[جزوه درس مدلسازی رقومی زمین (نسخه درفت)](#_Toc385679860)

[دکتر مسعود ورشوساز](#_Toc385679860)

[بهار 1392](#_Toc385679860)

[1 مقدمه 6](#_Toc385679860)

[اجزاء DTM 7](#_Toc385679861)

[1-2کاربرد های DTM در علوم مختلف 8](#_Toc385679867)

[1-2-1مهندسی عمران: 8](#_Toc385679868)

[1-2-2نقشه برداری و فتوگرامتری: 9](#_Toc385679970)

[1-2-3کاربرد های نظامي: 11](#_Toc385679972)

[1-2-4کاربرد DTM در باستان شناسی 14](#_Toc385680004)

[1-2-5GIS 15](#_Toc385680188)

[1-3مباحث مطرح 16](#_Toc385680189)

[2تولید DTM 17](#_Toc385680200)

[2-1مقدمه: 17](#_Toc385680201)

[2-2الگوهای نمونه برداری 17](#_Toc385680202)

[2-2-1الگوهای نمونه برداری 18](#_Toc385680203)

[2-3تهیه مدل DTM (Model Construction) 20](#_Toc385680204)

[2-3-1روش های تعریف توپولوژی 20](#_Toc385680211)

[2-3-2روش های انترپولاسیون 24](#_Toc385680212)

[3منابع و روشهای جمع آوری نقاط نمونه 31](#_Toc385680214)

[3-1مقدمه 31](#_Toc385680215)

[3-2نقشه برداری 31](#_Toc385680217)

[3-3فتوگرامتری 31](#_Toc385680220)

[3-3-1 Stereo Matching 32](#_Toc385680223)

[3-4 Laser Scanning 33](#_Toc385680226)

[3-4-1تهیه DTM با استفاده از لیزر 35](#_Toc385680310)

[3-5استفاده از نقشه های موجود 36](#_Toc385680314)

[3-5-1اسکنر و خطاهای آن 37](#_Toc385680315)

[3-5-2برداشت اتوماتیک نقاط منحنی میزان 40](#_Toc385680316)

[4تغيير و اصلاح DTM 43](#_Toc385680319)

[4-1Editing 43](#_Toc385680321)

[4-2 Filtering 43](#_Toc385680324)

[4-3 Data Value Reduction (DVR) 44](#_Toc385680327)

[4-4اتصال (Joining) و ادغام (Merging) 45](#_Toc385680378)

[4-5 Data structure conversion 45](#_Toc385680381)

[4-5-1 شبکه بندي (Gridding) 46](#_Toc385680390)

[5تفسير DTM 47](#_Toc385680392)

[5-1بررسی خصوصيات شکل زمين (Geomorphometric Analysis) 47](#_Toc385680393)

[5-1-1استخراخ ویژگی های عمومی از DTM 47](#_Toc385680395)

[5-1-2استخراج ویژگی های خاص 49](#_Toc385680408)

[5-2 Quality assessment 52](#_Toc385680411)

[5-2-1 Error detection 52](#_Toc385680413)

[5-2-2 DTM quality control 52](#_Toc385680456)

[5-3مدلسازی با استفاده از DTM 57](#_Toc385680458)

[6نمايش DTM 58](#_Toc385680460)

[6-1مقدمه 58](#_Toc385680461)

[6-2روش های دوبعدی 58](#_Toc385680462)

[6-2-1منحني ميزان 58](#_Toc385680463)

[6-2-2 Hill shading 60](#_Toc385680464)

[6-2-3 Hypsometric Tints 62](#_Toc385680465)

[6-2-4ترکيب با داده های دو بعدی 63](#_Toc385680466)

[6-3روش های سه بعدی 64](#_Toc385680467)

[6-3-1نمايش ديناميک (ديد پرسپکتيو) 64](#_Toc385680468)

[6-3-2- Block Diagram 65](#_Toc385680469)

[6-3-3ديد پانوراميک 66](#_Toc385680470)

[6-3-4مدل های بافت دار 66](#_Toc385680471)

[6-4مدلهای سه بعدی واقعي 67](#_Toc385680472)

[6-5مدلهای سه بعدی فيزيکي 67](#_Toc385680473)

[6-6- نمايش محصولات DTM 67](#_Toc385680474)

[7ضمائم 71](#_Toc385680475)

[7-1تعيين فاصله نمونه برداري بهينه Sampling interval) (Optimum 72](#_Toc385680503)

[7-2فرمتهای DTM 74](#_Toc385680504)

[7-3نرم افزارهای DTM 75](#_Toc385680505)

[7-3-1پارامترهای موثر بر انتخاب نرم افزار 76](#_Toc385680506)

Contents

# مقدمه

مدلهای سطح زمین همیشه مورد درخواست افراد نظامی، طراحان، معماران، مهندسین عمران و همچنین سایر متخصصین در علوم مختلف زمین بوده­اند. در ابتدا مدلهای زمین، مدلهای فیزیکی بودند که از کائوچو، پلاستیک، گل رس، شن و غیره درست می­شدند. معرفی مدلهای ریاضی، عددی و روشهای رقومی در مدلسازی سطح زمین، مدیون فعالیتهای مهندسین فتوگرامتری می­باشد که در حوزه مهندسی عمران فعالیت داشته­اند(Li, 2007). خوشبختانه امروزه با وجود امکانات و قابليت های کامپيوتری این امکان به وجود آمده تا سطح پيوسته زمين به شکل یک مدل رقومي نمايش داده شود به گونه اي که برای کاربران به خوبي ملموس و قابل استفاده باشد. این فرآیند مدلسازی رقومی سطح زمین نامیده می­شود که همان فرآیند مدلسازی ریاضی است و خروجی آن مدل رقومی زمین (Digital Terrain Model; DTM) می باشد. البته تکنیک های مربوطه را می توان نه تنها برای ارتفاع نقاط که برای ساير اطلاعات با خصوصيات مشابه مانند فشار، جاذبه، حرارت، تراکم جمعيت، جذر و مد، آلودگي هوا و . . . مورد استفاده قرار داد.

اهمیت تهیه DTM از منظر فتوگرامتری، سنجش از دور و GIS به حدی است که بخشی از دروس کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته نقشه برداری و گرایش های مربوطه به آن اختصاص یافته است. DTM يا مدل رقومي زمين تلاشی است برای به ترسيم کشيدن زمين به صورت رقومي و در سه بعد. در حقيت DTM سطحي است که تغييرات ارتفاع (z) نسبت به سطح زمين (x,y) در آن تعريف مي شود. با این اوصاف می توان گفت که DTM سه مشخصه عمده دارد:

سطح زمين را در بر می گیرد(earth surface)

سه بعدي است(3D)

رقومي است(digital)

در این تعریف عوارضی همچون درخت ها و ساختمانها که به صورت ماهوی جزء زمین نیستند مد نظر قرار نمی گیرند. در صورت نیاز به شمول چنین عوارضی از اططلاح دیگری به نام DSM (Digital Surface Model) یا مدل رقومی سطح استفاده می شود.

کلمات و اصطلاحات متعددی همچونDEM (Digital Elevaton Model)، DGM (Digital Ground Model) یا DTED (Digital Terrain Elevation Data) که دارای مفهومی نزدیک یا مترادف با DTM می باشند در منابع مختلف مشاهده شده است. در اکثر مقالات (بیشتر در امریکا) از اصطلاح DEM با مفهومی مترادف با DTM بهره گرفته می شود. البته در یک تعریف دقیق حتی این دو را نیز می توان متمایز از هم در نظر گرفت . در DEM ارتفاع می تواند نشان دهنده پدیده های مختلفی همچون درجه حرارت، میزان رطوبت و امثال آن باشد حال آنکه در DTM ارتفاع نقاط زمین مبنای مدل سازی است. یادآور می شود که برخی تعریف DTM را برای مدلسازی پدیده های غیر ارتفاعی و DEM را برای مدل سازی ارتفاع نقاط زمین در نظر می گیرند. با این حال نویسنده معتقد است با توجه به وجود کلمه Terrain که به معنی زمین می باشد، به کارگیری اصطلاح DTM برای مدل سازی ارتفاع نقاط زمین مناسبتر می باشد.

در کلمه DTM دو مفهوم مسستر است که عبارتند از مدل زمین و رقومی بودن آن. قسمت اول به تعریف شکل و فرم سطح زمین از نقطه نظر ارتفاعی می پردازد حال آنکه بخش دوم به رقومی بودن این مدل و امکان پردازش های کامپیوتری بر روی آن دلالت می نماید. به عبارت دیگر، یک نقشه توپوگرافی آنالوگ (کاغذی) که امروزه مورد استفاده عموم قرار دارد نشان دهنده مدل سطح زمین اما به صورت غیر رقومی است. این در حالی است که با توجه به رقومی بودن DTM قابلیت های زیر در مقایسه با نقشه های آنالوگ به راحتی قابل دست یابی می باشند: (Li, 2007)

امکان ارائه ارائه و نمایش اشکال گوناگون: در حالت رقومی، فرمهای گوناگونی از ارائه و نمایش به سادگی قابل ایجاد می­باشند، همچون نقشه­های توپوگرافی، مقاطع قائم طولی و عرضی، و متحرک سازی سه بعدی.

عدم کاهش صحت داده­ها با گذر زمان: با گذشت زمان، نقشه­های کاغذی ممکن است دچار تغییر شکل گردند ولی صحت و دقت DTM به علت استفاده از محیط رقومی حفظ می­شود.

قابلیت بیشتر در اتوماسیون و پردازش آنیِ لحظه­ای: در شکل رقومی، جمع آوری و بروزرسانی داده­ها نسبت به حالت آنالوگ، به صورتی بسیار آسانتر و انعطاف پذیرتر انجام می­شود.

نمایش آسان در مقیاسهای مختلف: بسته به مقیاسهای مختلف، جهت ارائه و نمایش  
می­توان DTM را در قدرت تفکیکهای متفاوت تهیه و مرتب نمود.

یک مدل رقومی زمین امکان دستیابی ساده به اطلاعات زیر را فراهم می سازد:

تعيين مقدار z با استفاده از x و y مشخص

برازش يک سطح جهت تعيين z به عنوان تابعي از x و y با استفاده از x ، y وz نقاط معلوم

تعيين مقدار z در فواصل ثابت از طريق درونيابي با استفاده از x ، y وz نقاط معلوم

تعيين سطح مقطع خط يا صفحه با سطح (توليد پروفيل)

برآورد و ارزيابي منحني های تراز و توليد پروفيل

تعيين خط ديد يا تعيين مناطقي که از ساير نقاط قابل ديد هستند

محاسبه حجم بين سطوح مشخص

محاسبه شيب

محاسبه منظر يا جهت شيب

تامین اطلاعات ارتفاعی از سطح زمین

## اجزاء DTM

از آنجا که سطح زمين يک سطح پيوسته است تعداد نامحدودی نقطه برای تعریف آن لازم است موضوعی که در عمل ممکن نيست. در چنین فرآیند­ی، نقاط از روی سطحی که بایستی مدل آن ایجاد شود با میزان معینی از صحت، تراکم، و توزیع نمونه­برداری می­شوند. سپس در حد فاصل این نقاط یک تابع ریاضی پیوسته تعریف می شود که با استفاده از آن می توان ارتفاع نقاط برداشت نشده را به دست آورد. در واقع، نقاط نمونه به همراه تابع ریاضی فوق، اجزای اصلی تشکيل دهنده DTM هستند.

سوالی که در این جا مطرح می شود آنست که آیا DTM یک مدل سه بعدی است؟ در پاسخ باید گفت که آنچه مشخص است آن است که DTM یک مدل دو بعدی نیست چرا که نقاط آن دارای سه مختصه (x,y,z) می باشند. از طرفی این مولفه ها از هم مستقل نیستند. به عبارت برای هر نقطه با (x,y) معلوم فقط یک z وجود دارد در حالی که در یک فضای سه بعدی به ازاء هر (x,y) بی نهایت z وجود دارد. لذا فضای DTM نه دو بعدی است (چون نقاط آن دارای سه مولفه اند) و نه می توان آن را واقعا سه بعدی دانست (چون مختصات نقاط از هم مستقل نیستند). چنین فضاهایی را فضای 5/2 بعدی مي گويند. در صورتی که z مستقل از x و y باشد، برای هر نقطه دارای x,y معلوم بی شمار z می توان تعریف نمود. حاصل، یک تابع توپر یا solid model است که اجزاء تشکیل دهنده چنین مدلی را voxel می نامند. چنین مدلی می تواند در زمین شناسی، هوا شناسی و امثال آن (یعنی جا هایی که پدیده مورد نظر در حقیقت یک حجم را اشغال می کند نه یک سطح را) مورد استفاده قرار گیرد.

## کاربرد های DTM در علوم مختلف

به لحاظ کاربردی می توان DTM را در حوزه های مختلفی همچون مهندسي عمران، علوم زمين، برنامه ريزي و مديريت منابع، کاربردهای نظامي، نقشه برداری و فتوگرامتري و GIS مورد استفاده قرار داد که در زیر به آنها به اختصار اشاره می شود.

### مهندسی عمران:

محاسبات مربوط به خاکبرداری و خاکريزي، نقشه برداری زمين، محاسبات حجم در ساخت سد ها مخازن آب و مانند آنها از کاربردهای DTM در مهندسي عمران است. به عنوان مثال در پروژه های راه سازی DTMتوليد شده که در واقع يک مدل کامپيوتری و بسيار نزديک به سطح زمين است نه تنها بررسی های اوليه طرح هندسی راه را آسانتر می سازد، بلکه در برآورد هزينه عمليات خاکی به ويژه محاسبه احجام مربوط به خاکريزی و خاکبرداری که عمدتا در پروژه های راه بخش اعظم هزينه پروژه را در بر می گيرند کمک می کند. به کمک DTM امکان تهيه پروفيلهای طولی و عرضی از مسير به راحتی و با استفاده از امکانات کامپیوتری فراهم می­گردد. با استفاده از DTM مي توان نقشه های شيب منطقه را تهيه نمود که اهميت زيادی در تعيين شيب مسير دارند. در واقع با مشخص کردن ابتدا و انتهای مسير می توان شيب قسمتهای مختلف يک مسير طراحی شده را تشخيص داد و از اين موضوع در طراحی راه استفاده کرد. بعلاوه DTM قابليت ارائه داده هاي لازم برای دسترسی به يک سری اطلاعات جانبی از مسير طراحی شده را دارد. به عنوان مثال به کمک مدل رقومی زمين امکان شناسايی عوارض يا موانع طبيعی که سبب از بين رفتن ديد مستقيم بين دو نقطه از مسير شده اند، را فراهم مي­شود.

مثال دیگر استفاده از DTM در سد سازی است. يکی از پارامترهای مهم در سدسازی برآورد تقريب خوبی از حجم مخزن سد می باشد که قطعا در کاربريهای آب ذخيره شده در پشت سد، مورد نياز می باشد. برای رسيدن به اين منظور به اطلاعات توپوگرافی وDTM منطقه نياز می باشد.

پس از مطالعات مقدماتی وتعيين حدود منطقه مورد عمليات، با استفاده از نقشه های با مقياس متوسط مثلا 1:25000 محدوده محور سد مشخص می گردد. این نقشه های متوسط مقياس، تقريب خوبی برای شروع کار است. برای بهينه سازی کار با توجه به پارامترهايي نظير مينيمم شدن حجم عمليات خاکی و هزينه، بايستی اطلاعات دقيقی ازوضعيت منطقه در دست باشد. به همين علت معمولا با مقياس 1:500 از منطقه برداشت انجام می شود تا با تهيه نقشه های بزرگ مقياس دقت بيشتری حاصل شود. معمولا در منطقه مورد نظر که روی نقشه1:25000 مشخص شده، ايستگاه گذاری شده و پيمايش می شود و مختصات نقاط کنترل بوسيلهGPS تعيين می گردد.

درمحدوده محور سد به فاصله های مشخص پروفيل تهيه شده و آزمايشهای مکانيک خاک انجام می شود تا با کل اطلاعات بدست آمده بهترين محل برای سد انتخاب شود. با توجه به ارتفاع محل انتخاب سد و ارتفاع سد، ارتفاع نهايي سطح آب بدست مي آيد. سپس محدوده منطقه ای که زير پوشش آب می رود، روی نقشه1:25000 و منحنی ميزانها مشخص می گردد. چون برای مخزن سد دقت کمتری مورد نياز است، با مقياس حدود 1:2000 يا 1:2500 برداشت توپوگرافی انجام می شود.به کمک نرم افزارهای مناسب، مدل ارتفاعي رقومي منطقه بدست آمده و با استفاده از آن و با داشتن ارتفاع آب، حجم آب جمع شده پشت سد تعيين می گردد.

کاربرد ديگر DTM در مرحله طراحي سد، تعيين مسيرهای مناسب جهت هدايت آبها به مخزن مي باشد. تامين کننده آب سدها، عمدتآ رودخانه ها و چشمه هايی هستند که هر يک مسيری را طی می کنند که اين مسيرها به سوی مخزن سد يا خارج آن می باشند. برای استفاده بهينه از سد لازم است که تمامی منابع آب موجود در منطقه، به مخزن سد هدايت شده و مسير آن ها همسو گردد. بدين جهت لازم است با شناسايی منطقه مورد نظر و همچنين استفاده از نقشه ها و DTM منطقه، منابع آبی موجود و مسيرهای جاری آب، مثلا مسير رودخانه و حريم آنها در مناطق بالادست مخزن تعيين گردند. سپس مسيرهای مناسب بين منابع آبی با استفاده از DTM و برداشتهای انجام شده در منطقه، تعيين می شوند تا برای همسو سازی اين منابع و همچنين منابعی که به خارج از مخزن سرازير هستند، کانال ها يا آبراهه ها يا مسيرهای زيرزمينی در جای مناسب ايجاد می گردند وهمه منابع آبی به سوی مخزن سد هدايت می شوند.

