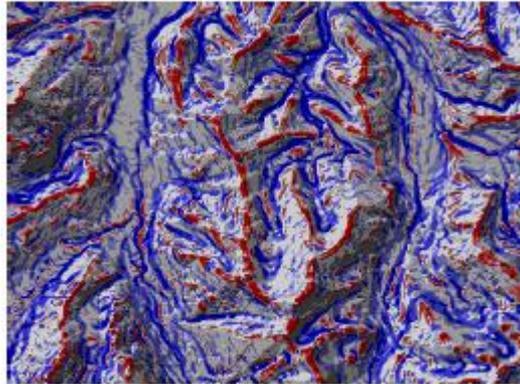
شکل: نقشه جهت شیب

- پروفیل انحنای شیب

انحنای شیب نشان دهنده شکل ناهمواریهای زمین در جهت شیب است. مقدار این انحنا بر اساس رابطه زیر و با استفاده از داده های DTM به دست می آید.

$$K_x(x, y) = - \frac{\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}(x, y) \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial x}(x, y)\right)^2 + 2 \frac{\partial F}{\partial x}(x, y) \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}(x, y) \cdot \frac{\partial F}{\partial y}(x, y) + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}(x, y) \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial y}(x, y)\right)^2}{\left[\left(\frac{\partial F}{\partial x}(x, y)\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}(x, y)\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{\partial F}{\partial x}(x, y)\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}(x, y)\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

مقادیر محاسبه شده برای این خم در هر پیکسل به دست آمده و سپس بر اساس طبقه بندی رنگی، نمایش داده می شود.



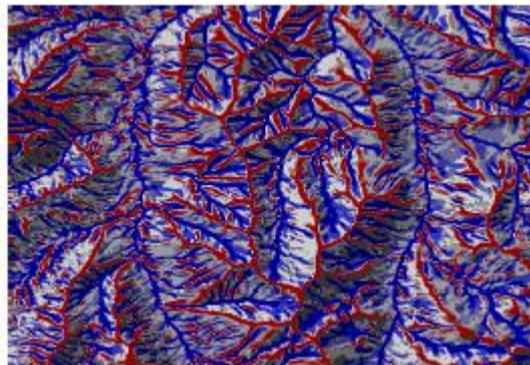
شکل: نقشه پروفیل انحنا شیب

- پروفیل انحنا در جهت عمود بر شیب

این خم نشان دهنده شکل ناهمواریهای زمین در جهت عمود بر شیب است که بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود.

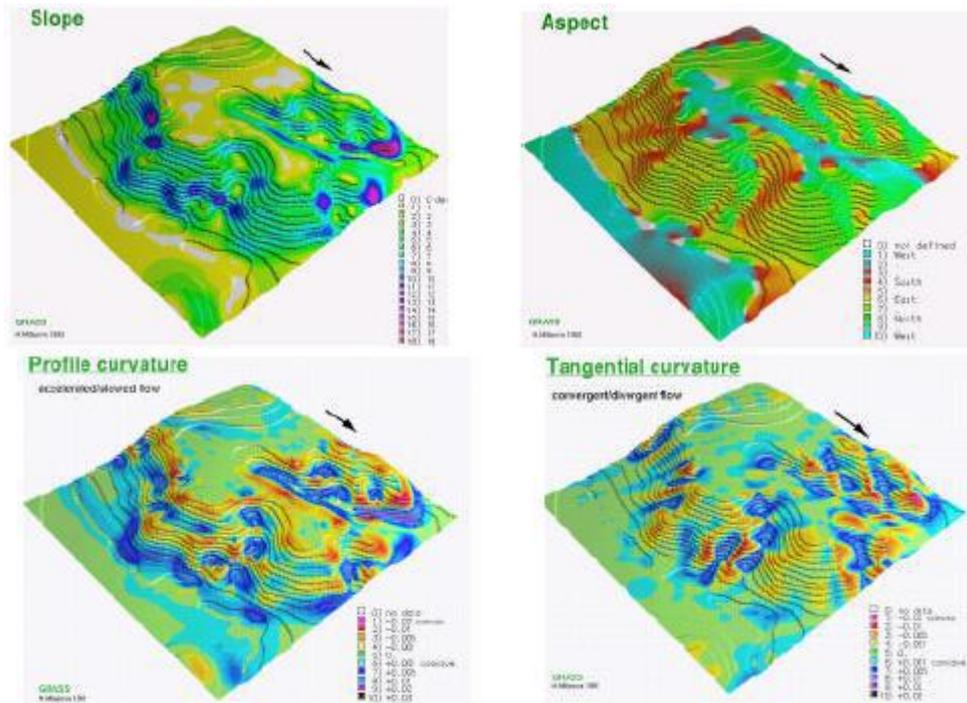
$$K_y(x, y) = - \frac{\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}(x, y) \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial y}(x, y)\right)^2 - 2 \frac{\partial F}{\partial x}(x, y) \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}(x, y) \cdot \frac{\partial F}{\partial y}(x, y) + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}(x, y) \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial x}(x, y)\right)^2}{\left[\left(\frac{\partial F}{\partial x}(x, y)\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}(x, y)\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{\partial F}{\partial x}(x, y)\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}(x, y)\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

مقادیر محاسبه شده برای این خم در هر پیکسل به دست آمده و سپس بر اساس طبقه بندی رنگی، نمایش داده می شود.



شکل: نقشه پروفیل انحنا در جهت عمود بر شیب

در شکل شماره مثالهای دیگری از نمایش محصولات DTM نشان داده شده است.



شکل: نمایش محصولات DTM

## ۷ نرم افزارهای DTM

نرم افزارهای مرتبط با DTM به سه دسته کلی تقسیم بندی می شوند:

- نرم افزارهای مختص DTM
- نرم افزارهای نقشه برداری و عمرانی
- نرم افزارهای دید سه بعدی از مدلها

دسته اول نرم افزارهایی را شامل می شود که صرفاً مخصوص DTM بوده و عملیاتی مثل مثلث بندی، تولید منحنی میزان و نمایشهای مختلف DTM در آنها قابل انجام است. نرم افزارهای زیر جزء این دسته از نرم افزارها می باشند که برای آماده سازی و کار با DTM برنامه ریزی شده اند. این پنج نرم افزار از قویترین نرم افزارهای DTM می باشند.

GWN-DTM -۱

ProSurf -۲

EasySurf -۳

Surfer -۴

SurvCADDXML -۵

دسته دوم نرم افزارهای نقشه برداری و عمرانی می باشند که کارهای متفاوتی انجام می دهند و کار با DTM یکی از قسمتهای این نرم افزارها می باشد. نرم افزارهای زیر جزء این دسته از نرم افزارها هستند که برای آماده سازی و کار با DTM نیز برنامه ریزی شده اند. این چهار نرم افزار از قویترین نرم افزارهایی هستند که دارای بخشی برای کار با DTM می باشند.

AutoCivil -۱

CogoSoftware -۲

River Cad -۳

Softdesk -۴

دسته سوم نرم افزارها بیشتر مخصوص کار بر روی DTM آماده شده و نمایش های سه بعدی مختلف و پرواز بر روی DTM می باشند. نرم افزارهای زیر جزء این دسته از نرم افزارها هستند که بیشتر برای نمایش و کار بر روی سطوح سه بعدی استفاده می شوند. یکی از سطوحی که این نرم افزارها می توانند برای نمایش آن مفید باشند DTM است.

Vista Pro -۱

Visible DTM -۲

Virtual Terrain Project -۳

RoadViz -۴

View 3d -۵

TrueFlite -۶

TerraTools -۷

TerraVista -۸

این هشت نرم افزار از قویترین نرم افزارهای نمایش سه بعدی می باشند.

## ۷-۱ پارامترهای موثر بر انتخاب نرم افزار

انتخاب یک نرم افزار مدلسازی زمین کار پیچیده ای است به خصوص برای نرم افزارهایی که برای اولین بار وارد بازار می شوند. در چهارچوب این موضوع، ضرورت‌های مورد نظر کاربر و benchmarking المانهای قاطعی هستند که اجازه می دهد نرم افزارها دقیقاً مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و کاملاً با هم مقایسه شوند.