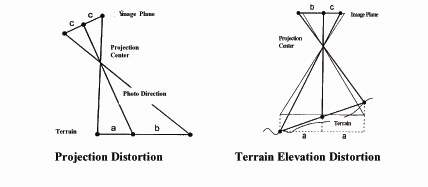
### نقشه برداری و فتوگرامتری:

از کاربرد های DTM در نقشه برداری و فتوگرامتری مي توان توليد منحني ميزان ها با کيفيت بالا، توليد اورتو فتو،ارزيابي کيفيت داده ها و تهیه نقشه های توپوگرافي نام برد.

#### كاربرد DTM در تهيه Orthophoto

گاهی اوقات در فتوگرامتری هدف تبديل تصاوير به نقشه دقيق است. برای اين منظور تمام خطاهای موجود روی تصوير از جمله جابجايی ناشی از اختلاف ارتفاع و تيلت حذف می شود، در اين حالت يک تصوير ارتوفتو دو بعدی حاصل می شود که درآن تمام خطاها حذف شده است. ارتوفتو تصوير قائم عوارض زمين بر روي سطح مي‌باشد، مثلاً تصوير ساختمان و بلنديها در تصوير اورتو بصورت كاملاً قائم روي كف تصوير مي‌شود و پای ساختمانها در اين تصاوير مشاهده نمی شود.

ارتوفتو در واقع نمايش ارتوگرافيکی سطح زمين است. از آنجا که ارتوفتو فاقد تيلت و جابجايی ارتفاعی است موقعيت مسطحاتی صحيحی از عوارض ارائه می دهد. فواصل، زوايا و مساحت را می توان درست نظير نقشه از ارتوفتو اندازه گيری نمود. خطاهای ناشی از اختلاف ارتفاع و تيلت در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل شماره: خطای ناشی از اختلاف ارتفاع و تيلت

هر تصوير و عكس داراي كشيدگي تصويری است. اين كشيدگي يك اعوجاج هندسي است كه به علت ارتفاع متفاوت زمين در قسمتهايي كه عكس آنها گرفته شده است بوجود مي‌آيد. اجسام بلند مانند ساختمان ها و درختها بصورت شعاعي به سمت بيرون از مركز عكس جابجا مي‌شوند. اجسام بلندتر و اجسامي كه از مركز عكس دورترند، جابجايي بيشتری دارند. عمليات اورتو نمودن تصاوير، اين اعوجاج ها و نامنظمي‌ها را با اعمال ترانسفورماسيون‌هاي رياضي كه با استفاده از DTM روي عكس انجام مي‌شود، تصحيح مي‌كند.

يك اورتوفتو رقومي فقط در جايي كه DTM دقيق موجود باشد مي‌تواند دقيق باشد. لذا اگر لازم باشد پلها و ساختمانها به جاي صحيح خود ترميم شوند، بايد ساختمانها و پلها بعنوان قسمتي از DTM وارد آن شوند كه اين کار بسيار پرهزينه است.

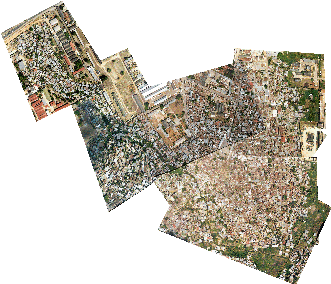
توليد ارتوفتوي رقومي در مقايسه با تكنيكهاي توليد آنالوگ با بهره جستن از تكنيكهاي پردازش رقومي تصاوير از انعطاف پذيري بيشتري برخوردار است. علاوه بر اين، خروجي رقــــومي در دامنه متنوعي از كاربردها مثلاً در محيط GIS قابل استفاده است.

با در نظر گرفتن جريان كار توليد ارتوفتو با شروع از نقشه برداري هوايي، اسكن كردن، مثلث بندي هوايي، دستيابي به DTM تا محاسبات ارتوفتو و موزائيك كردن، محاسبات ارتوفتو به خودي خود يك كار آسان در مقايسه با بقيه مراحل است.

#### توليدموزائيك بااستفاده ازDTM و عكسهاي هوايي دراندازه كوچك

اولين گام دربهينه سازي هرپروژه اي آماده كردن نقشه مبنايي ميباشد.زماني كه نقشه جديدي ازمنطقه پروژه موجود نباشد بايد نقشه هاي قديمي به روزشوند.واين ميتواند با استفاده از نقشه برداري انجام شوداما اين روش وقت گير و گران ميباشد روش ديگراستفاده ازعكسهاي هوايي كوچك مقياس ميباشد كه ابزاری مؤثربراي توليد وبه روزكردن نقشه منطقه فراهم ميكند. يك ترانسفورماسيون خطي براي تصحيح جابجايي هندسي عكسهاي هوايي بكاربرده ميشود.اين روش موقعي امکان پذیر است كه DTM منطقه دردسترس باشد. .بعدازاين مرحله نقشه ها نمونه گيري مجددشده وبه فرم موزائيك ازيك منطقه به همديگرچسبانده ميشوند.

يك موزائيك ساخته شده ازمجموعه عكسهاي هوايي كوچك مقياس ،ابزاري براي توليدنقشه به روزازچنين نواحي فراهم ميكند.براي مثال در نواحي حادثه خيز(سيل،زلزله و...)،كاربردهاي بالقوه ديگري آشكارومعمولاًتجربه ميشود.



با استفاده از ارتوموزائیک فوق می توان نقشه های پایه را به روز رسانی نمود ضمن آنکه با توجه به بصری بودن محصول، کاربران و مدیران درک بهتری از منطقه مورد مطالعه خواهند داشت.

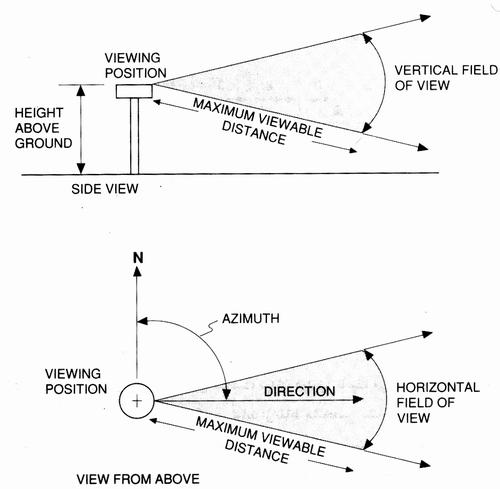
### کاربرد های نظامي:

#### بخش نظامي نه تنها يک مصرف کننده عمده DTM مي باشد بلکه توليد کننده مهم آن نيز هست. تقريبا همه جنبه های محيط نظامي وابسته است به يک درک صحيح و قابل اطمينان از عوارض، ارتفاع و شيب سطح زمين. مثالهايي از اين گونه استفاده ها شامل تحليل ديد برای مديريت ميدان جنگ، نمايش سه بعدي برای سيستم های هدايت سلاح و شبيه سازي پرواز و تحليل مسير ديد رادار مي باشد.- کاربرد DTM در تعيين ميدانهای ديد

از جمله توابع توپوگرافي که بر روي مدلهاي رقومي زمين قابل اجراست، مي‌توان به توابع ميدانهاي ديد اشاره کرد که از مهمترين آنها، توابع قابليت ديد (Intervisibility)، خطوط ديد (Line of sight)، نورپردازي (Illustration) و ديد پرسپکتيو نام برد.

به طور ساده ميدان ديد منطقه‌اي است که مي‌توان آنرا از يک نقطه (يا نقاط) معلوم مشاهده کرد. تعيين ميدانهاي ديد، در تعيين مناطقي که با يک آنتن مخابراتي يا رادار پوشش داده مي‌شوند، ارزيابي چگونگي خارج شدن و يا وارد شدن جاده‌ها به ميدان ديد در هنگام طراحي قوسهاي مسير، تعيين مناسبترين نقاط چشم‌اندازها و نقاط گردشگري، تعيين منطقة تحت پوشش يک حوزة نظامي و ساير کاربري‌هاي نظامي و مخابراتي کاربرد دارد.

توابع ميدان ديد براي تعيين منطقة تحت پوشش، از مدل ارتفاعي رقومي، ارتفاع عوارض مختلف (ساختمانها يا برج‌هاي فشار قوي)، پارامترهاي ديدگاهي (از قبيل حداکثر فاصلة مستقيم قابل ديد، موقعيت سه بعدي ناظر، محدودة زواياي افقي و قائم مشاهده) و آناليزهاي رياضي استفاده مي‌کنند (پارامترهاي ديدگاهي را مي‌توان در شکل ملاحظه نمود).

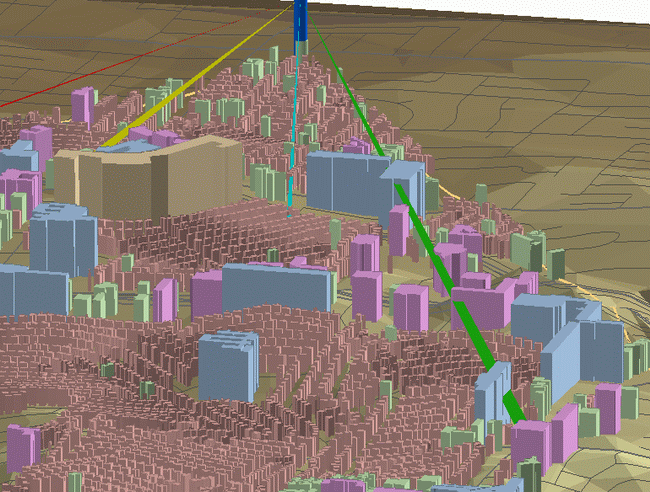


شکل: پارامترهاي ديدگاهي مورد استفاده براي تعيين محدودة تحت پوشش

در صورتيکه منظور از اين تجزيه و تحليل تعيين بهترين وضعيت براي برقراري ديد روي يک سري عوارض خاص باشد، لاية موقعيت سه بعدي اين عوارض نيز تحت عنوان لاية اهداف (Targets) به مجموعة داده‌هاي مورد نياز افزوده مي‌شود

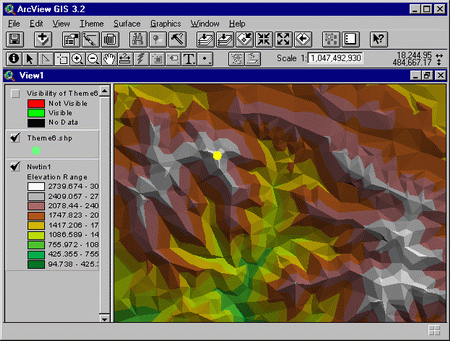
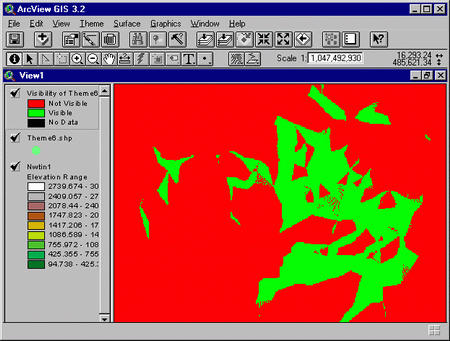
در مورد توابع ديد پرسپکتيو مهمترين دادة مورد نياز پس از DTM، مختصات ناظر است. امروزه با توجه به بالا رفتن سرعت پردازش، نرم‌افزارهاي مختلف امکان ايجاد ديد پرسپکتيو بلادرنگ (Realtime) را با تغيير موقعيت ناظر مي‌دهند. با توجه به اينکه در ديد پرسپکتيو بيشتر اهداف نمايشي مدنظر است، لايه‌هاي اطلاعاتي مربوط به موقعيت عوارض، ارتفاع عوارض و ميزان نور منطقه نيز معمولاً مورد استفاده قرار مي‌گيرند.

تعيين مناطق قابل رويت نيز اساس کار بر خطوط ديد استوار است. اما در اينجا مکان ناظر موقعيت منبع نور (يا منبع موج) در نظر گرفته مي‌شود و نقاط هدف تمامي نقاط سطح DTM محسوب مي‌شوند و سپس محاسبة خط ديد براي اين منبع و نقاط هدف صورت مي‌گيرد. هرگاه خط ديد بين منبع و يک نقطة هدف برقرار باشد،



شکل: تشکيل خطوط ديد در يک کاربري مخابراتي

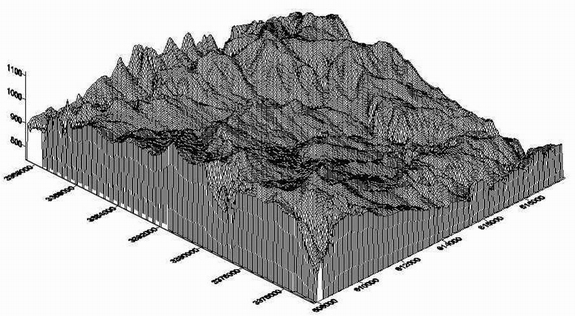
آن نقطة هدف مقدار 1 و در غير اين‌صورت مقدار 0 را مي‌گيرد. در نهايت مجموعة نقاطي که مقدار 1 داشته‌باشند به عنوان محدودة قابل رويت يا محدوده‌اي که نور به آن ميرسد، مشخص شده و نمايش داده مي‌شوند. شکل نتيجة اعمال اين فرآيند را نشان مي‌دهد.



ب الف

شکل: الف: منطقه مورد نظر ، ب: نقشه دید

براي ايجاد ديد پرسپکتيو ابتدا کاربر موقعيت ناظر که يک موقعيت سه‌بعدي است را مشخص مي‌کند و نقاط هدف نيز تمامي سطح DTM در نظر گرفته مي‌شوند. در صورتيکه خط ديد بين نقطة ناظر و نقطة هدف برقرار باشد، نقطة هدف با استفاده از ارتفاعي که DTM در اختيار مي‌گذارد، در يک محيط سه بعدي نمايش داده مي‌شود و در غير اينصورت نقطة هدف نمايش داده نمي‌شود. در حقيقت، محصول نهايي تصوير تمام نقاط قابل ديد در يک محيط سه‌بعدي از زاوية ديد ناظر است. شکل يک نمونه از ديد پرسپکتيو را نمايش مي‌دهد.



شکل: ديد پرسپکتيو در فضاي سه‌بعدي

#### شبيه سازي مسير پرواز

در چنین کاربردهایی داده ورودی سیستم DTM منطقه است. مدل سه بعدی حاصله می تواند برای کاربردهای زیر مورد استفاده قرار گیرد:

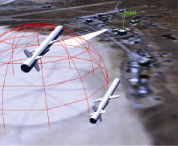
استفاده در طرح پرواز عكسبرداري هوايي

استفاده در حافظة ريزپردازنده هاي موشكهاي خودكار وهواپيماهاي بدون سرنشين

ـ تجزيه و تحليل ترافيك هوايي و برنامه ريزي مأموريتهاي هوايي

ـ طراحي خطوط هوايي و فرودگاهها

ـ مطالعات امنيت پرواز



شکل: شمایی از شبیه سازی سه بعدی با استفاده از مدل رقومی زمین

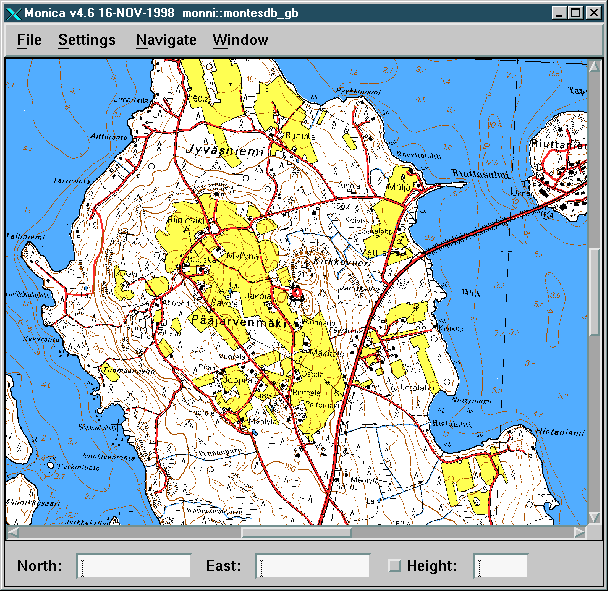
#### طراحی شبکه ایستگاه های موبايل

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

درحالت معمولی بررسي نقشه ها در ابعاد بزرگ عملا امکان پذير نيست. فاز طراحي فرکانس و ظرفيت بايد به صورتي طراحي و تحليل شود که استفاده کنندگان از موبایل در هر نقطه از منطقه و در هر زمان از شبانه روز از يک توزيع نسبي دريافت فرکانس برخوردار باشند. بدين منظوربرای طراحی شبکه موبایل از یکGIS به عنوان یک سیستم تصمیم گیری و از یک DTM به عنوان ورودی سیستم استفاده می شود. محاسبه اين پارامترها بدون استفاده ازGIS و بدون داشتن نقشه منطقه غير ممکن است

.يک شبکه موبايل شامل ايستگاه اصلي،آنتن و تکرار کننده ها مي باشند.که به صورت خوبي مي تواند در روي نقشه به نمايش در آيد. ايستگاه اصلي به سرور متصل میباشد وجهت آنتن و ارتفاع و زاويه تيلت آن نيز بسيار مهم است که اين داده ها مي توانند در یک DataBase ذخيره شده و قابل استفاده باشند.

طراحي و انتقال فرکانس نياز به مدل ارتفاعي وپروفيل منطقه دارد و مسئله مهم بحث قابليت ديداست که با کمک DTM منطقه قابل تحليل میباشد. در احداث هرطراحي هر ایستگاه نياز به هزینه های هنگفتی است که با طراحي مناسب و بهينه صرفه جوئي زيادي در هزينه ها احداث مي شود.



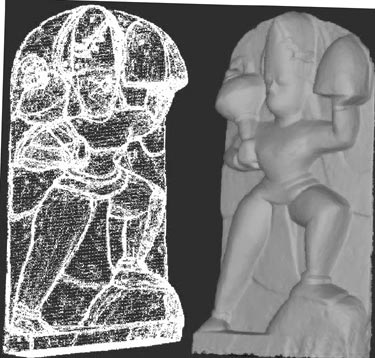
شکل: بخشی از نقشه مورد استفاده برای تعیین ایستگاه مخابراتی

### کاربرد DTM در باستان شناسی

استفاده از تکنولوژی های امروزی به باستان شناسان و محققان اجازه مي دهد كه اشيائ باستاني را در غياب شي اصلي بازديد، بررسي و حتي بازسازي كنند. مراحل کار به اين ترتيب است که يك لیزر اسكنر هندسه سطح شي باستاني را ديجيتايز مي كند و داده هاي به دست آمده به عنوان مختصات نقاط (x ,y ,z) ذخيره مي شود. در نتيجه يك مدل رقومي سه بعدي قابل تهيه است كه مي تواند به صورت رقومي ديده شده، بررسي شود، ساخته شود و روي آن تغييرات لازم انجام شود.

بازسازي گرافيكي سه بعدي و ايجاد مدل هاي فيزيكي از اجسام، محققان را قادر مي سازد كه كارهايشان را بدون آسيب رساندن به اثر باستاني به صورت دقيق تري انجام دهند. كه اين كار با روش هاي قديمي ممكن نمي باشد. بزرگ كردن مقياس مدل ها در حوزه رقومي آسان است، بنابراين مثلا يك مجسمه ساز مي تواند يك مدل كوچك درست كند و آن را اسكن كند، سپس از طريق نرم افزار های مناسب يك نمونه فيزيكي در هر اندازه اي ايجاد كند.

اين امکان علاوه بر ايجاد وسايل طراحي جديد براي مجسمه سازها، وسايلي براي مدل سازي و دستكاري مجموعه هاي باستان شناسي به صورت رقومي ايجاد مي کند. بازسازي مجدد فسيلها و مجموعه هاي باستان شناسي با بهره گيري از توانايي هاي هنري و زمين شناسي، يك فعاليت مدل سازي گسترده است. در سال هاي اخير ليزر اسكنر يك ابزار قدرتمند مورد استفاده براي هندسه مدل هاي پيچيده بوده است. چگالي و پراكندگي نقاط بر اساس سايز شي و پيچيدگي عارضه تعيين مي شود. در شکل زیر نمونه ای از کاربرد DTM در زمينه حفظ و مرمت آثار باستاني مشاهده مي شود.



شکل: مدل ارتفاعی تهیه شده از یک مجسمه تاریخی

### GIS

DTM بعنوان يك منبع مهم مدل زمين در پايگاههاي دادة سيستمهاي اطلاعات جغرافيايي اشاره کرد. ازDTM در جهت تولید انواع محصولات مورد نیاز برای انجام تحلیل های انجامی در GIS استفاده میشود. برخی از محصولاتی که در GIS به کمک مدل رقومی زمین تولید می شوند عبارتند از:

تهية نقشه هاي شيب و جهت شيب

تعيين ميزان انحناي زمين

تعيين خط ديد

تهية مقاطع طولي و عرضي ارتفاعي زمين

مدلهاي سايه زني و جهت تابش نور خورشيد

طرااحي GIS سه بعدي

یاآوری می شود عموم نرم افزار های GIS دو بعدی اند و در آنها ارتفاع (z) معمولا به صورت يک المان توصيفي(attribute) ذخیره مي شود.

## مباحث مطرح

به طور کلي مباحث مطرح در DTM شامل موارد زير است:

توليد (generation): شامل دو مرحله جمع آوری داده ها و ساختار دهي مدل است.

تغيير و اصلاح(manipulation) : شامل اصلاح خطاهای موجود، تغيير در ساختار مدل، ترکيب کردن و به هم پيوستن DTM های مختلف و . . . مي باشد.

تفسير (interpretation): استخراج اطلاعات با استفاده از تحليل های DTM.

نمايش (visualisation): نمايش بصري DTM و محصولات آن است.

کاربرد (application): شامل روشهای نحوه به کارگیری DTM در کاربردهای مختلف آن می باشد.

در ادامه به این موضوعات پرداخته می شود.

# تولید DTM

## مقدمه:

همان طور که در بخش های قبلی اشاره شد، مدل رقومی زمین مدلی است که موقعیت ارتفاعی نقاط زمین را نشان می دهد. طبق این تعریف DTM با یک مدل ریاضی z=f(x,y) مشخص می شود که در آن z تابعی پیوسته از x,y نقطه می باشد. تشکیل چنین مدلی در فضای کامپیوتر نیازمند برداشت بی نهایت نقطه (دارای x,y,z مشخص) می باشد که امکان پذیر نمی باشد. در عمل مدل رقومی زمین به کمک مجموعه ای محدود از نقاط که به آنها نقاط نمونه (sample points) گفته می شود و یک مدل ریاضی که حد فاصل این نقاط را به صورت پیوسته پر می کند تعریف می شود. بنابراین می توان گفت که یک مدل رقومی زمین از دو جزء زیر تشکیل می شود:

1. مجموعه ای از نقاط نمونه از سطح زمین که مختصات (x,y,z) آنها با دقت مشخص معلوم است
2. یک مدل ریاضی z = f(x,y) که با استفاده از آن امکان محاسبه z در نقاط دارای x,y معلوم فراهم می شود.

تهیه نقاط نمونه در بر گیرنده دو مبحث می باشد. اول آنکه این نقاط در چه جاهایی و طی چه الگویی برداشت شوند و دوم آنکه از چه تکنیکی برای اندازه گیری مختصات آنها استفاده شود. تهیه مدل ریاضی نیز در دو مرحله انجام می شود. در مرحله اول رابطه همسایگی یا توپولوژی نقاط تعریف می شود. در مرحله دوم فرمول ریاضی z = f(x,y) که در حقیقت یک مدل انترپولاسیون می باشد تعیین می گردد. برداشت خصوص نقاط نمونه دو بحث مطرح در ادامه به تشریح این اجزاء و چگونگی تشکیل مدل رقومی زمین پرداخته می شود.

در بخش های بعدی این فصل الگوهای نمونه برداری و مباحث مربوط به تهیه مدل ریاضی مورد بحث و بررسی قرار می گیرند. موضوع تکنیک های اندازه گیری نقاط بحثی مفصل است که طرح آن به فصل سوم موکول شده است.

## الگوهای نمونه برداری

همان گونه که اشاره شد هدف از نمونه برداری اندازه گیری نقاط سطح زمین است. در این زمینه با استفاده از روشهای رایج نقشه برداری همچون فتوگرامتری و نقشه برداری زمینی مختصات نقاطی از زمین برداشت می شود. خروجی این مرحله مجموعه ای از نقاط است که مختصات x,y,z آنها مشخص است. اینکه چه تکنیکی برای برداشت نقاط انتخاب می شود موضوعی است که به پارامترهای مختلف بستگی داشته و در بخش های بعدی (فصل) به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرد. در هر صورت، از آنجا که نقاط نمونه جزئي از DTM هستند، تراکم آنها روی دقت DTM تاثير مي گذارد. در نمونه برداري بخشی از اطلاعات از دست می رود که ممكن است با توجه به كاربرد مربوطه داراي اهميت باشد. میزان اطلاعات از دست رفته به فواصل نمونه برداري، خصوصيات منطقه و دقت نقاط برداشت شده بستگي دارد. بنابراين نمونه برداري بايد به روشي انجام شود كه تا حد امكان اطلاعات مهم از دست نروند ضمن آنکه داده هاي اضافي و زايد هم برداشت نشوند، يعني نمونه برداري بايد با فاصله نمونه برداري بهينه انجام شود. به عبارت بهتر باید مراقب بود که نه sampling-Under اتفاق بیفتد و نه . Over-smapling در اولی به علت کم بودن تعداد نقاط نمونه برداری شده نسبت به شکل زمين و شکستگيهای آن، DTM توليد شده كم دقت مي شود و ممكن است حتي مورد قبول نبوده و حتی در بعضی موارد ممکن است به نمونه برداري مجدد نياز باشد. از طرفی در صورتی که sampling -Over رخ دهد به علت تراکم زياد نقاط نمونه برداری شده، زمان مشاهده و انتخاب نقاط، حجم عمليات كامپيوتري و ذخيره سازي داده ها بالا مي رود.

روش های نمونه برداری را از نقطه نظر میزان اتوماسيون به سه دسته تقسيم مي شوند:

1. دستي يا manual : اين روش كند و خسته كننده است ولي همه منطقه به دقت مورد بررسي و تفسير قرار مي گيرد. عوارض به درستي تشخيص داده شده و نقاط حساس انتخاب مي گردند. اين روش به عنوان تكميل کننده روش هاي ديگر نيز استفاده مي شود.
2. نمونه برداري اتوماتيك:اين روش، روشی سريع و ساده است اما نمي تواند به درستي شكل واقعي زمين را ايجاد كند و تغييرات ناگهاني را نشان دهد. اين نوع نمونه برداری براي مقياس هاي كوچك قابل استفاده است.
3. نمونه برداري نيمه اتوماتيك:بهترين روش به ويژه براي مناطق با مقياس بزرگ است كه با استفاده از كنترل اوپراتور و استخراج داده هاي تكميلي، كامل مي شود. اين روش در واقع تركيب اپراتور و كامپيوتر است. روش تركيبي از اين دسته است که در آن روش سيستماتيك و يا تدريجي با روش انتخابي تركيب مي شود. اين روش كامل ترين روش نمونه برداری براي تهيه DTM است.

بسته به ساختار و نحوه نمونه برداری میزان اتوماسیون و حجم اطلاعات برداشت شده متفاوت می باشد. در ادامه به آنها اشاره می گردد.

در مناطق بدون تغييرات ناگهاني و اختلاف ارتفاعات زياد با استفاده از روش تدريجي نمونه برداري به خوبي انجام مي شود ولي اگر تغييرات زياد باشد داده هاي مهمي ممكن است از دست برود. اين مشكل با متراكم كردن بيشتر شبكه حل نمي شود زيرا با افزونگي داده خواهد شد. در اين حالت از روش انتخابي به همراه روش تدريجي استفاده مي شود.

### الگوهای نمونه برداری

روشهای مختلفی برای نمونه گیری از سطح زمین وجود دارد که عبارتند از انتخابی یا تصادفی(Random/Selective)، سیستماتیک، تدریجی و ترکیبی

#### روش انتخابي يا تصادفي (Random/Selective)

در اين روش، برداشت نقاط به صورت دستي و با انتخاب اوپراتور انجام مي شود. با توجه به عدم تبعییت شکل سطح زمین از یک فرم خاص، الگوی نقاط خروجی از نظم مشخصی برخوردار نبوده و به این دلیل به این روش روش تصادفی یا Random نیز گفته می شود. معمولا شکستگيها و نقاطي که نبودشان باعث منجر خطای جدي در DTM مي شود، برداشت مي شوند. هم چنين در بعضي موارد اطلاعات توصيفي منطقه نيز مورد برداشت قرار مي گيرند. نقاط بايد به گونه ای برداشت شوند که دقت دلخواه در DTM نهايي حاصل شود.

به علت دخالت اوپراتور، تعداد نقاط برداشت شده حداقل، و دقت انتخاب نقاط حداکثر است. در حقیقت، مزيت اصلی اين روش امکان برداشت همه نقاط شکستگي، دقت بالا و امکان برداشت اطلاعات توصيفي به صورت دستي است. البته از معايب اين روش آن است که به وسيله کاربر انجام مي شود و در نتیجه انتخاب نقاط نياز به تخصص دارد. از همه مهمتر، نمي توان آنرا به صورت اتوماتيک انجام داد، لذا سرعت نمونه برداری پايين و وابسته به اپراتور می باشد. به دليل وجود چنين مشکلاتي از روشهای سيستماتيک استفاده مي شود که در آنها منطقه بدون در نظر گرفتن شکل زمين تقسيم بندي شده و نقاط نمونه برداشت مي شوند.

#### روش سيستماتيک (systematic)

در اين روش به شکل و پيچيدگي منطقه توجه نمي شود و فاصله بين نقاط معمولا ثابت است. با استفاده از مختصات گوشه های منطقه شبکه منظمي ايجاد شده که در رئوس آن نقاط اندازه گیری می شوند. اين شبکه منظم به شکلهای مختلفي ايجاد مي شود:

مربعي : رايج ترين روش ايجاد شبکه های منظم است که در آن تمام منطقه به مربع های مساوي (گرید) تقسيم مي شود.

پروفيل: شبکه به صورت مستطيلي است، چون فاصله نقاط دو پروفيل بيشتر از فاصله بين نقاط در هر پروفيل است.

مثلثي: فاصله بين نقاط ثابت است اما اجزای شبکه مثلث هستند.

شش ضلعي : اجزای شبکه به صورت شش ضلعي هستند. اين شبکه دارای استحکام بالاتري نسبت به حالتهای قبل است.

در روش سيستماتيک فاصله برداشت نقاط ( cell های شبکه) بستگي به دقت مورد درخواست و پيچيدگي و نوع منطقه دارد. اما اين فاصله در قسمتهای مختلف منطقه ثابت باقي مي ماند. حسن اين روش قابليت آن برای برنامه نویسی کامپيوتری و اتوماتيک کردن است. اما مشکل آن عدم توجه به شکل منطقه و بالتبع حجم بالای داده های برداشت شده و نیز حساس بودن فرآیند تعيين فاصله بهينه نمونه برداری می باشد.

#### روش تدريجي (Progressive)

روش که توسط Makarovic (1379) ارائه شده است بک روش شبکه ای است که در آن فاصله نمونه برداری در جاهای مختلف شبکه متفاوت است. درواقع هدف آن است که نمونه برداری با حداقل تعداد نقاط، بالاترين دقت، متناسب با فرم زمین و البته به صورت خودکار انجام شود. در اين روش ابتدا منطقه با رزولوشن پایین (فاصله نمونه برداری بزرگ) تقسيم مي شود و نقاط برداشت می شوند. سپس دقت برداشت نقاط هر گرید مورد ارزیابی قرار می گیرد و هر جا که لازم باشد گرید به چهار قسمت کوچکتر تقسيم مي شود (در حقیقت فاصله نمونه برداری نصف می شود) این پروسه تا جایی ادامه می یابد که اضافه نمودن نقاط اضافی منجر به افزایش دقت مدل نشود. بدین ترتیب، با اين کار در مناطق پر عارضه يا دارای تغييرات ارتفاعي زياد، تعداد نقاط بيشتری برداشت مي شود. حسن اين روش آن است که علاوه بر امکان اتوماسیون، از دقت بالاتر و تعداد نقاط کمتری نسبت به روش سيستماتيک برخوردار می باشد. با این حال ممکن است وقتي ارتفاع نقطه داخلي شبکه مورد بررسی قرار مي گيرد به طور تصادفي مقدار مناسبي حاصل شود اما در اين فاصله شکستگي يا تغييرات شيبی وجود داشته باشد که برای آنها نقطه ای در نظر گرفته نشده است. برای حل این مساله از روش ترکیبی استفاده می شود.

#### روش ترکيبي (Composite)

برای حذف مشکلات روشهای پيش از روش ترکيبي استفاده مي شود. به عبارت دیگر در جاهائيکه تغييرات شيب منطقه زياد است با کوچکترين خطا، امکان اشتباه وجود دارد. در اين حالت تشخيص اينکه در کدام منطقه بايد نقطه نمونه در نظر گرفته شود، دشوار است. برای رفع این مشکل پس از برداشت نقاط به صورت سیستماتیک یا تدریجی، اپراتور منطقه را وارسی تموده و در صورت نیاز، نقاط تکمیلی را اندازه گیری می نماید. اپراتور مي تواند برای جلوگيري از افزايش حجم داده، تعداد تقسيم های روش تدريجي را محدود کند و بقيه کار را به صورت برداشت تصادفي انجام دهد. اما در اين روش به علت دخالت اوپراتور بحث اتوماسيون دچار مشکل مي شود. تشخیص آنکه آیا در جایی نیاز به برداشت یا حذف نقاط با توجه به دقت مورد نیاز ضرورت دارد مساله ای است که نیازمند تجربه و تخصص می باشد. لذا این روش از این جنبه نیز محدودیت در اجرا دارد.