در انتخاب یک نرم افزار چهار فاز اصلی بایستی مورد توجه قرار گیرد: آموزش و ارائه تکنولوژی به کاربر، تعریف مرحله ای که در آن نیازمندیهای کاربر که برای محصول مورد نظر شرح داده شده است، مستند می شود، ارزیابی محصولات و چرخه کاری نرم افزار انتخابی و مرحله آخر که به طراحی و تکمیل نرم افزار بر می گردد.

- شرح نیازهای کاربر

تهیه نرم افزار در ابتدا توسط شرح نیازهای کاربر هدایت می شود. این مسأله به انتظارات خریدار سندیت داده و فقط چیزهایی که نرم افزار برای کاربرد مورد نظر کاربر بایستی به آن دست یابد را شرح می دهد. این بحث با توجه به نیازهای کاربر صورت گرفته و به طور کلی جزئیات نیازهای ضروری و انتخابی کاربران را شرح می دهد که شامل مواردی از جمله سطوح اجرایی مورد انتظار، محدودیتهای طراحی سیستم، منابع داده ها و راهبردهای تجاری می باشد.

محک زنی نرم افزارها بایستی شامل یک سری آزمایشهایی برای تعیین فواید اجرایی و کارآیی آنها از دیدگاه کاربرد مدلسازی زمین باشد. برد و تأکید آزمایشها بر مبنای دانش خریدار نرم افزارها، میزان سرمایه گذاری و مشخصات کاربرد مورد نظر فرق می کند. طراحی benchmark ممکن است توسط استراتژیهایی که شامل مفاهیم کاربردی زیر می باشد، هدایت شود:

- تمامی توابع ضروری و مورد نظر که در شرح نیازهای کاربر مشخص می شوند

- ارزیابی جنبه های اجرایی که اجازه پیش بینی منابع را می دهد

- تمرکز روی جنبه های ناآشنا تر راه حل

- تأکید روی ضعفهای شناخته شده راه حل

آزمایشها بایستی برای ارزیابی وجود، کارآیی اجرایی، سودمندی، محدودیتهای وجود، ثبات، پیوستگی، پیوستگی به استانداردها، صحیح بودن (دقت)، انعطاف پذیری و کارآیی راه حلهای تعیین شده، طراحی شوند. یک benchmark باید شامل آزمایشهایی برای ارزیابی پارامترهای زیر در یک نرم افزار مدلسازی زمین باشد:

- دقت: روش معمول ارزیابی دقت یک DTM از طریق استفاده از یک مجموعه مستقل از نقاط کنترل است که دقتی مساوی یا ترجیحاً بزرگتر از مجموعه داده های اصلی داشته باشند. مقادیر مربوط به نقاط کنترل با مقادیر انترپوله شده آنها در DTM مقایسه می شود تا مقدار خطای جذر میانگین مربعی (RMSE) یا مقدار انحراف معیار که پایه ارزیابی را تأمین می کند، به دست آید. حالت ایده آل آن است که مجموعه داده های کنترلی از طریق نقشه برداری یا تکنیکهای فتوگرامتری به دست آیند. اگرچه، درحالی که داده های اصلی با رقومی کردن داده های ارتفاعی از نقشه ها به دست آیند، مجموعه داده آزمایشی می تواند توسط رقومی کردن ارتفاعات از یک نقشه بزرگ مقیاس تر به دست آید. در بدترین حالت، مجموعه داده های اصلی منحنی میزان دیجیتایز شده نیز می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

در میان این آزمایشهای دقت ضروری است که تعیین شود آیا نرم افزار، مجموعه داده های با مشخصات مختلف را مورد استفاده قرار می دهد یا نه؟ مجموعه داده های تهیه شده با روشهای مختلف جمع آوری داده ها، پراکنندگیها، حجمها، شروط ساختاری (خطوط شکستگی)، توزیعات فضایی، دقتها و انواع حالتها مختلف زمین، بستی قابل استفاده باشند.



- اجرا: زمانهای سپری شده بایستی برای عملیاتی از انواع زیر ثبت شوند:

- شکل گیری DTM از داده های خام ارتفاعی
- درونیابی منحنی میزانها
- نمایش داده ها (ابتدایی و نمایشهای بعدی)
- ایجاد پایگاه داده از مجموعه داده های انتخاب شده

مجموعه داده هایی با حجمهای مختلف باید آزمایش شوند تا رابطه بین اندازه مجموعه داده و اجرا تعیین شود.

- محدودیتها: یک مثال حداکثر تعداد نقاط داده خام و شکستگیها است که می تواند به عنوان ورودی برای تولید DTM پذیرفته شوند.

- ابزارهای ویرایشی: جدا از ارزیابی غنی بودن نرم افزار از نظر ابزارهای ویرایشی، تستها باید این توانایی را برای سیستم آزمایش کنند که نرم افزار به صورت اتوماتیک اطلاعات ارتفاعی از درجه دقت بالاتر را دوباره محاسبه کند. مثلاً، اگر داده های خام ویرایش شوند، سیستم بایستی به صورت اتوماتیک DTM و هر یک از محصولات به دست آمده مانند منحنی میزانها را در منطقه مورد نظر بازسازی کند.

- تولید محصولات: اهداف مورد نظر در تولید محصولات کیفی کارتوگرافی مانند حذف بخشهایی از منحنی میزان بر مبنای معیار شیب، قرار دادن اتوماتیک Label برای منحنی میزانها، انتخاب الگوریتمهای هموار سازی منحنی میزانها و تکنیکهای نمایش گرافیک کامپیوتری بایستی مورد ارزیابی قرار گیرند.

- یکپارچگی کاربردها: همگی کاربردهایی که در نرم افزارهای مدلسازی زمین پشتیبانی می شوند، بایستی به صورت نزدیکی به هم مرتبط بوده و یک نرم افزار پیوسته را تشکیل دهند که در تقابل با کاربر دارای ثبات باشند و از یک DBMS برای تشریح و کنترل محیط استفاده کند.

- پذیرش انواع مختلف داده های خروجی: پشتیبانی انواع مختلف و فرمتهای مختلف داده ها و محصولات GIS، نقشه برداری رقومی، CAD.

- تقابل با کاربر: پذیرش تکنولوژیهای بر مبنای کامپیوتر در محیطهای مرسوم اغلب بر مبنای قضاوت کاربران جدید و تقابل انسان- ماشین پایه گذاری می شود. اگر کارکردی که ارائه می شود پایدار و مؤثر و با استفاده از زبان محلی باشد در نتیجه کاربران در کارشان انگیزه پیدا می کنند و ریسک عدم پذیرش نرم افزار از سوی کاربران کاهش می یابد. بنابراین benchmark بایستی این جنبه مهم از یک نرم افزار را مورد بررسی قرار دهد.

- انعطاف پذیری: همه خریداران این نوع سیستم ها، خواهان پیوستگی سیستم با محیط خاص مورد نظرشان هستند. benchmark بایستی به صورتی طراحی شود که تولید کننده را وادار سازد که توابع خاص مورد نظر خریدار را تأمین کند، بنابراین اجازه ارزیابی ابزارهای خاص مورد نظربه کاربر داده می شود.

به صورت ایده آل، کاربردهای مورد نظر بایستی با استفاده از یک زبان سطح بالای برنامه نویسی اجرا شوند نه یک زبان سطح پائین برنامه نویسی.

به منظور ارزیابی کامل نرم افزارها، آزمایش benchmark بایستی در سه بخش سازمان دهی شود:

- وظایف مورد نظر بایستی با توجه benchmark تکمیل شوند، مثلاً، شرح مدل داده ها برای فراخوانی داده های رقومی و ایجاد کاربریهایی که توسط خریدار مشخص شده است.
- وظایف از پیش تعیین شده بایستی به صورت زنده در طول benchmark اجرا شوند، مثلاً ویرایش DTM.

- وظایف غافلگیرانه که بایستی در طول benchmark انجام شوند. این موارد می توانند به صورت ازپیش در نظر گرفته شده یا به صورت خود به خود باشند.  
اکثر تستهای مورد نیاز به صورت خود به خود انجام می گیرند. در نظر گرفتن این حالت‌های خاص هوشمندی، انعطاف پذیری و قدرت نرم افزارها را افزایش می دهد.