در بعضی از روشهاي نمونه برداری مثل روشهاي سيستماتيک و انتخابي، تراكم، فاصله و نحوه توزيع نقاطي كه بايد انتخاب شوند از قبل مشخص است و يا بر اساس تفاسير اپراتور در طول عمليات تعيين مي گردد. برخي ديگر از روشها تعيين تراكم نقاط و فاصله آنها در طول عمليات نمونه برداري به صورت On-line انجام مي شود. مثلا در روش تدريجي، عمليات نمونه برداری با حداقل تعداد نقاط انجام مي شود و اگر دقت مورد نياز با اين تعداد نقطه حاصل نشد، عمليات دوباره تكرار مي شود تا چگالي نقاط با خصوصيات و شكل منطقه متناسب شود.

## تهیه مدل DTM (Model Construction)

پس از انجام عمل نمونه برداری يک مجموعه نقاط که معرف یک سطح ناپيوسته می باشند، به دست آمده است. در اين مرحله بايد دوباره به يک سطح پيوسته يعني DTM دست يافت. چنین سطحی یک تابع فانکشنال (functional surface) است که در آن z به عنوان تابعی از x,y محاسبه می شود به گونه ای که در آن به ازاء هر نقطه دارای x,y فقط یک z وجود داشته باشد. پیوستگی سطح تشکیل شده به این معنا است که اگر از جهات مختلف به يک نقطه نزدیک شویم در هر حالت فقط يک مقدار برای z آن به دست آيد. بنابراین، حد فاصل سطوح هيچ گسستگي نباید وجود داشته باشد.

تابع z = f(x,y) را می توان یا با استفاده از کل نقاط برداشت شده به دست آورد یا با استفاده از بخشی از نقاط. تابع حاصله یک مدل درون یابی است که از درجه یک یا بالاتر می باشدکه به نقاط برداشت شده برازانده می شود. بدیهی است در صورتی که فقط یک مدل با ضرایب مشخص به نقاط برداشت شده از سطح زمین برازانده شود، با توجه پیچیدگی و شکل نامنظم سطح زمین مدل از دقت پایینی برخوردار می باشد. البته این مدل می تواند در کاربردهای مطالعاتی اولیه مورد استفاده قرار گیرد. راه حل جایگزین تعریف مدلهای مختلف در بخش های مختلف زمین است به این شکل برای هر چند نقطه که درهمسایگی هم قرار دارند یک مدل تعریف می شود که با استفاده از آن ارتفاع نقاطی که در فضای داخلی این نقاط قرار دارند با استفاده از این مدل محاسبه می شود.

با این توضیحات، تهیه مدل DTM در دو مرحله انجام می شود که عبارتند از تعریف توپولوژی نقاط و انتخاب و تعیین ضرائب مدل انترپولاسیون. روشهای تعریف توپولوژی و انواع مدلهای انترپولاسیون و نحوه تعیین ضرائب آنها در ادامه مورد بحث و بررسی قرار می گیرند.

### روش های تعریف توپولوژی

همان گونه که در بالا اشاره شد، برای تشکیل سطح می بایست توپولوژی بین نقاط ایجاد شود. در غیر این صورت، محاسبات کامپیوتری لازم برای تشخیص نقاط همسایه که با استفاده از آنها ضرائب مدل انترپولاسیون محاسبه می شود بسیار گسترده و زمان بر می گردد. در عمل با استفاده از تکنیک هایی که در این بخش آمد همسایگی نقاط تعیین شده و به صورت جداولی ذخیره می شوند. با مراجعه به این جدول نقاط همسایه به سرعت پیدا شده و در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار می گیرند. تعریف توپولوژی در حقیقت تقسیم بندی فضای کاری با استفاده از مجموعه ای از المان ها است که با توجه به روابط همسایگی آنها سرعت دسترسی به بخش های مختلف فضا، و بالتبع سرعت محاسبات شدیدا افزایش می یابد.

روشهای مختلفی برای تعریف توپولوژی بین نقاط وجود دارد که عبارتند از:

* منحنی میزان (Contours)
* شبکه منظم (Grid) که يک شبکه منظم است
* شبکه نا منظم مثلثی (Triangulation Irregular Model; TIN)

استفاده از هر کدام از آين روشها *معمولا* به اين بستگي دارد که داده ها از چه منبعي تهيه شده اند. مثلا در صورتيکه نقاط به طور نامنظم برداشت شده باشند از روش TIN و وقتي از روش سيستماتيک برای برداشت استفاده شده باشد از روش grid استفاده مي شود. هم چنين نحوه و نوع استفاده ای که مورد نظر مدلهای DTM است در تعيين روش برای توپولوژي موثر است.

#### **مثلث** بندی

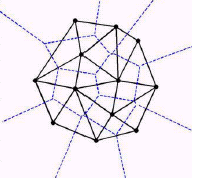
مثلث بندی، پروسه تقسیم بندی فضای کاری به مثلث هایی است که با توجه به شکل نا منظم زمین یا برداشت نا منظم نقاط، از اشکال متفاوتی برخوردر می باشند. روشهای مختلفي برای مثلث بندي وجود دارد که اهم آنها عبارتند از: Delaunay Triangulaton، Radial sweep و Greedy Triangulaton که در ادامه به آنها پرداخته می شود.

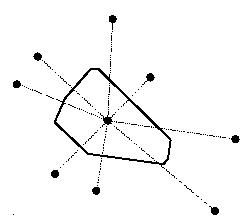
##### روش Delauney

اين نوع مثلث بندي، مستقل از نقطه شروع است و همواره شكل واحدي را ارائه مي كند ويكه مي باشد. علاوه بر اين مزيت، توليد مثلث هاي باريك كه موجب بروز خطا در درونيابي بين نقاط مي شود، به حد اقل ميرسد زيرا در اين روش تا حد امکان از مثلث های متساوي الاضلاع استفاده مي شود. مثلث بندی دلونی به جهت مزايايي كه دارد، اغلب از سوي متخصصين نرم افزار به عنوان روش اصلي مورد استفاده قرار مي گيرد.

پيش از توضيح روشDelaunay ابتدا توضيحاتي راجع به دياگرام Voronoi كه با اين مثلث بندي داراي ارتباط است داده مي شود. اين دياگرام در سال 1850 توسط Peter Lijeune Dirichlet بحث شد. اما در سال 1908 در مقاله Voronoi اين مطلب باز آورده شد، لذا از آن پس دياگرام Voronoi نام گرفت.

در اين دياگرام هر نقطه قلمرويي را كه ناحيه اي از صفحه است دارا مي باشد كه به آن نقطه از هر نقطه ديگر نزديكتر است. در اين روش مجموعه اي از پليگون هاي محدب بدون هم پوشاني توليد مي شود كه كل محدوده را مي پوشاند. اين كار از طريق رسم عمود منصف هاي هر يال انجام مي شود كه نواحي محصور بين عمود منصف ها مناطق مربوط به هر نقطه خواهند بود.(شكل)

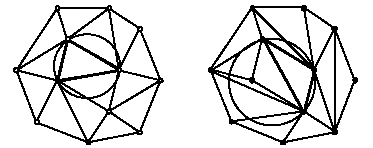




شكل: دياگرام Voronoi

اگر يك نقطه فاصله اش ازدو يا چند پولیگون مساوي باشد، آن موقعيت بين دو نقطه تقسيم مي شوند. در نتيجه نقاطي كه تنها به يك نقطه منتسب مي شوند قسمت داخلي دياگرام Voronoi را تشكيل مي دهند و نقاطي كه به دو سايت و بيشتر منتسب مي شوند مرزها را مشخص مي كنند.

اگر دياگرام Voronoi به عنوان مبنا در نظر گرفته شود، مي توان مثلث بندي Delaunay را با كشيدن خطوط بين سايت هاي پليگون هاي مجاور بدست آورد. اما با توجه به اينكه تشكيل مثلث بندي Delaunay در کامپيوتر آسانتر از دياگرام Voronoi است، معمولا آن را به طور مستقيم بدست مي آورند. زيرا قانون اصلي براي توليد مثلث بندي Delaunay در قانون دايره فرمول مي شود.

در مثلث بندي Delaunay دايره اي كه از هر مثلث مي گذرد نبايد شامل هيچ نقطه ديگري شود.(شكل)

شكل: مثلث بندي Delaunay (شكل سمت چپ داراي شرايط مناسب است)

در صورتي كه براي يك مجموعه از نقاط روي سطح صاف، مثلث بندي Delaunay با شرط بالا ايجاد شود آنگاه داراي خواص ويژه اي به شرح زير خواهد بود:

مثلث بندی واحد است، يعني از هر نقطه ای که شروع کنیم، مثلث بندی به صورت يکسان حاصل می شود

يال هاي خارجي مثلث بندي Delaunay مرز Convex hull را براي مجموعه نقاط تشكيل مي دهند

مثلث ها در اين حالت به متساوي الاضلاع نزديك هستند

روش های مختلفی برای تشکیل مثلث بندی دلونی وجود دارد که یکی از ساده ترین آنها روش مرحله به مرحله (step by step) می باشد. در اين الگوريتم از خاصيت convex hull در مثلث بندي Delaunay استفاده مي شود.

مراحل کار به صورت زير خواهد بود :

كوچكترين يال روي convex hull به عنوان Base Line انتخاب می شود.

با استفاده از دو نقطه این یال و نقطه سومی که به شرح زیر تعیین می شود اولین مثلث شکل می گیرد

عملیات برای اضلاع مثلث به صورتی مشابه تکرار شده و دو مثلث بعدی تعیین می شوند

پروسه تا جایی ادامه می یابد به که تمام نقاط مثلث بندی شوند.

برای تعیین نقطه سوم هر مثلث به شکل زیر عمل می شود:

با یک شعاع فرضی دايره اي که از دو راس یال/ضلع مثلث عبور می کند ترسیم و وجود یا عدم وجود حداقل یک نقطه از مجموعه نقاط نمونه در آن بررسی می شود.

اگر دایره مذکور هیچ نقطه ای از نقاط نمونه را در بر نگرفت، شعاع دایره افزایش داده می شود تا جایی که حداقل یک نقطه (کاندید) بر روی مرز (محیط) یا درون آن قرار گیرد

اگرتعداد كانديداها بيشترازيكي بود اما همه بر روی محیط دایره بودندآنگاه نقطه ای كه به عمود منصف یال/ضلع نزديكتر است انتخاب می شود

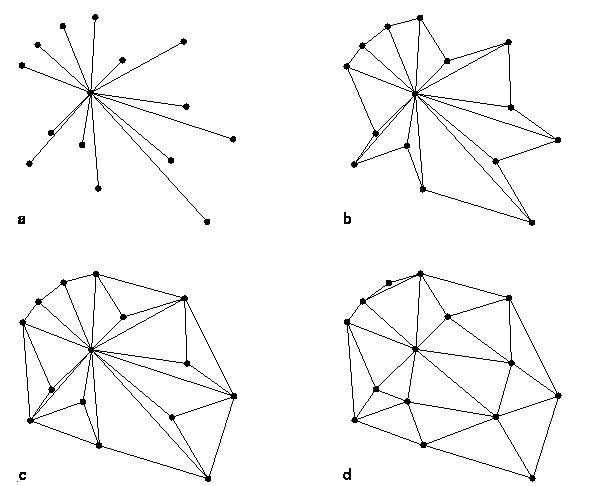
در حالتي كه نقاط کاندید درون دایره باشند، نقطه اي به عنوان راس سوم انتخاب مي شود كه بزرگترين زاويه را با یال بسازد .

##### روش Radial Sweep

بر خلاف روش دلونی که تشکیل مثلث ها به صورت یک به یک تولید می شوند، روش radial sweep را می توان به عنوان یک روش مرحله ای دانست که در هر مرحله مثلث هایی تشکیل می شود که در مرحله بعد اصلاح و بهبود می یابند. مراحل مثلث بندی به شرح زیر است:

1. نقطه ای كه در مركز ثقل منطقه واقع شده است به عنوان نقطه اوليه براي مثلث بندي انتخاب مي‏شود و فاصله و جهت نقاط ديگر نقاط مجموعه از اين نقطه مركزي محاسبه و ذخيره مي‏شوند
2. نقاط دیگر بوسیله خطوط مستقیم به نقطه مرکزی متصل می شوند. حاصل این کار اولین Radial sweep را تشکیل می دهد. این مجموعه در بر گیرنده مثلث هایی است که عمدتا باریک و بلند می باشند. علاوه بر این بخش های مقعری در مرز منطقه نقاط وجود داردکه لازم استت بوسیله مثلث های محدب تکمیل شوند.
3. برای تکمیل بخش های مقعر، هر نقطه روي مرز به دو نقطه بعدی خود در ليست متصل می شود. در صورتی که خط واصل یکی از خطوط radial sweep مربوط به دو نقطه بعدی را قطع کند، آن خط حذف ومثلث در بر گیرنده خط واصل فوق به عنوان یکی از مثلث ها به شبکه مثلثی اضافه می شود. این مثلث، مثلثی است که با دیگر مثلث ها هم پوشانی ندارد. بدین ترتیب شبکه مثلث ها تکمیل می شود که با توجه به کشیده بودن مثلث های لازم است بهبود یابد
4. براي بهينه نمودن شکل مثلث ها، برای هر جفت مثلث يك چهار ضلعي تشكيل ميشود. پس از آن فواصل هر جفت نقطه روبروي هم در چهار ضلعی محاسبه و با هم مقایسه می شوند. اضلاع بزرگتر حذف و اضلاع کوچکتر حفظ می شوند. در نتیجه مثلهای حاصل کوتاه ترین اضلاع در چهار ضلعی مربوطه را دارا می باشند اين عمل بصورت تكراري و متوالي انجام مي‏شود تا اين شرط براي همه مثلثها برقرار شود.

مراحل انجام اين روش مثلث بندی در شکل شماره زیر نمايش داده شده است.



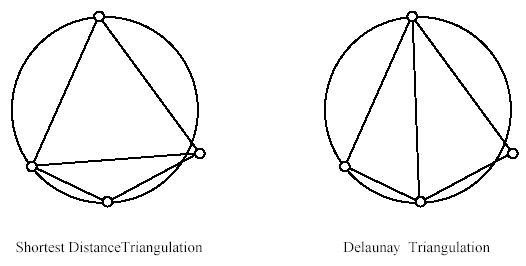
شكل شماره: مثلث بندي به روش Radial sweep

##### روشGreedy

اساس اين روش بر مبنای مينيمم كردن طول يالهاي مثلث ها مي باشد. مثلث های حاصل شده از اين روش معمولا مشابه مثلهای دلونی و بعضا کاملا منطبق بر آن می باشند. مراحل کار به این شرح است:

1. اولين نقطه به نزديکترين نقطه همسایه متصل مي شود
2. نقطه جدید نیز به نزدیکترین نقطه متصل می شوداين کار تا جايي ادامه مي يابد که هيچ نقطه ای بدون اتصال به نقاط ديگر باقي نمانده باشد. شرط اصلی در اینجا آنست که هيچ خطی، نبايد خطوط رسم شده قبلی را قطع کند.
3. حاصل مرحله بالا یک مثلث بندی است که لازم است شکل آن بهینه شود
4. مشابه با عملیاتی که در روش radial sweep ذکر شد (بند 4 بالا) مثلث ها اصلاح می شوند به گونه ای که اضلاع آنها کوتاهترین اضلاع ممکن باشند (شکل زیر).

.



شكل: بهینه سازی مثلث ها از طریق انتخاب یالهای کوتاه تر

### روش های انترپولاسیون

درونيابي یا انترپولاسیون مدلی ریاضی است که با استفاده از آن پیوستگی سطح مدل رقومی زمین ایجاد می شود. در واقع بوسيله درونيابي، ارتفاع (z) در نقاط برداشت نشده بين نقاط نمونه تخمين زده مي شود. در چندين مورد ديگر نيز نياز به درونيابي احساس مي شود. يکي آنکه قدرت تفکيک مورد نظر با قدرت تفکيک فعلي برابر نباشد. ديگر آنکه مدل به کار برده شده برای تهيه DTM با مدل دلخواه يکسان نباشد و لازم باشد که مدلها به هم تبديل شوند. مثلا در تبديل مدل شبکه ای (grid) به TIN و بر عکس. هم چنين در صورتيکه ارتفاع نقاط در خارج از محدوده نقاط نمونه، مورد نظر باشد، که البته در واقع عمل برونيابي (extrapolation) انجام مي شود.

دقت نقاط برداشت شده، پراکندگي نقاط و توزيع آنها، تراکم و چگالي نقاط و توانايي مدل انتر پولاسيون دقت DTM نهايي را مشخص مي کند . لذا انتخاب مدل بايد بر مبنای دقت، سرعت و قدرت نمايش عوارض خاص يا تشخيص مناسب آنها صورت گيرد. علی ای حال، باید توجه داشت در هيچ گاه نمی توان يک مدل خاص را به عنوان تنها مدل بهينه معرفی نمودچرا که هر مدل در شرايط مختلف می تواند منجر به دستیابی به دقتهای متفاوتي باشد.

مدل انترپولاسیون را می توان به گونه ای تعیین کرد که از تمامی نقاط نمونه بگذرد (exact) و یا اینکه به آنها برازش داده شود (inexact). مدلهای درونيابي بر مبنای پوشش منطقه ای به دو دسته سراسري (global) و محلي (local) تقسيم مي شوند.