## ۸ مباحث خاص

در بخش قبل جزئیاتی از DTM مطرح شد که برای درک مفاهیم اولیه DTM یادگیری آنها ضروری بود. در این بخش به جزئیات تکمیلی که الزاما مورد نیاز کلیه خوانندگان نمی باشد اشاره می شود. مطالب این بخش از همان ساختار کلی بخش قبل پیروی می کنند. یعنی در ابتدا به مباحث پیشرفته و مطرح در تولید DTM و سپس به مباحث مربوط به اصلاح و تغییر DTM و تفسیر آن پرداخته می شود.

## ۱-۸ فیلترینگ داده های لیزر

## ۲-۸ تعیین فاصله نمونه برداری بهینه (Optimum Sampling interval)

با توجه به وجود مشکلاتی چون Under – Sampling و Over – Sampling لازم است بهترین فاصله نمونه برداری به نحوی تعیین شود. بدین منظور معیار  $\sigma_{int}$  تعریف می شود که در واقع مقدار دقت نقاط برداشت شده با یک فاصله نمونه برداری بهینه است. در واقع در صورتی فاصله نمونه برداری نقاط مورد تایید قرار می گیرد که مقدار دقت به دست آمده برای نقاط برابر  $\sigma_{int}$  باشد. این مقدار خطا بستگی به روش درونیابی و دقت اندازه گیری ها دارد.

چگونگی تعیین این مقدار بهینه قبل از انتخاب نقاط و نمونه برداری

- روش انترپوله خطی

یک DTM در صورتی دقت مناسب و نمونه برداری با تراکم کافی داشته است که ارتفاع نقاط با دقت مناسبی از طریق درونیابی به دست آید. یعنی باید ارتفاع نقاط درونیابی شده با مقدار واقعی معادل  $\sigma_{int}$  باشد. برای به دست آوردن فاصله نمونه برداری بهینه، بر روی یک پروفیل تهیه شده از منطقه نقاطی نمونه برداری می شود که ترتیب مراحل انجام شده بدین شرح می باشد:

- ۱- ابتدا فواصل نقاط نمونه برداری  $2\Delta d$  انتخاب می شود که  $\Delta d$  فاصله نقاط در پروفیل است.
- ۲- با استفاده از روش درونیابی خطی ارتفاع نقطه وسط نقاط تخمین زده می شود.
- ۳- مقدار RMS محاسبه می شود. (با توجه به مقدار واقعی و مقدار به دست آمده از روش درونیابی)
- ۴- اگر  $RMS < \sigma_{int}$ ، مرحله ۲ و ۳ با اضافه کردن فاصله تکرار می شود تا زمانی که افزونگی داده وجود نداشته باشد.

اگر  $RMS > \sigma_{int}$  مقدار  $\Delta d$  کاهش داده می شود.

در این نمودار ابتدا فاصله به اندازه  $2\Delta d$  انتخاب شده و RMS محاسبه می شود. در صورتیکه مقدار RMS خیلی کمتر از مقدار تعیین شده  $\sigma_{int}$  باشد، فاصله زیاد شده و RMS از طریق اختلاف بین مقدار درونیابی شده و مقدار واقعی حساب می شود تا وقتی که RMS کوچکتر از  $\sigma_{int}$  باشد، همواره به مقدار اختلاف فاصله اضافه می شود. تا جائیکه در مقدار  $\Delta d (K-1)$ ، RMS کوچکتر از حد تعیین شده و در K بزرگتر باشد. پس فاصله بهینه جایی بین این دو است که با فرمول زیر به دست می آید. این مقدار از این پس به عنوان فاصله بهینه در نمونه برداری مورد استفاده قرار می گیرد.

### Roghness Factor method -

بر روی پروفیل منطقه محل برجستگی ها و فرورفتگی ها تعیین شده و فاصله بین این نقاط که ارتفاع در آنها تغییر خاصی داشته مشخص می شود. فاصله بهینه برای نمونه برداری میانگین این فاصله هاست، این فواصل را ware length می گویند.

تعیین فاصله نقاط در حین نمونه برداری

در روش تدریجی تجزیه تحلیل های لازم برای تعیین فاصله نمونه برداری بهینه، در طول عمل نمونه برداری انجام می شود. این کار به روشهای زیر انجام می شود:

- طبقه بندی زمین

بهترین DTM، آن است که ناهمواری های سطح زمین را به بهترین نحو نشان دهد. به این منظور زمین باید برحسب درجه ناهمواری ها طبقه بندی شود. براساس این طبقه بندی تراکم نقاط تعیین شده و نمونه برداری به صورت دستی یا اتوماتیک انجام می شود. در روش دستی با تشخیص اپراتور و در روش اتوماتیک، تراکم نقاط با یک عملیات تکراری با توجه به منطقه، تعیین می شود.

- تقسیم منطقه به قطعات کوچکتر

برای کم کردن حجم ذخیره داده در کامپیوتر و اخذ داده های کمتر لازم است که منطقه مورد نظر به تکه های کوچکتر مساوی تقسیم شود تا نقاط هر قطعه با توجه به نوع ناهمواری ها در آن محل انتخاب شوند. تقسیم بندی ها معمولاً به صورت مربعی انجام می شود. ابعاد این قطعات بستگی به مشخصات منطقه دارد.

تعداد تکرارها و اجرا شدن الگوریتم در روش تدریجی برای دستیابی به فاصله نمونه برداری بهینه به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- سائز قطعات (a×a)

۲- شکل تغییرات زمین

۳- دقت مشخص شده در تهیه DTM

اگر ابعاد قطعات مناسب انتخاب شده باشد معمولاً سه بار تکرار کافی است ولی در مواردی ۱ یا ۲ بار اجرای اضافه الگوریتم مورد نیاز است.

اگر کل منطقه به صورت یک ماتریس  $m \times m$  در نظر گرفته شود، هر قطعه مثل یک آرایه این ماتریس است. هر قطعه با ۵ نوع نقطه پوشیده می شود. در هر بار اجرا یک سری از این نقاط استفاده می شود و هر بار تعداد نقاط بیشتر می شود.

مرحله اول یا صفر محاسبه اختلاف ارتفاع بین نقاط همسایه است. اندیس  $\Delta h$ ، مختصات نقطه وسط دو نقطه همسایه است.

برای تعیین اختلاف ارتفاع هم می توان اختلاف ارتفاع را به صورت سطری و ستونی برای هر دو نقطه یکی در میان بدست آورد و یا همین روش را برای تعیین اختلاف ارتفاع به صورت قطری به کار برد.

فرمولها؟ جزوه کاغذی؟

تعیین معیار

در این نمودار سه نقطه نمودار  $\mu - 2$  و  $\mu$  و  $\mu + 2$  برداشت شده اند.

در صورتی که ابتدا با انترپوله خطی بتوان به فاصله مناسبی (که این فاصله به دقت ارتفاع بستگی دارد) از ارتفاع واقعی رسید، همین مقدار تراکم نقاط مناسب خواهد بود و در غیر این صورت تراکم نقاط باید افزوده شود.

$$\sigma_h = 0/2 - 0/5\% \times z$$

$$\delta h_\mu \leq \delta h_{th} = 3/2 - 8/0\% * z$$

همچنین از چنین معیاری می توان برای تعیین gross error استفاده نمود.

$$\delta h_{gr.error} \geq c \delta h_{th}$$

که ضریب C بستگی به نوع منطقه دارد.

نامساوی بالا باید برقرار باشد یعنی  $\delta h_{ij} \leq \delta h_{in}$  آنگاه نقاط نمونه دیگر نیاز نیست در غیر این صورت نقاط میانی و حواشی باید گرفته شوند یعنی مجموعه نقاط بعدی از بین ۵ نقطه انتخاب کنیم و نمونه برداری تکراری شود. این چارت پروگرسو است.

روش نمونه برداری تدریجی برای تهیه DTM به صورت Online آنالیز انجام می دهد و Self – adjustment است برای تعیین و تراکم نقاط برداشت شده در منطقه به صورت local بررسی می کند.

نمونه برداری ها و آنالیزها به صورت متناوب تکرار می شود و ابتدا با یک تراکم کم از نقاط شروع می کند و با انجام آنالیزها تراکم افزایش می یابد بعد از رسیدن به معیار مورد نظر عملیات نمونه برداری متوقف می شود.