#### روش های انترپولاسیون Global

در اين روش از همه نقاط نمونه استفاده مي شود تا يک فرمول يا چند جمله اي واحد برای تخمين ارتفاع در تمام نقاط مدل توليد شود. يکي از مهمترين اين روشها روش (TSA) Trend Surface Analysis است. در اين روش هدف تعيين ارتفاعات کل منطقه با يک چند جمله اي به فرم z = f(x,y) است. ضرايب اين چند جمله ای از طريق روش کمترين مربعات به دست مي آيد.

در اين روش فرض بر آن است که سطوح را مي توان به صورت ترکيبي از يک سطح (Trend)و يک سطح باقيمانده (residual) نمايش داد. به عنوان مثال برای يک سطح درجه يک داريم:



که در آن چند جمله ای  چند جمله اي Trend و e(x,y) مقدار باقيمانده است. در اين روش تلاش مي شود که Trend به اندازه ای به زمين منطبق شود که مقدار مجموع مربعات باقيمانده ها حداقل شود.

برای معادلات درجه يک معادلات به شکل اند:







که در آنها n تعداد نقاط نمونه و z مقدار ارتفاع برداشت شده است. با سه معادله حاصل شده، سه مجهول يعني ضرايب معادله قابل محاسبه هستند. برای معادلات درجه بالاتر شکل کلي معادله به صورت زير خواهد بود که با عنوان Global Polynomials شناخته مي شوند.



برای حل معادلات و به دست آوردن ضرايب بايد به تعداد کافي نقطه برداشت شده باشد. فاصله بين نقاط بايد مناسب باشد و نقاط به خوبي پراکنده شده باشند.در عمل باید ترم های چند جمله ای مشخص شوند یعنی باید معلوم شود که چند جمله ای از چه درجه ای است و چه ترم هایی در آن باید مورد استفاده قرار گیرند تا انترپلاسیون نقاط با بهترین دقت انجام شود. در ابتدا نقاط نمونه به دو دسته تقسيم می شود. دسته اول نقاط کنترل اندکه با استفاده از آنها ضرايب چند جمله ای محاسبه می شود. دسته دوم نقاط چک می باشندکه از آنها به منظور ارزيابی دقت مدل استفاده می گردد.پس از آن، در ابتدا ضرایب يک چند جمله ای از درجه 1، شامل سه ترم اول چند جمله ای با استفاده ازنقاط کنترل محاسبه می گردد. سپس با استفاده از نقاط چک دقت حاصل از اين ضرايب مورد محاسبه قرارمی گيرد. در مرحله بعد يک ترم به ترم های چند جمله ای اضافه می مي شود و دوباره مقدار ضرايب برای اين چند جمله ای جديد، با استفاده از نقاط کنترل محاسبه شده و سپس مقدار RMSE با استفاده از نقاط چک برای اين چند جمله ای نیز تعيين می شود. مقدار RMSE حاصل شده از اين مرحله با مقدار مربوط به مرحله قبل مقايسه قرار مي گيرد. در صورتی که مقدار RMSE جديد از مقدار قبلی آن کمتر باشد، مشخص مي شود که دقت چند جمله ای با اضافه شدن اين ترم نسبت به حالت قبل بهتر شده است. بنابراين اضافه نمودن ترم ها ادامه می يابد. در غير اين صورت، يعنی در حالتی که RMSE موجود نسبت به RMSE قبلی بيشتر شده باشد، ترم اضافه شده به جای حذف خطا خود منجر به افزایش خطا شده است. بنابراين لازم است اين جمله از چند جمله ای حذف شود. در این صورت چند جمله ای مرحله قبل نهایی بوده و از آن برای محاسبه مقدار تابع در نقاط مجهول استفاده می گردد. فلوچارتی که در شکل زیر مشاهده می شود، روش معمول استفاده از Global Polynomials را به صورت کلی نمايش می دهد.

چنانچه مدل برای چند منطقه که دارای مرز مشترک می باشند تعريف شود، برای هر منطقه يک مدل تعريف مي شود به گونه ای که در مرزها گسستگي ایجاد نشود. برای این منظور، بهتر است از مرزهای fuzzy يا buffering استفاده شود. در اين راستا در اطراف مرز بخشی از نقاط که تشکیل یک محدوده را می دهند در نظر گرفته مي شود و نقاط اين محدوده در تعين معادلات هر دو مدل شرکت مي کنند.

روش TSA در مواردی که دقت زيادي مورد نظر نمي باشد مثل فاز های اوليه حجم عمليات خاکی و مسير مورد استفاده قرار مي گيرد. در اين روش چون با يک فرمول يک مدل واحد حاصل مي شود، سرعت تعيين z بالاست و محاسبات معادلات با درجه پايين زمان کمي ميگيرد. در واقع ساده بودن مدل و برنامه پذير بودن از مزايای اين روش مي باشند. اين روش برای داده هايي که از خاصيت آماری برخوردار مي باشند مناسب است. اما در عمل داده ها معمولا ماهيت آماري ندارند يعني به هم وابسته نيستند بلکه مانند شکل زمين ماهيت اتفاقي دارند و اين مدل نمی تواند اين تغييرات محلي را به خوبي نمايش دهد. يکي از ديگر مشکلات آين روش آن است که مدلهای درجه بالا تعريف و توجيه فيزيکي ندارند و unstable هستند. هم چنين اين مدلها در مواقعي که به برونيابي (extrapolation) نياز است دچار مشکل مي شوند و به علت نداشتن توپولوژي، فقط آناليز های ساده را پشتيباني مي کنند.

عيب اين روش آن است که نسبت به روش معمول روش پيچيده تری است و در نتيجه استفاده از آن تنها در مواردی پيشنهاد می شود که دقت بالاتری مد نظر باشد. همينطور سرعت اين روش از روش قبل کمتر است.

Start



Polynomial Coefficients

Determination Using Control Points

RMSE Computation

Using

Check Points

RMSE(i) < RMSE(i-1)

Add the next term to

Z = f(X,Y)

Eliminate the last term

End

Yes

No

شکل شماره: عمليات معمول در استفاده از Global Polynomials درتوليد مدلDTM

#### روش های Local

در اين روش مدل بر اساس نقاط همسايه برازش داده شده و توليد مي شود. در روش TSA به توپولوژی يا همسايگي نقاط توجهي نمي شود اما در اين روش پنجرهايی در اطراف نقطه مورد نظر تعريف مي شود و نقاطي که در آن منطقه قرار مي گيرند در برازش مدل مربوطه شرکت مي کنند. بنابراین همان طور که قبلا نیز اشاره شد، پیش از استفاده از این مدل ها باید توپولوژی بین نقاط تعیین شده باشد.

تعریف مدل های محلی تحت تاثیرمسائل مختلفی است که عبارتند از:

اندازه، شکل و جهت محدوده ای که همسايگي نقاط را مشخص مي کند.

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

پراکندگي و توزيع نقاط (منظم يا نامنظم)

نوع و درجه مدل (صفحه، صفحه خميده و . . .)

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

روشهای انترپولاسیون محلی با توجه به نوع توپولوژی به کار رفته تقسیم بندی می شوند که در ادامه مورد بحث و بررسی قرار می گیرند.

##### روشهای انترپولاسیون مبتنی بر TIN

روشهایی که در این بخش قرار دارند عبارتند از Linear، Second Exact Fit و Quintic Linear

در اين روش برای به دست اوردن ارتفاع نقطه ای مثل p از ارتفاع های رئوس مثلثي که نقطه p در آن واقع است استفاده مي شود. اين کار به دو روش برداری و ماتريسي قابل انجام است.

روش برداری: با نوشتن معادله صفحه به صورت زير تنها يک مجهول *Z*p موجود مي باشد که قابل محاسبه است.



روش ماتريسي: به صورت برازش يک چند جمله ای عمل مي کند مثلا:



که ضرايب a مجهولات هستند و با استفاده از معادلات و مشاهدات محاسبه مي شوند. سپس با استفاده از معادله زير مي توان ارتفاع نقطه p را به دست آورد.



اين روش منجر به توليد يک سطح پيوسته مي شود که البته اين سطح نرم (smooth) نيست يعني بردار عمود بر سطح ممکن است تغييرات ناگهاني داشته باشد.

Second Exact Fit

در اين روش سطح از درجه دو انتخاب مي شود. در اين سطح، نقاط سه مثلث جانبي مورد استفاده قرار مي گيرند و سطح بايد از 6 نقطه عبور کندپس معادله به صورت زير خواهد بود:



بدين ترتيب معاده 6 مجهول دارد و با داشتن 6 نقطه، 6 معادله حاصل مي شود. يعني با داشتن 6 معادله و 6 مجهول هيچ سرشکني صورت نمي گيرد.

در اين حالت مثلث ها کمي خميده هستند. نتيجه نهايي سطحي پيوسته است اما در نقاط مرزي ناصاف (دارای شکستگي) است.

Quintic

هدف اين روش آن است که سطح پيوسته و نرم باشد. يعني سطح در هنگام عبور از مرز به طور ناگهاني تغيير نکند. برای رسيدن به اين هدف از يک معادله درجه پنج به صورت زير استفاده مي شود:



در اين معادله 21 ضريب مجهول وجود دارد پس چند جمله ای را مي توان به صورت زير نوشت:



برای حصول نرمي روی مرزها بايد از مشتق های درجه اول و دوم معادله استفاده شود. يعني مقادير  ،  ،  ،  و  بايد محاسبه شوند.

در سمت راست معادله درجه پنج و معادلات حاصل از مشتق گيري از اين معادله مختصات نقاط نمونه جايگذاري مي شوند مقادير سمت چپ معادلات نيز با استفاده از فرمولهای گراديان و شيب و رفتار برداری سطح به دست مي آيد. به عنوان مثال اگر نقطه P نقطه مجهول و بردار های N بردار نرمال صفحات گذرنده از نقطه P و چهار نقطه مجاور آن باشند، با کمک بردارهای V که متصل کننده نقاط همسايه به نقطه P هستند، مي توان مقادير سمت چپ معادلات مشتق گيري شده را به دست آورد:

 ,  ,  , 

بردار نرمال برآيند به اين صورت به دست مي آيد: 

پس مقادير سمت چپ معادلات مشتق گيري بدين صورت به دست مي آيند:

 , 

 , 

از مجموعه اين معادلات ضرايب معادله قابل محاسبه است و نتيجه يک سطح نرم خواهد بود.

##### روش های مبتنی بر ساختار Grid

در این گروه می توان از روشهای نزدیکترین همسایه ((Nearest Neighbour، خطی (Linear)، Bilinear، Cubic Convolution و IDW نام برد.

* نزديکترين همسايه (Nearst Neighbour)

در اين روش از بين z های نقاط چهار گوشه خانه (cell) ای از شبکه که نقطه مجهول در آن قرار گرفته است، ارتفاع نزديکترين نقطه به نقطه مجهول نسبت داده مي شود

* خطی (Linear)

از آنجا که نقاط چهار گوشه cell شبکه ممکن است در يک صفحه قرار نگيرند مي توان آنها را در دو صفحه متقاطع در نظر گرفت، به صورتيکه فصل مشترک اين دو صفحه يکي از قطرهای cell شبکه باشد. پس ارتفاع نقطه مجهول در هر سوی اين فصل مشترک که قرار بگيرد با استفاده از معادله صفحه مربوط به آن سه نقطه محاسبه مي شود. برای دانستن آنکه نقطه مجهول (p) در کدام صفحه قرار مي گيرد از معادله زير استفاده مي شود، که در آن  و  فاصله بين نقاط شبکه هستند.

 و 

 if 

 if 

معادله مربوط به ارتفاع نقطه مجهول بدين صورت خواهد بود:



* Bilinear

در اين روش تنها از 4 نقطه cell شبکه استفاده مي شود و به شبکه های مجاور توجهي ندارد. مدل مورد استفاده معادله درجه دويي است که فقط تا جمله xy را در بر دارد. سطح حاصله پيوسته است ولي نرم نيست. معادله اين روش به صورت زير است:

 و 



* Cubic

در اين روش از 16 نقطه برای به دست آوردن ارتفاع نقطه مجهول استفاده مي شود. مدل مورد استفاده از درجه سه و ترکيب دو منحني درجه سه مي باشد. سطح حاصله در هر دو جهت x و y پيوسته و نرم خواهد بود. اين مدل بر خلاف مدلهای پيش inexact است يعني الزاما از نقاط نمونه عبور نمي کند و باقيمانده ها يا خطاهايي نسبت به نقاط نمونه وجود خواهد داشت. معادله به صورت زير است:



در اين 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 حقيقت وزن دهي نسبت به فاصله در هر بعد x و y انجام شده است.

وزن دهي بر حسب معکوس فاصله (IDW: Inverse Distance Weighting)

در اين روش به z نقاط مجاور به نسبت فاصله آنها از نقطه مجهول، وزني اعمال شده و در معادلات قرار مي گيرند. در حقيقت نوعي ميانگين گيري وزن دار صورت ميگيرد يعني: 

که p تواني است که نشان دهنده ميزان اهميت نقطه است و معمولا 2 در نظر گرفته مي شود و هر چه اين توان بيشتر در نظر گرفته شود تاثير نقاط نزديکتر بيشتر خواهد بود. d فاصله نقطه مجهول تا نقطه i ام مي باشد و ارتفاع نقطه مجهول نيز طبق رابطه زير محاسبه مي شود:



: و يا و  و 

که در اين معادله  وزن مربوط به نقطه i ام در تعيين ارتفاع نقطه مجهول است.

# منابع و روشهای جمع آوری نقاط نمونه

## مقدمه

هدف این بخش تشریح و بررسی روش هایی است که برای برداشت نقاط نمونه مورد استفاده قرار می گیرند. علاوه بر نقاط نمونه ممکن است که اطلاعاتی توصیفی در مورد ماهیت نقاط نیز برداشت شود. ثبت اینکه نقطه ای در مرز شکستگی، خط الراس یا خط القعر قرار دارد نمونه هایی از این اطلاعات است که با استفاده از آن دقت تعریف توپولوژی بین نقاط افزایش می یابد.

روشهای مختلفی را می توان برای اندازه گیری نقاط نمونه به کار گرفت که به طور خلاصه عبارتند از نقشه برداری زمینی، لیزر اسکنینگ، فتوگرامتری و سنجش از دور و رادار. انتخاب روش اندازه گیری نقاط نمونه تابع شرایط مختلفی است که عبارتند از:

* وسعت منطقه
* دقت نهايي و کيفيت مورد نظر
* تجهيزات و امکانات موجود
* نوع اطلاعاتي که بايد برداشت شود

هدف اساسي در موارد فوق برداشت نقاط نمونه باحداقل قيمت و حد اکثر دقت است. هر چه وسعت منطقه بيشتر باشد کاربرد روشهای زميني کمتر شده و روشهای فتوگرامتری بيشتر مورد استفاده قرار مي گيرند. چرا که اگر چه به طور کلی دقت روشهای نقشه برداری بيشتر است اما در وسعت زياد مقرون به صرفه نیستند.

در ادامه به بحث و بررسی روش های فوق پرداخته می شود. لازم به ذکر است هدف از این بخش تشریح روشها نیست بلکه عمدتا به نکات مربوط به به کارگیری روش ها برای نمونه برداری بسنده می شود.

## نقشه برداری

در اين روش نقاط به طور مستقيم برداشت مي شوند. اما از آنجا که هزينه و زمان مورد نياز برای اين روش زياد است، این تکنیک معمولا محدود به پروژه های خاصی است که در آنهاوسعت منطقه مورد نظر کم بوده و دقت درخواستی زیاد باشد. علاوه بر این، در مواردی که به کارگیری روشهای دیگر ممکن نباشد(مثل تهیه مدل رقومی زمین در مکان های سرپوشیده یا جنگل ها)، از نقشه برداری زمینی برای تکمیل اطلاعات یا افزایش دقت استفاده می شود. در روش نقشه برداری، نمونه برداری به صورت انتخابي انجام مي شود و به طور مستقيم x ، y و z نقاط اندازه گیری می شوند. تعداد و موقعيت نقاط توسط اپراتور کنترل می گردد.

## فتوگرامتری

جمع آوری داده های فتوگرامتری بر اساس تفسير سه بعدی عکسهای هوايي است. در اين روش که بيشتر در مساحت های بالا استفاده مي شود با استفاده از عکس، مختصات نقاط به دست مي آيد. دقت اين روش از روش نقشه برداری پايين تر است اما سريعتر انجام مي شود. برای این منظور به شکل های مختلفی می توان عمل نمود. در نوع ساده آن، پس از انجام توجیهات (داخلی، نسبی و مطلق)، اپراتور با قرار دادن فلوتینگ مارک بر روی سطح زمین و حرکت آن در ارتفاعات مختلف نسبت به برداشت نقاط اقدام می نماید. راه دیگر تقسیم بندی سطح عکس یا تصویر به یک شبکه منظم و برداشت نقاط رووس شبکه می باشد. در صورتی که از تصاویر دیجیتال استفاده شود امکان بهره گیری از تکنیک های اتوماتیک در فتوگرامتری فراهم می شود. این تکنیک ها از الگوریتم هایی بهره گیری می کنند که قادر اند بخش هایی از پروسه فتوگرامتری را اتوماتیک نمایند.