۱- چگالی داده های انتخاب شده با نوع ناهمواری های منطقه به صورت محلی فیت است.

۲- سرعت عمل این روش به علت استفاده از کامپیوتر در تعیین موقعیت ( h و y و x ) نقاط بسیار افزایش می یابد.

۳- به علت استفاده از آنالیز داده ها به صورت On – line امکان تشخیص خطاهای بزرگ وجود دارد.

۴- به علت استفاده از قطعات کوچکتر حجم اطلاعات ذخیره شده بسیار کمتر می شود.





## ۹-۱ فرمتهای DTM

اطلاعات مربوط به DTM های تولید شده در فرمتهای مختلفی ذخیره می شوند. در این قسمت به تعدادی از فرمتهای مهم و معمول برای ذخیره سازی DTM پرداخته می شود.

۱- GeoTIFF: یک فرمت استاندارد برای ذخیره سازی داده های مختصات دار در یک فایل TIFF است. TIFF یک فرمت استاندارد برای ذخیره سازی داده های رستر است. در GeoTIFF از یک مکانیزم خاص به نام Tag برای ذخیره سازی داده های مختصات دار در فایل TIFF استفاده می شود.

۲- SDTS (Spatial Data Transfer Standard): یک فرمت عمومی برای ذخیره سازی و انتقال داده های raster و vector به همراه داده های توصیفی و Metadata و ... می باشد. استاندارد SDTS به گونه ای طراحی شده است که تقریباً هر نوع داده مکانی را تحت پوشش قرار می دهد.  
- داده های DTM موجود

۱- SRTM (Shuttle Radar Topography Mission): یک ماموریت ۱۰ روزه که توسط شاتل Endeavor در سال ۲۰۰۰ انجام شد. در این ماموریت اطلاعات ارتفاعی برای تمام مناطقی که در عرض جغرافیایی ۶۰+ - ۵۴- درجه قرار دارند تهیه شد. آماده سازی و Validation داده ها تا سال ۲۰۰۳ طول کشید. DEM در فرمت SDTS و در Raster image profile تهیه شد.

۲- GTOPO 30: یک Grid elevation data set که توسط USGS و NASA در سال ۱۹۹۶ برای کل زمین تهیه شده است. این Dataset ۳۰ ثانیه است. این Dataset بعنوان دیتوم از WGS 84 استفاده می کند.

۳- DTED (digital terrain elevation data): که توسط NIMA در سه سطح تهیه شده است که به ترتیب دارای Resolution ۳۰، ۳ و ۱ ثانیه هستند. این Dataset بعنوان دیتوم ارتفاعی از GRS 80 و بعنوان دیتوم مسطحاتی از NAD 83 استفاده می کند.

۴- Australian Geodata 9-sec DEM: یک Grid elevation dataset برای کل قاره Australia با Resolution ۲۵۰ متر و با فرمت ASCII است. این Dataset بعنوان دیتوم از AGD66 استفاده می کند.

## ۹-۲ الگوریتم ژنتیک حل معادلات Global Polynomials

آنچه در بالا به آن اشاره شد شیوه عملی استفاده از Global Polynomials در تولید مدل DTM است. ولی این روش دارای معایبی است که از جمله آنها می توان به این موارد اشاره نمود:

- در این روش هر بار ماهیت کلی ترم ها در کنار یکدیگر مورد بررسی قرار می گیرد و در واقع این روش قابلیت بررسی هر ترم به صورت مجزا را دارا نمی باشد.

- هیچ دلیل قانع کننده و موجهی برای توضیح ترتیب اضافه نمودن ترم ها به چند جمله ای وجود ندارد.

با توجه به معایبی از این دست، نیاز به داشتن روشی است که به دور از این مشکلات به بررسی ترم های مناسب Global Polynomials مورد استفاده پردازد. یکی از روش هایی که به صورت عمده این قابلیت را دارا می باشد روش الگوریتم های ژنتیک می باشد که در ادامه این روش و چگونگی پیاده سازی آن در این مورد خاص توضیح داده می شود.

## ۹-۲-۱ الگوریتم ژنتیک

قبل از بیان مطالب در مورد الگوریتم ژنتیک لازم است مطالبی راجع به فضای جستجو و نحوه نگاه کردن به مسائل، درچنین الگوریتم هایی ذکر شود.

در روش ریاضی معمول برای حل مسائل فرض بر آن است که هر مسئله تنها و تنها یک جواب صحیح و قابل قبول دارد. اما وقتی با روش های تکاملی مثل الگوریتم ژنتیک به حل مساله می پردازیم می بایست زاویه دید کمی تغییر کند. به این صورت که در اینگونه مسائل با توجه به معلومات مساله یک فضای جستجوی مشخص تعیین می شود، به نحوی که جواب مسئله در این فضا قرار گیرد. حال فرض می شود هر نقطه از این فضا یک جواب برای مساله می باشد. سپس برای این جواب یک شاخص تعریف می شود که این شاخص میزان مرغوبیت این جواب را تعیین می نماید. در حین حل مساله سعی می شود با تمهیداتی این جواب به سمت جواب بهتر هدایت شود. معمولاً جواب کاملاً درست به دست نمی آید، چون این پروسه تکرار، در یک نقطه قطع می شود. ولی همیشه می توان ادعا کرد که جواب حاصل یک جواب قابل قبول، با یک میزان نزدیکی به جواب واقعی می باشد.

الگوریتم ژنتیک یک ساختار کلی دارد که این ساختار با توجه به نیاز مساله تغییر می نماید. مراحل کلی یک الگوریتم ژنتیک در زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

۱- START: الگوریتم با تشکیل یک جامعه اولیه آغاز می شود. به این معنی که برای شروع به کار این الگوریتم نیاز به تعدادی جواب اولیه برای مسئله مورد نظر است که این جواب ها به صورت یکسری کروموزوم وارد مسئله می گردند. این عمل تبدیل نمودن یک راه حل به کروموزوم در اصطلاح Encoding نامیده می شود. برای تعیین این جواب های اولیه معمولاً از دو روش استفاده می شود:

- استفاده از یکسری جواب اولیه حاصل از یک پروسه ساده تعیین جواب

- انتخاب تصادفی یکسری جواب اولیه از فضای جستجو

بدیهی است که بهتر بودن جواب اولیه باعث افزایش سرعت حل مساله خواهد شد.

۲- FITNESS: در این قسمت هدف تعیین معیار خوب بودن و قابل قبول بودن هر جواب می باشد. یعنی با توجه به جواب مورد نیاز تابعی تعریف می شود که ورودی آن کروموزوم و خروجی آن یک Fitness Value باشد. این Fitness Value همان شاخص برای تعیین میزان مرغوبیت جواب می باشد.

در این مرحله می بایست مقدار Fitness Value را برای تمام اعضای جامعه اولیه تعیین نمود.

۳- New Population: پس از تشکیل جامعه اولیه و تعریف Fitness Function، نوبت به قسمت اصلی الگوریتم ژنتیک یعنی ایجاد جامعه جدید با استفاده از جامعه موجود می رسد. این قسمت خود از چهار مرحله تشکیل می شود:

- SELECTION: ابتدا می بایست بر اساس Fitness Value کروموزوم های موجود در جامعه، تعدادی را انتخاب نموده تا به این کروموزوم ها اجازه Reproduction داده شود. مسلماً در این مرحله کروموزوم هایی انتخاب می شوند که از Fitness Value بهتری نسبت به دیگر کروموزوم های جامعه برخوردار باشند.