اساسی ترین الگوریتم در فتوگرامتری رقومی، stereo matching است که هدف آن تناظر یابی اتوماتیک نقاط بین تصاویر می باشد. در حقیقت، هدف stereo matching جایگزینی تناظر یابی دستی است که توسط اپراتور و از طریق قرار دادن فلوتینگ مارک بر روی زمین صورت می گیرد. در صورتی که بتوان با استفاده از چنین الگوریتم هایی نقاط متناظر بین دو تصویر را پیدا کرد علاوه بر اینکه می توان توجیه داخلی و نسبی را به صورت اتوماتیک انجام داد، می توان برداشت نقاط DTM را که زمان بر ترین بخش پروسه تهیه نقشه های توپوگرافی است را نیز به صورت اتوماتیک انجام داد.

نظر به اهمیت و نقش stereo matching در تولید اتوماتیک DTM در ادامه این روش تشریح و مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

### Stereo Matching

stereo matching در واقع يافتن پيکسل ها يا نقاط متناظر در دو تصوير رقومی توسط کامپیوتر می باشد. در انجام اين عمل ابتدا مساله matching entity يعني نقطه ای که بايد نقطه متناظرش در عکس بعدي پيدا شود، در نظر گرفته مي شود. سپس conjugate entity يعني نقطه متناظر در عکس بعدي جستجو و مشخص مي شود. پس از آن مختصات نقطه محاسبه شده و در آخر کيفيت تناظر يابي، کنترل و ارزيابي مي شود.

تا کنون الگوریتم های مختلفی برای stereo matching ارائه شده است که روشهای Area-Based، Feature-Based و روشهای تلفیقی در زمره این الگوریتم ها قرار دارند. یکی از پایه ای ترین روشها که در بسیاری از سیبستم های دیجیتال فتوگرامتری مورد استفاده قرار گرفته است روش Cross-Corellation می باشد که نظر به اهمیت در ادامه تشریح می شود.

#### روش Cross Corellation:

روش Cross-Correlation که جزء دسته روشهای Area Based است که از مبنایی ساده برخوردار بوده و در اکثر سیستم های دیجیتال فتوگرامتری به کار می رود. روال کار در این روش به این صورت است که در ابتدا در تصویر اول محدوده ای به نام template انتخاب مي شود که به آن پنجره master نيز مي گويند. در عکس دوم محدوده اي به نام پنجره جستجو (search window) باتوجه به بعضي معيارها یی مثل باز متوسط، ارتفاع متوسط منطقه، مقادير به دست آمده از توجيهات نسبي و مطلق و شکل منطقه انتخاب مي شود. پنجره جستجو معمولا بزرگتر از template است، البته هر چه ابعاد آن کوچکتر باشد سرعت پردازش های مچینگ افزایش می یابد. بهترين روش براي کاهش ابعاد محدوده جستجو، استفاده از خطوط اپي پولار است. از آنجا که عارضه نظير در عكس دوم در راستاي خطوط اپي پولار قرار گرفته،Search Window به مناطق اطراف خطوط اپي پولار محدود مي شود. بايد توجه داشت كه چون پارالاكس در راستاي محور X ، در نتيجه تغييرات ارتفاعي زمين مي باشد لذا طول پنجره جستجو بيشتر از عرض آن در نظر گرفته مي شود.

در فضای جستجو، پنجره کوچکتری به ابعاد template حرکت مي کند. معمولا ابعاد اين پنجره کوچک 5 پيکسل در 5 پيکسل است و به صورت پيکسل به پيکسل حرکت مي کند. به کمک يک معيار تناظر يابي (similarity entity) میزان شباهت این پنجره با template انتخاب شده مقايسه مي شود. خروجي اين مقايسه معمولا عددی است بین 1 ( یعنی تناظر کامل) و 0 (یعنی عدم تناظرقطعی).

در حالت ایده ال یعنی وقتی که تصاویر در شرایط مکانی و زمانی نزدیک به هم گرفته شده اند، روش فوق به خوبی جواب می دهد. با این حال عواملی که منجر به تفاوت تصاویر در محدوده پوشش بشوند، می توانند موجب کاهش دقت تناظر یابی گردند. اهم این عوامل عبارتند از:

تفاوت مقياس (scale differences): به دليل تغيير در ارتفاع پرواز دو عکس مجاور اندازه عوارض و تعداد پيکسل هايي که اشغال مي کنند در دوعکس متفاوت مي شود.

تغيير در مقدار يا رنگ: تغيير در ارتفاع نه تنها از لحاظ موقعيتي بلکه از لحاظ عدد خاکستري (gray level) در عکسهای مجاور تفاوت ايجاد مي کند.

کوتاه شدگي عوارض (foreshortening): به علت مايل بودن و شيب سطوح مختلف زمين، ابعاد اشيا در عکسها متفاوت ظاهر مي شوند.

محدوده های غير قابل ديد (occlussion): ممکن است به علت تغييرات ارتفاعي محدوده ای که در عکس اول ظاهر شده است در عکس دوم غير قابل ديد باشد.

البته تا کنون تکنیک های متعددی برای غلبه بر محدودیت های فوق ارائه شده است که در کتابهای فتوگرامتری رقومی به تفصیل به آنها اشاره شده است.

تولید مدل رقومی زمین معمولا پس از انجام توجیهات و به صورت اتوماتیک صورت می گیرد. برای این منظور محدوده تصویر اول به یک شبکه منظم با فاصله مناسب تقسیم بندی می شود و مختصات x,y رووس شبکه در این تصویر ثبت می شوند. پس از آن با استفاده از استریو مچینگ، نقاط متناظر در تصویر دیگر ، و بالتبع مختصات تصویری آنها یعنی x’,y’ تعیین می گردند. با داشتن این مقادیر و به کمک معادلات شرط هم خطی یا هم صفحه ای مختصات نقاط محاسبه می گردد. این مختصات سه بعدی و در فضای مدل می باشند که با استفاده از المان های توجیه مطلق مقدیر زمین آنها به دست می آید.

## Laser Scanning

لیزر اسکنرها جزء تکنولوژی های نوین می باشند که به دلیل مزایای متعدد آنها کاربرد بسیاری در تهیه مدلهای رقومی پیدا کرده اند. لیزر اسکنرها را می توان جزء روش های نقشه برداری بدون تماس دانست که بدون استفاده از رفلکتور قابلیت برداشت دسته ای هزارن نقطه را در مدت بسیار کوتاه دارا می باشند. از محصولات این لیزر اسکنرها می­توان نقشه­های توپوگرافی زمین و مدل­های سه بعدی شهری را نام برد.

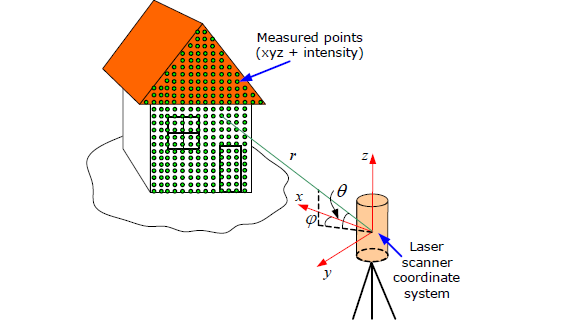
یک لیزر اسکنر سيستم ليزری در واقع شامل يک ديود ساطع کننده پرتو می باشدکه می تواند دسته ای از اشعه ها را در يک یا چند فرکانس خاص توليد و در جهات مشخص ارسال نماید. پالس های منعکس شده توسط دستگاه دريافت شده و بااستفاده از زمان رفت وبرگشت وسرعت سيگنال، فاصله نقاط تا دستگاه بدست می آيد. با داشتن زوایای ارسال سیگنال هر پرتو و فاصله آن تا اسکنر، مختصات نقطه مربوطه به صورت سه بعدی محاسبه می گردد. اکثر اسکنرهای امروزی قادر به اندازه گیری فاصله تا حد چندین 100 متر می باشند و دقت آن ها از چند میلیمتر تا چند ده سانتیمتر در نوسان می باشد.

لیزر اسکنرها به دو دسته ليزر اسكنرهاي ليزر اسكنرهاي زمینی و هوایی یا لیدار طبقه‌بندی می گردند. به طور کلی اساس اندازه‌گیری در هر دو گروه از لیزر اسکنرها نسبتا مشابه است و تفاوت اصلی در برد و دقت جهت جمع‌آوري داده‌ها می باشد. لیزر اسکنرهای زمینی(Terrestiral Laser Scanners; TLS) از نظر اصول اندازه­گیری خیلی شبیه به لیزر اسکنرهای هوایی هستند. اصلی ترین تفاوت آن ها در مقیاس مدل نهایی و جزئیات برداشتی می­باشد. این دسته از لیزر اسکنرها در تهیه نقشه­های توپوگرافی و تهیه مدل سه بعدی سایت­های تاریخی و صنعتی مورد استفاده قرار می­گیرند. شکل(2-6)نمونه ای از d; لیزر اسکنر زميني را نمایش میدهد.



شکل:نمونه ای از لیزر اسکنر های زمینی

عملکرد لیزر اسکنر های زمینی شبیه به توتال استیشن ها می باشد و از فاصله تا عارضه یا Range، زاویه افقی() و زاويه قائم () برای تعیین مختصات سه بعدی نقاط زمینی استفاده می کنند. شکل زیر نحوه برداشت مختصات در یک لیزر اسکنر زمینی را نشان میدهد.





كه در آن  فاصله و جهت افقي و زاويه قائم نقطه در ابر نقاط و z,y,x مختصات كارتزين نقطه در سيستم مختصات اسكنر هستند.

لیزر اسکنرهای هوایی در تهیه DTM و DSM در مقیاس­های متوسط یا کوچک در مناطقی با وسعت بالا کاربرد دارند. این سیستم­ها معمولاً روی هواپیما یا هلیکوپتر نصب می­گردند و به منظور توجیه ابر نقاط برداشت شده در یک سیستم مختصات مرجع، موقعیت و وضعیت هواپیما توسط سیستم­های [[1]](#footnote-1)GPS و INS [[2]](#footnote-2) که با استحکام بالایی نسبت به یکدیگر کالیبره شده­اند، مشخص می­گردد. شکل(2-5) نمونه ای از یک لیزر اسکنر هوایی را نمایش می دهد.



شکل2-5:نمونه ای از لیزر اسکنر های هوایی Riegl

تراکم نقاط برداشت شده (ابر نقاط) توسط لیزر اسکنرها معمولا به قدری بالا است که در محيطي مثل AutoCAD نمايش داده مي شوند به نظر مي رسد که سطح باز سازي شده است. از مزایای این سیستم ها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

سرعت بالا: محیطهای پیچیده سه بعدی نسبت به سایر تکنیک های متداول امروزی با سرعت فوق العاده بالایی جمع آوری می شوند.

دقت بالا: دقت این دستگاه های می تواند مخصوصا در فواصل نزدیک (لیزر اسکنر های زمینی) در حد چند میلیمتر باشد. دقت معمول برداشت نقاط توسط اسکنرهای هوایی بین 10 تا 20 سانتیمتر می باشد

امکان آرشیو کردن : با توجه به سرعت بالای برداشت، داده های لیزر اسکنر را می توان به صورت آرشیو مورد استفاده قرار داد.

از آنجایی که روش لیزر اسکنینگ همانند فتوگرامتری بدون تماس است بعضا با آن مقایسه می شود. در این راستا باید گفت که معمولا فتوگرامتری در مناطق کم عارضه مثل ساحل دريا دچار مشکل مي شوند ولي ليزر اسکن توانايي برداشت در اين مناطق را نيز دارد. هم چنين از آنجا که ليزر از عوارضي مثل برگ درختان نيز عبور مي کند در مناطقي که فتوگرامتري قابل انجام نيست، مورد استفاده قرار مي گيرد. با این حال، داده های لیزر اسکنر از مشکلاتی رنج می برند که عمدتا عبارتند از:

* هزینه بالای تکنولوژی: البته در مقایسه با فتوگرامتری هوایی هزینه های لیدار شاید کمتر هم باشد اما در هر صورت نیاز به هواپیما و دستگاه لیدار هزینه هایی را تحمیل می کند که تامین آنها صرفا از شرکتها و سازمان های بزرگ بر می آید.
* مشکل ذخیره سازی و زمان زیاد مورد نیاز برای پردازش نقاط
* عدم توجه به ساختار عارضه و برداشت نقاط بعضا کاملا غیر ضروری همانند غبار معلق در هوا یا قطرات آب، کابل برق و امثال آن
* دشواری تشخیص لبه ها در ابر نقاط

امروزه استفاده تلفيقی ازسيستم LIDAR و فتوگرامتری روش بسيار موثری در تهيه DTM بشمار می آيد که اين استفاده توام نقصهای سيسستم را پوشش داده ودقت مناسبی راارائه می دهد

علاوه بر این عوامل متعددی بر دقت لیزر اسکنر و نقاط برداشتی اثر می گذارند که در ضمیمه به آنها به اختصار اشاره شده است.

### تهیه DTM با استفاده از لیزر

مراحل کلی تهیه مدل ارتفاعی بوسیله لیزر اسکنیگ به شرح زیر می باشد:

جمع آوری داده ها: این عمل در لیزر اسکنرها به صورت کاملا اتوماتیک انجام می گیرد یعنی در هر باراندازه گیری دستگاه، پرتوهای لیزر را به سطح عارضه تابانده و با استفاده از اطلاعات برگشتی مختصات نقاط تعیین می شوند.

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 لیز 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 [[3]](#footnote-3)فیلترکردن داده های خام استفاده می شود یعنی با تعریف یک حد آستانه برای مقادیر شدت این مشکل برطرف می شود. مشکل دیگر واگرا بودن جهت انتشار اشعه لیزر می باشد .یعنی در اندازه گیری ها اشعه لیزر مستقیما 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 جهت اسکنر و 8 نقطه همسایه مورد تست و ارزیابی قرار میگیرد اگر از مقدار معینی بیشتر بود نقطه از مشاهدات حذف می شود. در نهایت از این نقاط به دست آمده می توان در سایز زمینه ها از جمله تهیه DTM از منطقه استفاده کرد.

تهیه :DTM در تهیه DTM نیز در این روش ابر نقاط استفاده می شود .چون نقاط طبقه بندی نشده اند باید از بین این نقاط یک مجموعه نقاط را انتخاب کنیم.باید توجه داشته باشیم که این نقاط انتخابی باید حتما روی سطح زمین باشند (نقاط کنترل). بدین منظور روی سطح نمونه یک شبکه افقی در نظر گرفته می شود. در هر سلول شبکه مختصاتی که کمترین مقدار Z را داشته باشد انتخاب می شود. و به عنوان نقطه کنترل اولیه مشخص می شود. اما تمامی نقاط شبکه دارای نقاط اسکن روی سطح زمین نیستند مثلا در مناطق جنگلی نقاطی که زیر درختان یا سایه آنها قرار دارند بدون نقاط اسکن می باشند یا نقاط اسکنی که شامل نقاط زمینی نمی باشند. این مشکل مختص مناطق جنگلی نمی باشد بلکه در مناطقا تپه مانند و کوهستانی به چشم می خورد ،تراکم و شدت نقاط اسکن شده در بالای تپه نسبت به نقاط اسکن شده در پایین تپه و نقاطی که روی شیب قرار گرفته اند کمتر است. پس در مناطق با شیب متغیر برای زمین در این راستا مانع محسوب می شوند. در این جا برای تشخیص نقاط روی سطح زمین از فیلترهای متعددی در این راستا استفاده می شود. پس از انتخاب این نقاط زمینی با استفاده از روش مثلث بندی دلونی روی این نقاط TIN زده می شود و در نهایت مدل رقومی منطقه تشکیل می شود.

## استفاده از نقشه های موجود

در بسياري از کاربرد ها مثل فاز مطالعات اولیه پروژه های مسير يا تعيين تقريبي حجم عمليات خاکي عمدتا سرعت تهيه DTM برای کاربران مهم است تا دقت آن. در چنين مواقعي از نقشه های توپوگرافي کوچک یا متوسط مقياس موجود آنالوگ نیز می توان استفاده نمود. با این حال، برای استفاده از نقشه های کاغذي موجود لازم است عمليات رقومي سازي نقشه ها صورت بگيرد. در این راستا، به طرقی که در ادامه این بخش توضیح داده می شود مختصات مسطحاتی نقاط منحنی های میزان برداشت شده و به همراه z مربوطه (همان ارتفاع منحنی میزان) مجموعه نقاط نمونه منطقه مورد نظر را تشکیل می دهند.

نحوه برداشت نقاط منحنی میزان ممکن است به صورت دستي، اتوماتيک يا نيمه اتوماتيک باشد. در روش دستي نمونه برداری به صورت انتخابي، در روش اتوماتيک به صورت خودکار و توسط کامپیوتر و در روش نيمه اتوماتيک ترکيبي از اين دو است. در روش رقومي سازي دستي برداشت نقاط توسط اپراتور انجام مي شود. برای این منظور نقشه بر روی سطح یک دیجیتایزر قرار گرفته و نقاط منحنی میزان ها یک به یک برداشت می شوند. برداشت نقاط به دو صورت امکان پذیر است: باشد: polyline mode یا stream mode. در حالت اول نقاط یه صورت منفرد و یک به یک با انتخاب اپراتور برداشت می شوند حال آنکه در روش دوم نقاط به صورت اتوماتیک در فواصل زمانی یا مکانی مشخص ثبت می شوند.