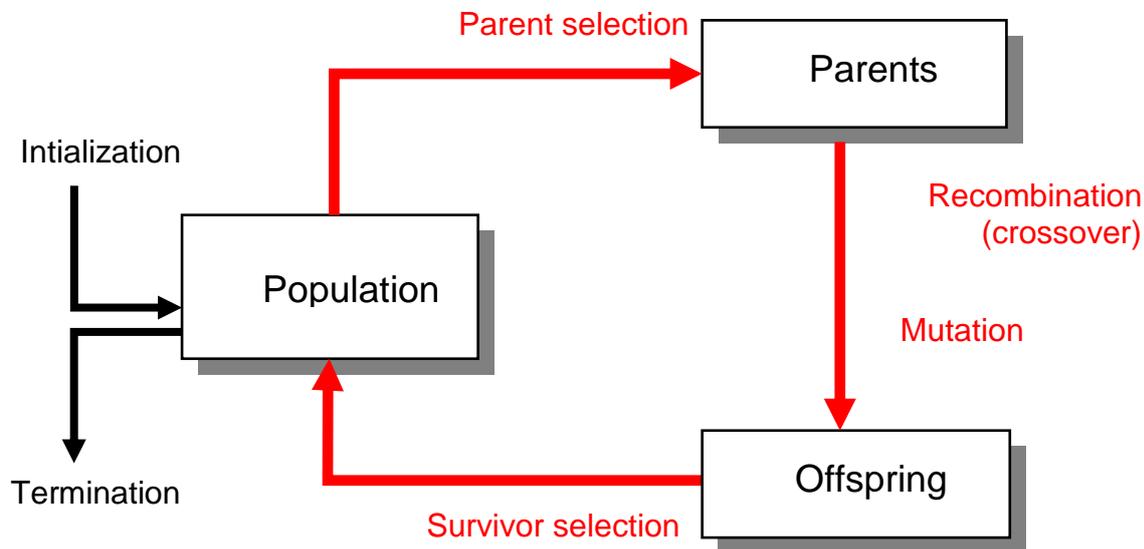
- RECOMBINATION: در این قسمت کروموزوم هایی که در مرحله قبل انتخاب شده بودند، با یکدیگر ترکیب شده و کروموزوم های جدید (فرزند) را ایجاد می کنند. بدیهی است که هر کروموزوم فرزند بخشی از خصوصیاتش را عیناً از والد اول و بخش دیگر را عیناً از والد دوم به ارث می برد.

- MUTATION: پس از Recombination اتفاق دیگری که می افتد این است که بعضی از خصوصیات بعضی فرزندان به طور تصادفی در پروسه جهش ژنتیکی (Mutation) تغییر می نماید. این پروسه باعث می شود که الگوریتم به سمت مینیمم های منطقه ای منحرف نشود.

۴- REPLACE: در این مرحله جامعه جدید جایگزین جامعه اولیه می شود.

۵- TEST: در این مرحله، تمام اعضای جامعه تست می شوند تا معلوم شود آیا جوابی در حد دقت مورد نظر در جامعه جدید وجود دارد. اگر این جواب برای مسئله وجود داشت الگوریتم به پایان می رسد. در غیر این صورت دوباره جامعه جدید تشکیل می شود و این عمل تا جایی ادامه پیدا می کند که دقت مورد نظر به دست آید.

یعنی در این پروسه، با هر بار تکرار، با توجه به Selection صورت گرفته و همچنین دو عمل Recombination و Mutation انتظار می رود جامعه حاصل نسبت به جامعه قبلی از مرغوبیت بیشتری برخوردار باشد و به این ترتیب با انجام تکرار جامعه به سمت جواب مورد نظر حرکت کند. در ادامه فلوجارت این الگوریتم به صورت شماتیک آورده شده است.



شکل شماره: فلوجارت کلی نحوه کار یک الگوریتم ژنتیک ساده

در این قسمت بر پایه الگوریتم ژنتیک ساده ارائه شده، سعی می شود روشی به منظور استفاده از الگوریتم های ژنتیک در تعیین جملات بهینه چند جمله ای های عمومی مورد نظر ارائه شود. مراحل کار مانند الگوریتم ارائه شده فوق می باشد، با این تفاوت که در این مرحله سعی می شود، با توجه به نیازهای این مساله خاص هر یک از الگوریتم ها به تفصیل شرح داده شود.

#### ۱- Encoding

در مرحله اول می بایست مساله باید به شکلی مطرح شود که با استفاده از الگوریتم ژنتیک قابل حل باشد. به این منظور لازم است ابتدا کروموزوم ها را تعریف نمود (Encoding).

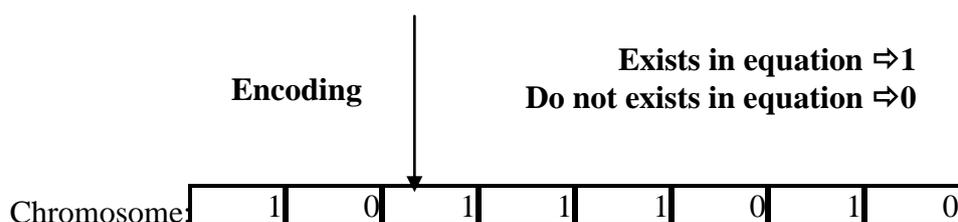
راه های مختلفی برای تعریف کروموزوم ها وجود دارد، که انتخاب هر یک از آنها کاملاً وابسته به نوع برخورد با مسئله مورد نظر است. از جمله این روشها می توان موارد زیر را ذکر نمود:

- Binary encoding
- Permutation encoding

- Value encoding
- Tree encoding

در این جا با توجه به خصوصیات مساله روش Binary Encoding مناسبتر به نظر می رسد. زیرا با بررسی رفتار Global Polynomials، این نتیجه حاصل می شود که ماکزیمم تعداد جملات مورد نیاز معمولاً بیش از هشت ترم نیست. بنابراین کروموزوم به صورت یک آرایه باینری هشت جزیی به صورت زیر در نظر گرفته می شود که در ازای مناسب بودن هر یک از ترم های این چند جمله ای، به متغیر مربوط به آن در آرایه مقدار صفر و در غیر این صورت به آن مقدار یک متناسب می شود.

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4XY + a_5Y^2 + a_6X^3 + a_7X^2Y + a_8XY^2$$



۲- تعریف تابع fitness

در این مرحله با تعریف یک تابع Fitness می توان میزان مناسب بودن هر جواب برای مسئله را تعیین نمود. این تابع به این صورت تعریف می شود:

- ۱- تبدیل کروموزومها به چند جمله ای
  - ۲- تعیین ضرایب چند جمله ای با استفاده از نقاط کنترل
  - ۳- محاسبه RMSE برای کروموزوم
  - ۴- پیشنهاد این RMSE به عنوان fitness value برای این کروموزوم خاص
- به این ترتیب می توان میزان مناسب بودن هر جواب برای مسئله را تعیین نمود.

۳- ایجاد جامعه تصادفی کروموزومها

با توجه به فرض الگوریتم ژنتیک می بایست در ابتدای با تعیین تعداد اعضای مورد نظر برای جامعه با استفاده از یکی از دو روش ارائه شده در فصل قبل یک جامعه اولیه به منظور شروع روند تکاملی ایجاد نمود. با در نظر گرفتن روش تصادفی برای ایجاد جامعه مورد نظر مثلاً برای ایجاد ده کروموزوم، به هر یک از متغیرهای آرایه مربوطه به صورت تصادفی مقدار صفر و یا یک نسبت داده می شود. به این ترتیب در پایان این مرحله یک جامعه اولیه با جمعیت ده کروموزوم تشکیل خواهد شد.

۴- Selection

در این مرحله کروموزوم های مناسب برای زنده ماندن و Recombination انتخاب می شوند. روش های مختلفی برای انتخاب کروموزوم های مناسب ارائه شده است که بعضی از این روش ها عبارتند از:

- Roulette Wheel selection
- Rank selection
- Steady-State selection

از میان این روش ها، Roulette Wheel selection روشی مناسب است که مراحل آن به ترتیب زیر است:

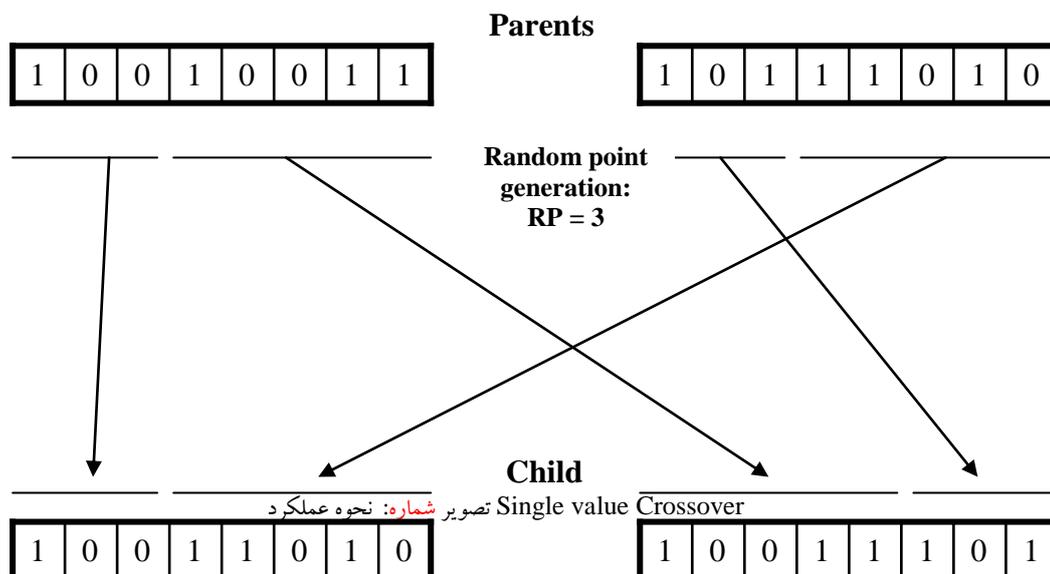
- ۱- مجموع مقدار Fitness Value اعضای جامعه محاسبه می شود. (s)

۲- یک عدد تصادفی بین صفر و مقدار مجموع محاسبه شده در قسمت قبل (S) انتخاب می شود. (f)  
 ۳- یک شمارنده از صفر تا S شروع به شمردن می کند و این شمردن را تا جایی ادامه می دهد که مقدار شمارش شده از f کمتر باشد. به محض بیشتر شدن مقدار عدد از f شمارنده متوقف می شود و کروموزوم مربوطه به عنوان کروموزوم منتخب شناخته می شود.

به علت شباهت این روش به حلقه مورد استفاده در لاتاری این روش به نام Roulette Wheel selection شناخته می شود.

#### ۵- Crossover

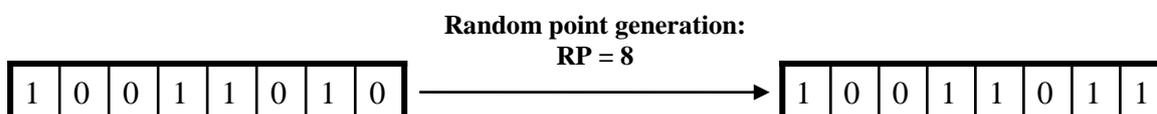
روش های متعددی برای انجام Crossover پیشنهاد می شود که از میان این روش ها، روش Single Value Crossover توضیح داده می شود. نحوه کار این روش به صورت شماتیک در شکل شماره آورده شده است.



همان طور که در شکل مشاهده می شود، به منظور انجام این عمل با استفاده از یک تابع تصادفی یک عدد بین ۱ و ۸ تولید می شود. سپس با توجه به این عدد فرزند اول سه خصوصیت اولش را از والد اول و پنج خصوصیت دومش را از والد دوم به ارث می برد و برای فرزند دوم برعکس این عمل اتفاق می افتد.

#### ۶- Mutation

همان طور که قبلاً اشاره شد، در الگوریتم ژنتیک پس از Crossover، Mutation اتفاق می افتد که در این عمل یکی از خصوصیات بعضی از فرزندان به صورت تصادفی تغییر می نماید. به این ترتیب که در مساله مورد نظر هر بار تعدادی از کروموزوم های فرزند انتخاب می شوند و سپس یکی از متغیرهای آرایه مورد نظر از یک به صفر، و یا از صفر به یک تغییر می نماید. این عمل باعث می شود الگوریتم دچار Optimum های منطقه ای نشود. تصویر شماره نحوه انجام این عمل را برای مساله تشریح می نماید.



۷- تولید جامعه جدید

بعد از انجام Crossover و Mutation، یک جامعه جدید ایجاد می شود که با جامعه اولیه جایگزین می شود. در این مرحله مساله مهمی با عنوان **نخبه گرایی** (Elitism) مطرح می شود. زمانی که جامعه جدیدی با استفاده از Crossover و Mutation ساخته می شود احتمال گم کردن جواب بهینه وجود دارد. به عنوان مثال به فرض آنکه در تکرار چهارم جواب بهینه در جامعه بوجود آید، در صورت ادامه تکرار، این جواب از بین خواهد رفت. با توجه به وجود این احتمال کاری که انجام می شود آن است که در هر تکرار بهترین کروموزوم جامعه قبل نیز به جامعه جدید وارد می شود که به این عمل در اصطلاح **نخبه گرایی** گفته می شود.

۸- Test

پس از تشکیل جامعه جدید مقدار Fitness Function برای همه اعضای جامعه جدید محاسبه می شود. در صورتی که دقت مورد نظر حاصل نشود، با بازگشت به مرحله ۴، عملیات تکرار می شود تا اینکه در یک مرحله جواب مورد نظر به دست آید و یا تعداد تکرارها از یک تعداد مشخص بیشتر شود. در این صورت جواب حاصل جواب بهینه مورد نظر خواهد بود. حال کافی است که چند جمله ای مربوط به کروموزوم حاصل تعیین شود. شکل شماره این مطلب را به خوبی نشان می دهد. این چند جمله ای به عنوان مدل در DTM مورد نظر استفاده می شود. در انتها لازم است مزایا و معایب استفاده از این الگوریتم ذکر شود. مزایای استفاده از این روش آن است که در آن بر خلاف روش معمول در استفاده از Global Polynomials ترتیب قرار گرفتن ترم ها اثری در نتیجه کار ندارد و در واقع می توان گفت که در این روش وابستگی بین ترم ها نتیجه کار را تحت تاثیر قرار نمی دهد. هم چنین دقت حاصل از این روش نسبت به روش قبل بالاتر است.

## ۳-۹ نرم افزارهای کار با داده های لیزر

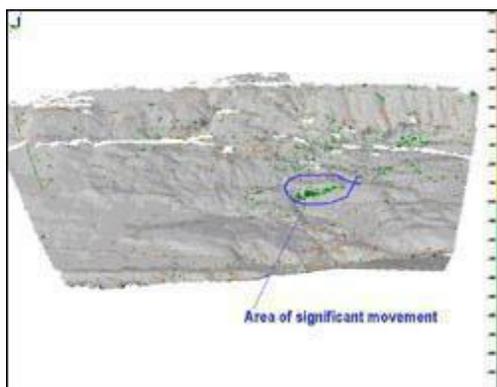
۸-۱ Polyworks Software

نرم افزاری قوی در پردازش داده ها از فواصل کوتاه و بلند سه بعدی لیزاسکرها می باشد. این نرم افزار در برگیرنده مدل های متعددی به منظور ردیف کردن، بازبینی و مدل سازی داده های ابر نقطه می باشد. خلاصه ای از کارهای این نرم افزار به شرح زیر می باشد:

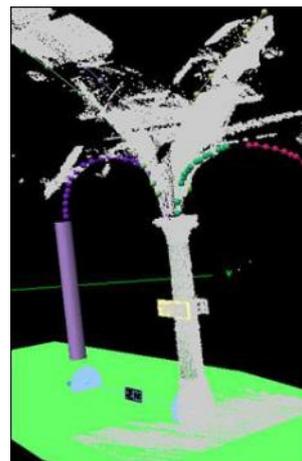
- قابلیت انعطاف کار با داده های مختلف از لیزاسکرها مختلف.
- استفاده از الگوریتم های قوی- این نرم افزار می تواند تا ۱۰۰ میلیون نقطه را پردازش نماید.
- زمین مرجع کردن داده های اسکن با استفاده از نقاط کنترل (حداقل سه نقطه) به دست آمده از روش های مختلف نقشه برداری یا GPS.
- قابلیت اندازه گیری فواصل، زوایا، ارتفاعات، احجام از داده های ابر نقطه.
- تهیه پروفیل به صورت کاملاً اتوماتیک در تمام زمینه های مهندسی.

- این نرم افزار شامل ترانسفورماسیون های متعددی برای تولید مدل های چند جمله ای سه بعدی به منظور بهتر نمایش دادن می باشد.
- خروجی این نرم افزار می تواند در فرمت های dxf و IGES برای نرم افزار Autocad و خروجی برای پایگاه داده در GIS باشد.