دیجیتایزر دارای یک صفحه مغناطیسی است که با حرکت یک موس بر روی آن امکان اندازه گیری مختصات در صفحه دیجیتایزر را فراهم می سازد. در عمل، پس از قرار دادن نقشه بر روی صفحه فوق، به کمک چند نقطه کنترل سیستم مختصات نقشه و دیجیتایزر به هم رجیستر می شوند. در نتیجه نقاط برداشتی در سیستم مختصات زمینی اندازه گیری می شوند ضمن آنکه اپراتور ارتفاع منحنی ها را نیز به سیستم معرفی می کند. خروجی کار مجموعه ای از نقاط دارای مختصات x,y,z می باشد.امروزه به جای استفاده از دیجیتایزر می توان نقشه ها را اسکن و عمل دیجیتایزینگ را به صورت onscreen یعنی بر روی صفحه مانیتور کامپیوتر و توسط موس طی پروسه ای مشابه انجام داد

برداشت نقاط منحنی های های موجود می تواند به صورت اتوماتیک و توسط مجموعه ای از الگوریتم ها نیز انجام شود. در این حالت تشخیص منحنی، برداشت نقاط آن و اختصاص z به نقاط برداشت شده همگی توسط کامپیوتر انجام می شود. این درحالی است که در رقومي سازي نيمه اتوماتيک هم چنان اوپراتور حضور دارد و نقاط برداشت شده را کنترل مي کند. معمولا اوپراتور ابتدا و انتهای منحنی و ارتفاع آن و در بعضی موارد نوع عارضه را مشخص مي کند و نرم افزار وظیفه برداشت نقاط به صورت اتوماتیک را به عهده دارد.

در روش اتوماتيک هدف آنست که تمامی مراحل کار توسط کامپیوتر انجام شود. در این جا ذکر دو موضوع لازم است. اول آنکه برای اتوماتیک سازی پروسه نقشه ها باید اسکن شوند که طبیعتا با توجه به وجود خطاهای اسکنر، علاوه بر خطای نقشه خطای فوق باید مورد توجه و تحلیل قرار گیرد. موضوع دوم نحوه برداشت نقاط است. این دو موضوع در ادامه این بخش مورد مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

### اسکنر و خطاهای آن

همان طور که می دانیم خطای DTM استخراج شده از نقشه های موجود از دو منبع عمده سرچشمه می گیرد يکي خطای تهیه نقشه آنالوگ و دیگری خطای ناشی از اسکن نقشه. خطای نقشه اوليه شامل خطای روش تهيه نقشه ( نقشه برداری، فتوگرامتری و . . . ) به علاوه خطای ترسيم نقشه مي باشد. بحث و بررسی بر روی این خطا در بخش های مربوطه انجام شده است. خطایی که معمولا متاسفانه توسط برخی کاربران فراموش می شود خطای ناشی از اسکن نقشه می باشد. این خطا ناشی از عوامل متعددی است که در پروسه اسکن نقش دارند. در یک راستا نبودن سنسورها و تفاوت ابعاد آنها و لرزش های دستگاه حین اسکن در زمره این موارد اند که باید شناسایی و مدلسازی شوند. روندی که در آن یک مدل مناسب برای مدل سازی خطاهای یک اسکنر تعیین می شود کالیبراسیون اسکنر گفته می شود. در ادامه در ابتدا به ساختار و انواع اسکنرها اشاره شده و پس از آن کالیبراسیون آنها تشریح می شود.

#### اسکنرها

اسكنرها جهت بازيافت اطلاعات ديجيتالي از تصاوير آنالوگ به كار مي‌روند. در کاربردهای فتوگرامتری و کارتوگرافی از اسکنرها به عنوان يک وسيله ورودی استفاده می شود و عموما برای اسکن کردن نقشه ها و عکسهای هوايي بکار می روند. هر چند که پيشرفتهای بزرگی در تهيه مستقيم داده های رقومی با استفاده از دوربينهاي هوايي ديجيتالي (استفاده از CCDهاي سطحي، خطي، سه‌خطي) در سالهای اخير رخ داده است ولی هنوز در بسياری از بخشهای فتوگرامتری از سيستمهای Filmbased استفاده می شود. زيرا جايگزيني رقومي فيلم‌هايي كه توسط دوربينهاي فتوگرامتري گرفته شده‌اند به علت فرمت، رزولوشن، خصوصيات طيفي فيلم و حجم زيادي كه اشغال مي‌كنند چندان كار راحتي نيست. امروزه نياز به داده‌هاي رقومي هوايي به منظور توليد تصاوير ارتوفتو، انجام مثلث بندی بصورت خودکار، توليد DTM و توليدات مشتق شده از آن بسيار بيشتر شده است. عمل اسكن كردن اولين مرحله پيدايش داده های رقومي است و احتمالاً بيشترين تاثير را در ايجاد اشکال در پردازش های فتوگرامتری رقومي داراست. متأسفانه بسياري از کاربران، همه اسكنرهاي را قبول دارند اما تجربه نشان مي‌دهد كه بسياري از اسكنرها مشكلات هندي و راديومتريكي بسياري دارند که بايد مورد بررسی قرار گيرند.

اسکنر ها از جنبه های مختلف به انواع متفاوتي تقسيم بندي مي شوند. از لحاظ ساختار کاری به دو دسته تخت يا مسطح (flatbed) و استوانه ای (drumbed) و از لحاظ دقت به دو دسته فتوگرامتري و غير فتوگرامتري (DeskTop Publishing-DTP) تقسيم مي شوند.

اسکنرهای فتوگرامتری: اسکنرهای فتوگرامتري دارای استحکام هندسي بالا و رزولوشنی حدود 5/2 تا 10 ميکرومتر مي باشند و دقت هندسي اين اسکنر ها 5 تا 7 ميکرومتر است. بر حسب قدرت تفکيک هندسي و هم چنين قدرت تفکیک راديومتريک کیفیت اسکنر ها متفاوت مي باشد. در اسکنرهای فتوگرامتری گاها كارهايي مانند اندازه‌گيري فيدوشال ماركها بصورت كاملاً اتوماتيك انجام می گردد (مانند 300 DSW و SCAI). اندازه‌گيري فيدوشال مارکهاا جزو ملزومات نرم ‌افزارهاي اسكنرها نيستند اين عمل مي‌تواند بعداً توسط نرم‌افزارهاي فتوگرامتري هم انجام شود. پارامترهايي مانند شدت نورپردازي و سرعت اسكن‌كردن و زمان نمايش مي‌توانند به راحتي انتخاب شوند كه البته بستگي به نوع سنسورهاي به كار گرفته شده دارد.

نيازمنديها برای اسکن عکسهای هوايی و نقشه ها متفاوت است. عکسهای رنگی چه بصورت رنگی و چه سياه و سفيد اسکن شوند نياز به اندازه 25×25 سانتيمتر دارند، رزولوشن حداقل DPI 1200-600 ، صحت هندسی µ m5-2 (برای کاربردهای با دقت بالا)، رزولوشن راديومتريکی 12-10 بيتی از ملزومات اسکن عکسهاست.در صورتی که نقشه ها به صورت سياه و سفيد و يا رنگی هستند. اين نقشه ها روی کاغذهای شفاف يا کاغذ معمولی و نيازمند اندازه های بزرگ مثلا" اندازه A1 هستند. برای اسکن نقشه ها رزولوشن حداقل DPI 1000-400، نياز است. صحت هندسی بايد بيشتر از صحت نقشه باشد که معمولا" 3/0-2/0ميليمتر است و بطور معمول با رزولوشن راديومتريکی 4-1 بيت اسکن می شوند (چون نقشه با 256 درجه خاکستری يا تمام رنگی نادر است).

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 نرم افزارهای خوب و ارزان قیمتی 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. کیفیت ورزولوشن رادیومتریکی و سرعت اسکن آنها گاهی اوقات بیشتر از اسکنرهای فتوگرامتر ی است. اسکنرهای DTP که قابلیت کنترل رزولوشن اتوماتیک ومنحنی 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 شودکه 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 صحت هندسی پایین آنها می باشد. خطاهای اسکنرهای DTP یا هندسی اند یا رادیومتریک. برخی خطاها به کیفیت و استحکام اسکنرها بستگی دارد مثلا" خطای تعیین موقعیت در یک اسکنر از یک اسکن به اسکن دیگر متفاوت است. در اسکنرهای DTP ممکن است خطای هندسی در امتداد چیدمان CCDها به طرف کناره ها بطور قابل ملاحظه ای افزایش یابد در حالیکه این خطا در طول اسکن کردن ممکن است به آهستگی افزایش یابد.

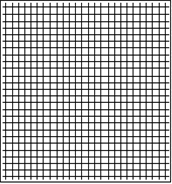
اگرچه در برخی کاربردها مثل اسکن نقشه ها ،اسکنرها حتی بدون کالیبراسیون صحت هندسی کافی را دارند ولی بهبود این موضوع محدوده کاربرد آنها را بسیار بیشتر می کند. در ادامه به نحوه اصلاح خطاهای که به آن کالیبراسیون اسکنرها گفته می شود پرداخته می­شود.

#### کالیبراسیون اسکنرها

همانطور که بيان شد کاليبراسیون هندسی با يک روش ساده برای انواع مختلف اسکنرها قابل انجام است و رسيدن به دقت حدود µm7-5 نيز برای آنها امکان پذير است. کالیبراسیون یک اسکنر در سه مرحله انجام مي شود: تشخيص ميزان خطا، تعیین ترانسفورماسيون لازم برای اصلاح خطا و اعمال ترانسفورماسيون به منظور حذف خطا و يا کاهش آن

تشخیص میزان خطا

معمولا برای انجام اين تست از یک صفحه شیشه ای شبکه ای کالیبره استفاده مي شود.



شکل: صفحات شبکه ای مورد استفاده برای تست هندسی

این صفحه که معمولا از آن برای کالیبراسیون دستگاه های تبدیل تحلیلی استفاده می شود یک شبکه 25×25 نقطه ای است که فاصله نقاط از هم يک سانتيمتر می باشد. برای تشخیص میزان خطای اسکنر این صفحه اسکن شده و بین مختصات تصویری نقاط ومختصات واقعی آنها ضرائب یک ترانسفورماسیون کانفورمال دو بعدی تعیین می شود. لازم به ذکر است که برای محاسبه ضرائب فوق نیمی از نقاط( کنترل) استفاده می شوند و نیم دیگر نقاط (چک) برای ارزیابی دقت ترانسفورماسیون به کار می روند. معمولا نقاط کنترل و چک به صورت یکی در میان در نظر گرفته می شوند.



پس از تعیین ضرائب ترانسفورماسیون، نقاط چک از مختصات واقعی به مختصات تصویر (یا بالعکس) تبدیل شده و باقیمانده خطا در هر نقطه از مقایسه مقدار محاسبه شده با مقدار واقعی آن به دست می آید. همان گونه که می دانیم، يک معادله کانفورمال خطاها را حذف نمي کند بلکه مقدار آنها را مشخص می کند. بنابر این انحراف معیار باقیمانده ها نشان دهنده میزان خطای اسکنر بوده و به آن total error گفته می شود. در صورتی که total error از مقدار مجاز بیشتر بود، لازم است تا مدلی برای تصحیح اسکنر توسعه یابد.

تشکيل ترانسفورماسيون لازم برای اصلاح خطا

در مرحله دوم بايد يک ترانسفورماسيون مناسب برای اصلاح خطا تشکيل شود. به طور کلی این ترانسفورماسیون یک چند جمله ای است که بار تعیین آن معمولا از يک چند جمله اي افاين شروع کرده و سپس با افزودن جملاتي به آن، چند جمله اي های متفاوتي حاصل مي شود. با امتحان نقاط چک در اين معادلات و به دست آوردن ميزان RMSE، ترم هايي که باعث کاهش محسوس در ميزان خطا مي شوند حفظ و بقيه حذف مي شوند و در نهايت يک ترانسفورماسيون باکمترين ميزان خطا به دست مي آيد.

اعمال ترانسفورماسيون به منظور حذف خطا و يا کاهش آن

در مرحله سوم هم می توان تصویر را تصحیح نمود و هم می توان مختصات قرائت شده تصویری را با استفاده را چند جمله ای به دست آمده اصلاح نمود. در هر صورت، محصول اين مرحله موقعيت صحيح پيکسل هاست

از آنجا که اسکنر ها در اثر گذشت زمان دچار خطاهايي مي شوند بايد همیشه قبل از استفاده کاليبره شوند. برای امتحان کاليبره بودن دستگاه در زمان اسکن نقشه ابتدا يک شبکه اسکن مي شود، پس از آن نقشه به همراه شبکه مورد اسکن قرار مي گيرد. در مرحله بعد مجددا شبکه اسکن مي شود و رفتار ترانسفورماسيون به دست آمده از شبکه اول با شبکه دوم مقايسه مي شود. در صورت مشابه بودن ترانسفورماسيون در هر دو سيستم مختصات، شبکه از لحاظ کاليبره بودن تاييد مي شود. در غیر این صورت لازم است استحکام اسکنر بررسی شود و در صورتی که از استحکام کافی برخوردار نبود با یک اسکنر دیگر جایگزین شود.

### برداشت اتوماتیک نقاط منحنی میزان

مراحل روش کارتوگرافيک اتوماتيک شامل موارد زير است:

1. حذف نويز (noise removal)
2. تشخيص و باينري کردن منحني ها (detection and binerization)
3. نازک سازي (skeletonization)
4. برداری کردن (vectorization)

#### حذف نويز

وجود نويز به دليل اسکن ضعيف و يا کيفيت پايين نقشه اوليه مي باشد. حذف نويز به وسيله تکنيک های smoothing انجام مي شود. در عمل Smoothing ابتدا عمل کشف نويز با استفاده از تکنيک های پردازش تصاوير و بررسي ناپيوستگي ها و تغييرات شديد در مفدار پيکسل ها انجام مي شود. معمولا با تعريف يک پنجره و بررسي مقادير پيکسل ها در آن پنجره نويز ها کشف مي شوند. پس از کشف نويز در تصاوير، عمل رفع نويز به چندين روش انجام مي شود:

* روش ميانه: در اين روش مفادير پيکسل هاي پنجره به ترتيب صعودي يا نزولي مرتب شده و عدد وسطي (ميانه) جايگزين مقدار نويز کشف شده مي شود.
* روش ميانگين: در اين روش ميانگين مقادير پيکسل های پنجره جايگزين مقدار نويز مي شوند.

در هر دو اين روشها خود مقدار نويز هم برای حفظ کنتراست وارد مي شود.

#### تشخيص و باينري کردن منحني ميزانها

محصول اين مرحله يک لايه رستري است که فقط شامل منحني ميزان هاست. برای تشخيص منحني ميزان ها از تکنيک پردازش تصاوير در edge detection استفاده مي شود. در تشخيص منحني ميزانها بايد به نکات زير توجه شود:

* منحني ميزانها عوارضي خطي هستند.
* رفتار منحني ميزانها مثل لبه (edge) هاست.
* رنگ منحني ميزانها متفاوت از رنگ زمينه است.
* هدف، پيدا کردن تغييرات ناگهاني به غير از نويز در تصوير است.

Edge detection به چندين روش انجام مي شود. به عنوان مثال مي توان از روش استفاده از پنجره های مشتق گيري مرتبه اول مثل فيلتر های sobel و canney نام برد که به کمک آنها تغييرات ناگهاني پيکسل ها بررسي مي شود. روش ديگر استفاده از مشتق دوم است که مثالي از آن فيلتر های مشتق دوم لاپلاسين مي باشد.

پس از انجام مرحله edge detection بايد مرحله باينري کردن صورت گيرد يعني کل پيکسل های تصوير به دو مقدار صفر و يک تبديل شوند. اين مرحله در صورتي امکان پذير است که تصوير نرم (smooth) شده باشد و کنتراست تصوير افزايش يافته باشد (enhancement) و منحني ها استخراج شده باشند.

يکي از روشهای باينري سازي استفاده از يک حد آستانه (threshold) به صورت زير است:

g(x,y)=255 if f(x,y)>T

g(x,y)=0 if f(x,y)<T

يعني با اين کار 256 رنگ به دو کلاس رنگ تبديل ميشوند. برای يافتن مقدار آستانه روشهای مختلفي وجود دارد:

روش دستي و انتخابی (interactive) که در آن خود کاربر مقدار T را تعيين مي کند و اکثر نرم افزارها اين امکان را در اختيار قرار ميدهند.

روش اتوماتيک که در آن به صورتهای زير عمل مي شود:

* با تقسيم حداکثر مقدار پيکسل بر عدد دو و انتخاب آن به عنوان T
* استفاده از ميانه مقادير پيکسلها به عنوان T
* استفاده از هيستوگرام و تعيين مقدار pick هيستوگرام و انتخاب نقداري نزديک به آن به عنوان T

#### نازک سازي

در تصوير باينري شده حاصل ممکن است خطوط به صورت عوارض سطحي يعني با عرض بيشتر از يک پيکسل ذخيره شده باشند و بايد عمل نازک سازي بر روی آنها انجام شود. اين مرحله توسط فيلترهايي که خروجي آنها عوارضي به ضخامت يک پيکسل است انجام مي شود. از جمله اين فيلترها مي توان فيلتر های کددار را نام برد.