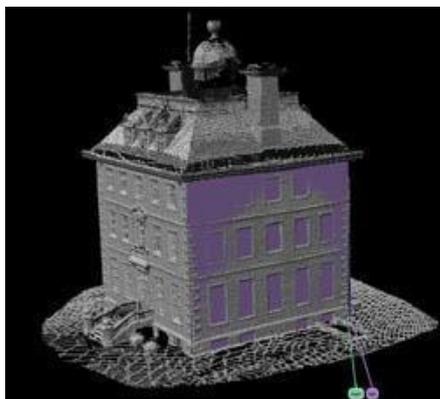
تصویر شماره ۴: نمونه هایی از کاربرد نرم افزار Polyworks



Surface model comparison for the detection of



Creation of polylines deformations



Comparison of point cloud data



Generation of cross sections with generate planes, to check for verticality

Point tools Software : ۸-۲

یکی از نرم افزارهای ساده و مقرون به صرفه می باشد. برای کاربر امکان انجام آنالیز، تجزیه تحلیل، اندازه گیری به صورت سه بعدی از ابر نقطه ها را فراهم می سازد. همچنین این نرم افزار امکان وارد کردن و دید سه بعدی را فراهم می سازد.

#### کاربردهای کلیدی

- اندازه گیری نقطه به نقطه.
- اضافه کردن متن به داده ها.
- ذخیره خروجی ابر نقطه ها و اندازه گیری ها در فرمت txt.

#### ۳-۸: Terramodeler Software

این نرم افزار در بر گیرنده کلیه کاربردها و مدل سازی زمینی در استفاده از لیز اسکیننگ زمینی و هوایی می باشد. این نرم افزار توانایی به وجود آوردن مدل های سطحی از زمین، لایه های خاکی، و طراحی سطوح از داده های نقشه برداری را داراست. از مدل های سطحی و منحنی میزان به منظور نمایش پارامترهایی مانند دما، نویز، .... می توان استفاده نمود.

این نرم افزار مدل های سطحی باز شده در حین کار را در حافظه RAM کامپیوتر نگه می دارد. این امکان را به ما می دهد تا بتوانیم از بی نهایت نقاط مدل و TIN های مختلفی که به یک طرح مرتبط می شوند استفاده نمود.

این نرم افزار بهترین انتخاب به منظور اهداف زیر می باشد:

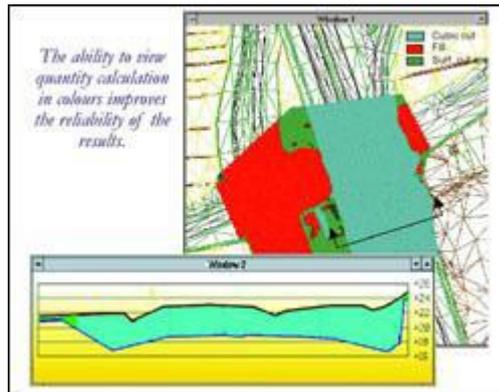
- مهندسی عمران و مهندسی زمین
- طراحی ها و پلان های معماری و شهری
- کارتوگرافی
- فتوگرامتری
- مهندسی محیط زیست

#### کاربردهای کلیدی

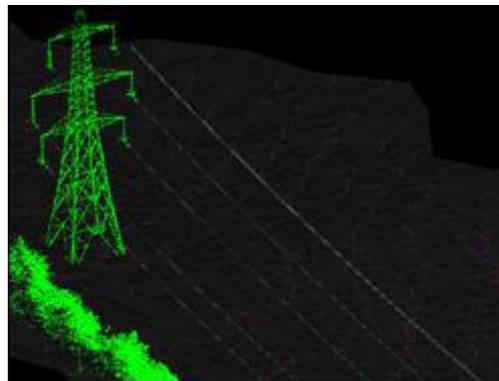
- کارایی بالا در زمینه تهیه DTM از ابر نقطه ها.
- تولید و نمایش منحنی میزان، مثلث بندی، شبکه.
- همپوشانی تصاویر زمین مرجع شده.
- تهیه انواع پروفیل و محاسبات مربوطه.
- محاسبات احجام بین سطوح و احجام بین سطح و الگوهای طراحی شده.
- محاسبه کلیه مساحت ها و احجام.
- ابزارهای متعدد در ویرایش مدل های سطحی.
- قابلیت ورود و خروج فایل ها در فرمت های مختلف و همچنین عمل ذخیره سازی.

تصویر شماره ۵: نمونه هایی از کاربرد نرم افزار Terramodeler:

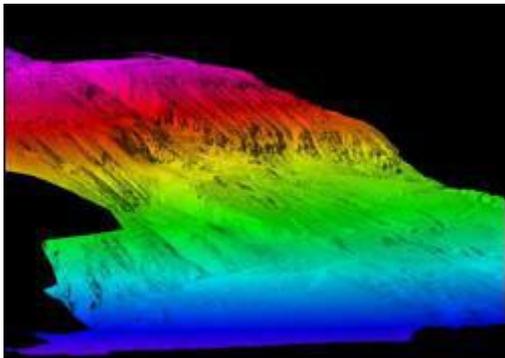




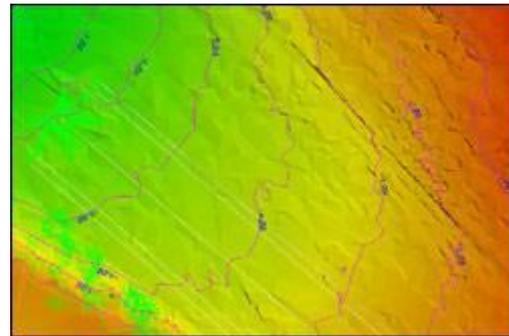
The ability to view quantity calculation in colours improves the reliability of the results.



Contour generation output with classified point data



DTM generation by ground height



DTM and contour generation

Classification  
Terrascan Software ۸-۴

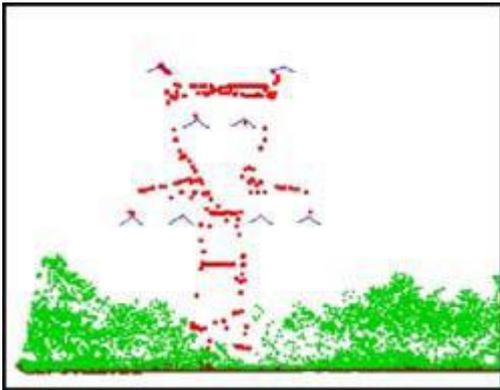
از این نرم افزار به منظور پردازش، نمایش و طبقه بندی ابر نقطه ها در هر دو روش لیزر اسکنرهای زمینی و هوایی استفاده می شود.

نقاط در این نرم افزار می توانند کاملاً خودکار به منظور پخش شدن روی سطح زمین طبقه بندی شوند و سپس می توانند برای ترسیم منحنی های میزان و یا محاسبه احجام توسط نرم افزار Terramodeler مورد استفاده قرار گیرند.

خواندن نقاط در این نرم افزار می تواند از فایل های متنی یا فایل های باینری باشد.  
کاربردهای کلیدی:

- دید چند بعدی و از جهت های مختلف روی ابر نقطه ها.
- رنگ آمیزی نقاط بر حسب اطلاعات توصیفی مربوط به آنها.
- اندازه گیری فواصل با استفاده از ابزارهای Cad و Microstation.
- وکتوری کردن داده های نقاط.
- حذف نقاط اضافی و غیر لازم.
- تشخیص شناسایی سطح پشت بام منازل و خطوط نیرو به صورت خودکار.
- خروجی طبقه بندی شده نقاط در فرمت .txt.

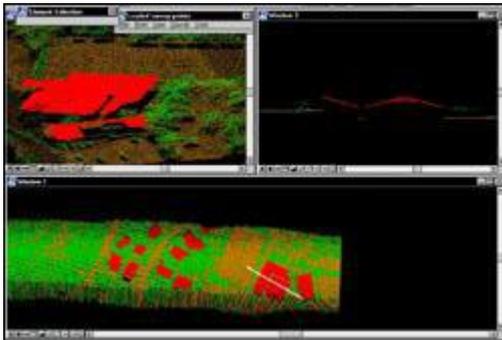
تصویر شماره ۶: نمونه ای از کاربردهای نرم افزار TerraScan



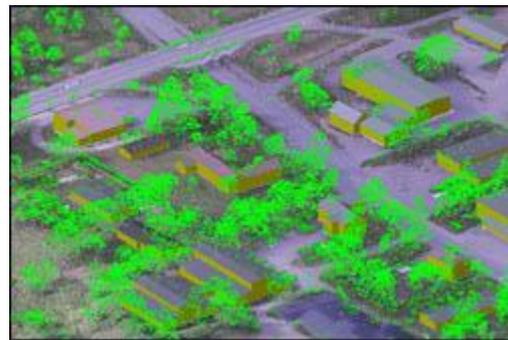
Airborne laser data after point classification using TerraScan



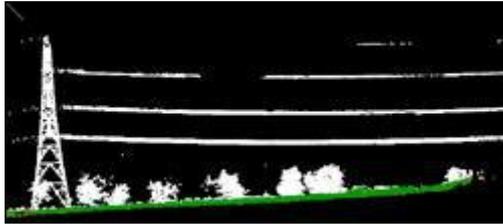
Airborne laser data before processing



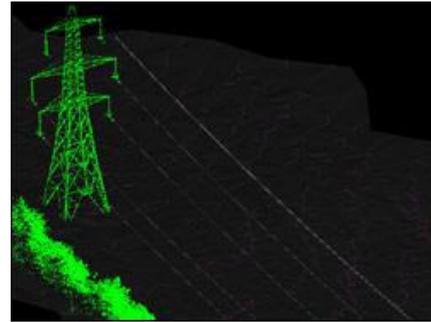
Multi-viewing of data



Automatic building detection



Airborne laser data after point



Creation of DTM's and contour classification

using TerraScan

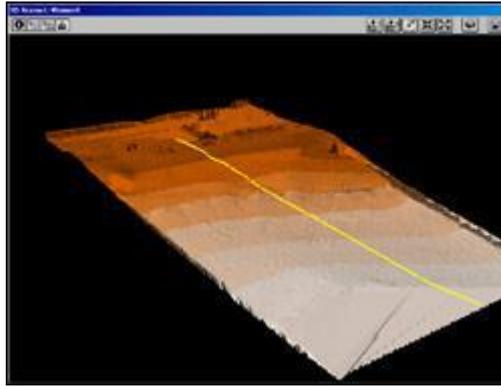
#### ۹- کاربردهای لیزر اسکنینگ:

- معماری - امروزه از لیزر اسکنرها در سطح وسیعی برای جمع آوری داده ها ، برای کاربردهای مختلف معماری مورد استفاده قرار می گیرد. لیزر اسکنرها در دنیای امروزه دید وسیع، با دقت بالا و توانایی ترکیب عکس های رنگی رقومی با داده های اسکن شده را میسر می سازند آنها را برای سایر کاربری ها آماده می سازند.

- خطوط ساحلی - در تهیه نقشه های لیزری سه بعدی و تکنیک های جدید به کار رفته به منظور کاربری های مختلف و استفاده از لیزر اسکنرهای زمینی و هوایی در نمایش مناطق و خطوط ساحلی، پیشرفت های قابل توجهی صورت گرفته است از جمله کاربردهای لیزر اسکنینگ در خطوط ساحلی می توان به نکات زیر اشاره کرد:

۱. نمایش فرسایش صخره ها در خطوط ساحلی.
۲. نمایش ترازهای ساحلی.
۳. نمایش متداوم پیشروی آب در خطوط ساحلی.
۴. نقشه برداری های مناطقی که از دسترس و کار با وسایل معمول نقشه برداری خارج می باشند.
۵. نمایش پیوسته شیب در مناطق ساحلی.

تصویر شماره ۷ - مثالی از کاربرد لیزر اسکنرها در خطوط ساحلی:



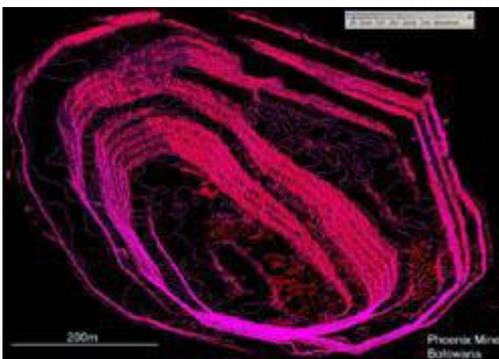
Cross section generated from surface model

- معدن و تغییرات سطح زمین در اثر عوامل طبیعی - یکی از پدیده ها که در تمامی پروژه های معادن و عامل اصلی در آن تغییرات سطح زمین در اثر عوامل طبیعی است. در این جا از لیزر اسکنرهای زمینی بکار گرفته می شود که این وسایل هم سرعت بالایی دارند و هم پیشرفت های قابل توجهی در این زمینه انجام گرفته است. تنها راهی که این امکان را به ما می دهد که اولاً تغییرات واقعی مواد از یکجا به جای دیگر و حجم این مواد جابجا شده را محاسبه نماییم و ثانیاً سطوحی که کار با آنها دشوار است و دیگر شاخه های نقشه برداری نیز جوابگوی آن نمی باشند، استفاده از لیزر اسکنرها می باشند.

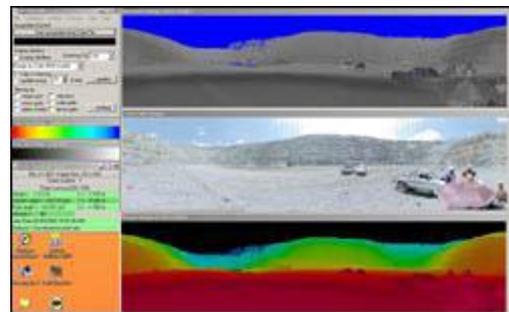
کاربردهای کلیدی لیزر اسکنرهای زمینی در این راستا عبارتند از:

- ۱- اندازه گیری حجم های بالا.
- ۲- جزئیات زمین شناسی از سطوح دیوار معادن.
- ۳- نمایش سریع ساختار سطوح.
- ۴- نمایش و شناسایی تغییرات.

تصویر شماره ۸: مثال هایی از کاربرد لیزر اسکنر در معادن:



Generation of contour model from scan



Point cloud output during data collection data

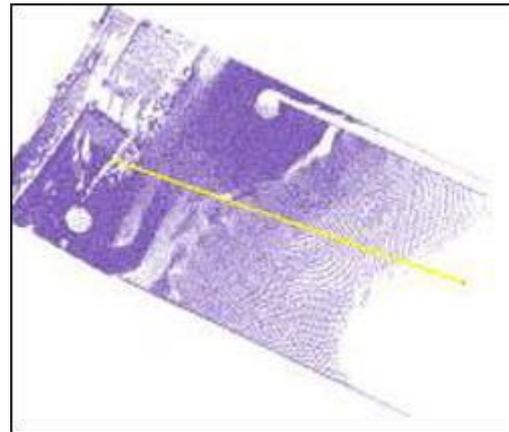
- تهیه نقشه تپوگرافی و GIS- امروزه روش لیزر اسکنینگ، روش قابل انعطاف در پروژه های مختلف نقشه برداری تپوگرافی و جمع آوری و ثبت داده های GIS می باشند. استفاده از لیزر اسکنرها بدون

به کارگیری از رفلکتور روشی دقیق و صحیح برای نقشه برداری در کنار Total station و Gps ها می باشد. بالا بودن سرعت نیز از نکات مثبت این فن می باشد.  
 با استفاده از نرم افزارهای مختلف مانند نرم افزار Terrascan، عوارض ناخواسته را می توانیم به راحتی و با سرعت بالا و حداقل اشتباه از داده های اسکن شده جدا و حذف نماییم.

تصویر شماره ۹- نمونه ای از کاربردها در نقشه های تپوگرافی و GIS:



3D visualisation generated from laser scan



Generation of cross sections from data.

Point Cloud



**Decoding**

**1 ⇒ Exists in equation**  
**0 ⇒ Do not exists in equation**

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y + a_4XY + a_5Y^2 + a_7X^2Y + a_8XY^2$$

## ١٠ منابع و مراجع