#### برداری کردن

در اين مرحله علاوه بر تعقيب منحني ميزانها و تبديل آنها از حالت رستري به برداری در صورتيکه در منحني های حاصله ناپيوستگي وجود داشته باشد برطرف مي شود. در واقع عمل tracing يا contour following انجام مي شود. اين کار به صورت نيمه اتوماتيک و اتوماتيک قابل انجام است. در روش نيمه اتوماتيک اوپراتور نقطه شروع را مشخص مي کند و نرم افزار تا محلي که به قطع شدگي برسد منحني را تعقيب مي کند (cadoverlay) و اتصالها توسط اوپراتور برقرار مي شود. اما در روش اتوماتيک از الگوريتمي به نام ماتريسهای جهت ياب (directional matrix) استفاده مي شود. در اين الگوريتم پيکسل های مجاور در زواياي مختلف حول پيکسل مورد نظر مورد بررسي قرار مي گيرند و بسته به فاصله، نزديکترين پيکسل يا مقدار يک به عنوان امتداد دهنده منحني ميزان مورد نظر تعيين مي شود و ناپيوستگي منحني ميزان در اين فاصله برطرف مي شود. در اين روش که نرم افزار به طور اتوماتيک منحني ميزانها را تشخيص مي دهد. ممکن است در جاييکه منحني ها به هم نزديک مي شوند اشتباه رخ دهد و امتداد يک منحني ميزان به ديگري متصل شود.

مشروط نمود.

# تغيير و اصلاح DTM

تعییر و اصلاح یا Manipulation به معني ايجاد تغييرات و يا اصطلاحا دستکاری اطلاعات است. پس از تهيه DTM با دو هدف مي توان آنرا تغيير داد:

اصلاح (Refinement) برای بهبود کيفيت، مثل برطرف کردن خطاهای موجود در DTM

ايجاد تغييرات (Modification) مثل جسباندن دو DTM به يکديگر

موارد فوق به چهار شکل صورت مي گيرند که در زير توضيح داده مي شوند

## Editing

زماني از Edditing استفاده مي شود که لازم باشد توپولوژي DTM ويرايش شود. این کار شامل اضافه کردن (add) حدف کردن (delete) و تغيير دادن (move) نقاط مي باشد. در مدل شبکه ای اين ويرايش محدود به تغيير دادن ارتفاع نقاط شبکه مي باشد که کار آساني است اما در مدل TIN اضافه و کم کردن نقاط هم مطرح مي شود که خود باعث تغيير مدل مي شود. به عبارت دیگر، حذف يا افزودن يک نقطه به مدل TIN باعث به هم خوردن ارتباط مي شود و بايد شکل توپولوژي مدل تغيير کند. در صورتيکه اين عمل به صورت interactive انجام گيرد يعني نتيجه بلافاصله بعد از تغيير مشاهده شود يعني عمل editing به صورت بصری (visual) صورت گيرد، کار دقيقتر و راحت تر انجام مي شود.

## Filtering

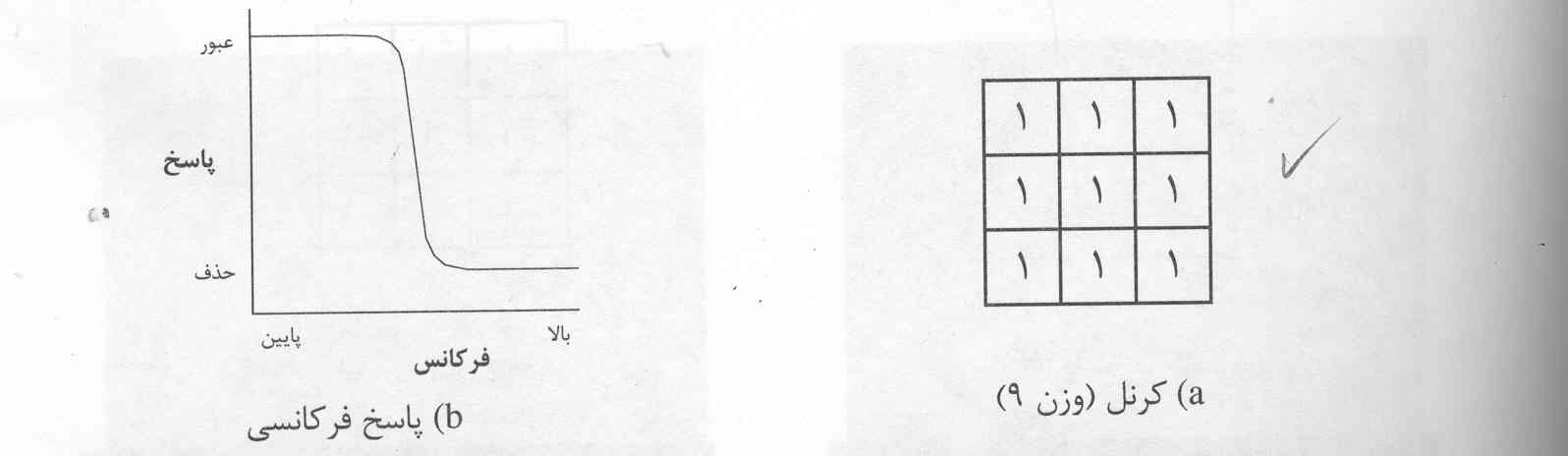
اهدافي که در filtering دنبال مي شوند عبارتند از:

smoothing

در اين حالت به منظور کمرنگ کردن نمايش تغييرات جزيي و لبه ها و يا حذف برخي خطاها و بررسی روند تغييرات سطح، فيلترهای پایین گذر(lowpass) برروی DTM اعمال مي شود. تاثير فيلتر نرم كننده (پايين گذر) حذف جزييات بوده و در واقع سطح DTM را نرم تر مي كند. فيلترهاي نرم كننده معمولا جهت حذف خطاها استفاده مي شوند. همچنين مي توان در عمل جنراليزاسيون از آنها استفاده نمود.

كرنل 3×3 زير يك فيلتر پايين گذر را نشان مي دهد. تمامي پيكسلها در همسايگي ورودي با نسبت يكسان، در پيكسل كانولوشن شده خروجي سهيم هستند. زيرا تمام عناصر كرنل مقادير 1 دارند. به عبارت ديگر مقدار پيكسل خروجي يك ميانگين ساده از پيكسلهاي ورودي است . شكل زير پاسخ فركانسي اين فيلتر را نشان مي دهد .همانطور كه مشاهده مي شود، مناطق داراي فركانس پايين بدون تغيير باقي مي مانند و مناطق داري فركانس بالا به همين صورت ميانگين گيري شده و باعث حذف تغييرات سريع مي شوند.

با اعمال اين فيلتر مي توان نويزهاي تصوير مانند تآثير دانه بندي عكس اسكن شده را از تصوير حذف كرد. البته اين عمل باعث از بين رفتن لبه هاي تيز مي شود.

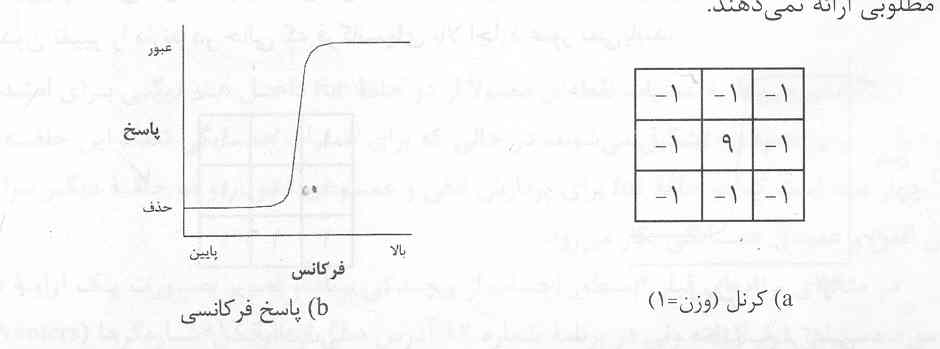


شكل

Enhancement

در اين حالت به منظور بارز سازي تغييرات جزيي و لبه ها، نمايش خطاها در يک جهت خاص مثلا نمايش تغييرات ارتفاعي با اغراق و در مقياس چند برابر از فيلتر بالاگذر (highpass) استفاده مي شود. فيلترهاي واضح ساز (بالاگذر) برعكس فیلتر های پایین گذر عمل مي كنند، يعني نقاط منفصل اهميت بيشتري دارند، در حاليكه شكلهاي نرم اهميت كمتري مي يابند.

كرنل زير يك فيلتر بالا گذر را نمايش مي دهد. عدد 9 در مركز كرنل نشان مي دهد كه مضرب بسيار بزرگتري از مقدار پيكسل ورودي به پيكسل خروجي منتقل مي شود. شكل زير بيانگر اين مطلب است كه اين فيلتر فركانسهاي بالا را تقويت مي كند، درحاليكه فركانسهاي پايين تاثيري عكس مي گيرند. اثر كلي اين فيلتر واضح شدن ليه ها در تصوير است كه به دليل تآثير شديد ، معمولاٌ نتايج چندان مطلوبي ارائه نمي دهند. يكي از راههاي حل اين مشكل ، اعمال مرحله به مرحله واضح سازي روي تصوير اوليه است.



شكل

## Data Value Reduction (DVR)

در اين حالت هدف، کاهش حجم داده ها در زمان پردازش، با حذف نقاط تکراری و ذخيره فضای داده است. زماني که DTM تشکيل مي شود، معمولا تعداد نقاط بيش از تعداد مورد نياز است و پردازش و انجام کليه عمليات روی اين داده ها زمان بر است. اين مشکل زماني بيشتر بروز مي کند که کار به صورت online انجام شود يعني زماني که تغييرات DTM بايد به طور لحظه ای نمايش داده شوند. هم چنين زماني که به دنبال نقاطي با ارتفاع خاص هستيم جستجوی اين نقاط زمان زيادي خواهد گرفت. اين مشکل در مدل شبکه ای نسبت به مدل TIN بيشتر واضح است. مراحل كاهش حجم داده ها از اين طريق را مي توان جهت حذف داده هاي تكراري نقاط به كار برد تا با فضاي ذخيره سازي کمتر، زمان پردازش داده هایDTM کاهش يابد. همچنين اين عمل ممكن است به عنوان يك مرحله پيش پردازش در توليد DTM و يا براي تبديل يك DTM شبکه ای به يك TIN به كار رود.

يکي از روشهای DVR، الگوریتم ATM است که برای تبديل شبکه (grid) با حجم بالا به يک TINبا حجم کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. همان طور که می دانیم يك گريد را مي توان به عنوان شكل خاصي از TIN در نظر گرفت كه نودهاي منظمي در يك شبكه مثلثي دارد. وقتي كه در جريان عمل فيلتر كردن برخي از نقاط حذف مي شوند ، عملا گريد به TIN تبديل مي شود. برای اين کار به ضابطه ای برای حذف نقاط نياز است. فيلتر ATM الگوريتمی است كه مرتباٌ نقاط پر اهميت را به مثلث بندي اضافه مي كند تا اينكه ديگر براي نمايش سطح در تلورانس در نظر گرفته شده به نقاط بيشتري نياز نباشد. اهميت نقطه از طريق فاصله عمودي بين نقطه و مدل مثلث بندي توليد شده بدون آن نقطه تعيين مي شود.

مراحل کار در ATM به اين ترتيب است که ابتدا با اولين سه نقطه موجود يک مثلث تشکيل مي شود. پس ازآن نقطه دیگری از شبکه که در مجاورت این مثلث قرار دارد در نظر گرفته شده و ارتفاع آن  در صفحه ای که از رئوس مثلث فوق تشکیل می شود محاسبه می شود. در اینجا، اختلاف ارتفاع محاسبه شده و با ارتفاع واقعی آن نقطه (  ) به دست می آید.اگر مقدار از خطای مجاز بيشتر باشد نقطه در شبکه TIN جديد حفظ خواهد شد چرا که حذف آن منجر به خطایی بیش از خطای مجاز می گردد. در نتیجه نقاطي از شبکه که دارای شيب يکسان بوده و در يک صفحه قرار مي گيرند (البته با اختلاف خطای مجاز) حذف مي شوند

اگر دو شبکه، قدرت تفکيک و سيستم مختصات يکسان داشته باشند به راحتي در کنار هم قرار مي گيرند که به این کار Joining گفته می شود. اما اگر در يکي از موارد فوق متفاوت باشند لازم است يکي از آنها مورد resampling قرار گرفته و پس از آن به هم متصل مي شوند. به این کار ادغام یا Merging نامیده می شود.

در حالتيکه بخواهیم دو DTM شبکه ای را ادغام کنیم کار مثل حالت joining صورت مي گيرد.

اما در حالت TIN محدوده هم پوشاني دو DTM بايد باز سازي شود که می توان آن را به دو شکل مختلف انجام داد:

يک DTM به عنوان مبنا در نظر گرفته مي شود و نقاط و مثلثهای جديد به کمک نقاط DTM دوم به آن افزوده مي شوند تا جاييکه DTM دوم ديگر تغييري نکند. در این حالت در قسمت مرزي يک سرشکني محلي ( Local Adjustment) صورت مي گيرد و دو TIN به يکديگر متصل مي شوند.

مثلث بندی مجددی با در نظر گرفتن تمامي نقاط دو DTM انجام مي گيرد.

در هر صورت مشکلي که ممکن است به وجود آيد تعيين دقت شبکه TIN نهايي است. چون DTM ها ی اوليه دقت های متفاوتي دارند، در مورد دقت TIN نهايي نمي توان به راحتي اظهار نظر کرد.

## Data structure conversion

اين حالت برای تغيير کلي ساختار داده ها و مدل DTM انجام مي شود. مثلا جاييکه ذخيره و پردازش داده ها به صورت TIN باشد ولي برای نمايش لازم باشد به grid تبديل شوند و يا برای نمايش داده ها روی سطح کاغذ گاهي لازم است ساختلر DTM به حالت منحني ميزان (contour) تغيير داده شود. مراحل در شکل زير نمايش داده شده اند. بسته به اینکه ساختار مبدا و مقصد چه باشند نوع تکنیکی که باید به کار گرفته شود متفاوت است. جدول زیر حلات مختلف تبدیل بین ساختارهای مختلف داده های DTM را نشان می دهد.

جدول: حالات مختلف تبدیل بین ساختار داده های DTM و تکنیک های مورد استفاده

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ساختار قبل از تبدیل | ساختار پس از تبدیل | تکنیک مورد استفاده |
| شبکه ای | مثلثی | فیلترینگ |
| شبکه ای | منحنی میزان | انترپولاسیون در ارتفاع های مشخص |
| مثلثی | منحنی میزان | انترپولاسیون |
| مثلثی | شبکه ای | گریدینگ |
| منحنی میزان | شبکه ای | انترپلاسیون |
| منحنی میزان | مثلثی | یکی از روشهای مثلث بندی |

### شبکه بندي (Gridding)

هدف شبکه بندی رسيدن از يک مجموعه نامنظم نقاط به يک مجموعه منظم است که در monitoring يا نمايش DTM کاربرد دارد. برای رسيدن به اين منظور دو روش وجود دارد:Moving Average و Linear Projection که در زير به توضيح روش Moving Average پرداخته مي شود.

#### روش Moving Average

در اين روش ابتدا نقاط نامنظم بر اساس موقعيت جغرافيايي شان مرتب مي شوند تا کار سريعتر انجام شود. شبکه دلخواه در نظر گرفته مي شود و با توجه به آن نقاط اطراف نقطه مجهول شبکه تعيين مي شوند. يعني هر نقطه شبکه دارای ارتفاع مجهولي است که برای به دست آوردن آن از نقاط نمونه اطرافش استفاده مي شود. ارتفاع نقطه مجهول با يکي از روشهای TINbased به دست مي آيد. تعيين نقاط مجاور نقطه مجهول و هم چنين روش يا مدل به کار رفته برای حصول ارتفاع نقاط در دقت نهايي تاثير مي گذارند. معمولا تعيين نقاط مجاور بر اساس فاصله آنها از نقطه مجهول انجام مي شود که به يکي از دو روش زير صورت مي گيرد. البته ذکر اين مساله ضروري است که در برخي موارد نزديکترين نقاط الزاما به بهترين و دقيق ترين ارتفاع منجر نخواهند شد.

نزديکترين نقاط

در اين روش از نزديکترين فاصله به عنوان معيار انتخاب نقاط استفاده مي شود ولي تعداد نقاط موثر بايد از پيش تعيين شده باشد. اين روش سريع، ساده و برنامه پذير است، اما معايبي نيز دارد. مثلا ممکن است نقاط مجاور نقطه مجهول شبکه در يک راستا قرارگرفته باشند، چون نقاط بدون توجه به توپولوژي انتخاب مي شوند. در اين صورت ارتفاع نقاط به طور صحيح تعيين نخواهد شد. هم چنين اگر نقاط نمونه نزديک به هم انتخاب شده باشند دقت ارتفاع های به دست آوده مناسب نخواهد بود. به عنوان مثال در سطوح شيبدار با شيب تند در فواصل کم، تغييرات ارتفاعي زيادي وجود دارد. پس در صورت نزديک بودن نقاط نمونه به هم اين تغييرات ارتفاعي در تعيين ارتفاع نقطه مجهول شرکت نخواهند کرد.

روش مشروط

در اين روش برای رفع معايب روش نزديکترين نقاط منطقه اطراف نقطه شبکه به 4 يا 8 منطقه تقسيم مي شود و از هز منطقه تعداد مشخصي نقطه در تعيين z دخالت داده مي شوند.گاهي برای محدود کردن مشروط مي توان حداکثر فاصله را نيز مشروط نمود.

# تفسير DTM

تفسير DTM یعنی به کارگیری DTM برای به دست آورد اطلاعات جدید. اين تفسير ممکن است به صورت عددي يعني تحليل کمي داده های رقومي زمين باشد و يا به صورت بصري يعني تحليل بصری نمايش گرافيکي باشد. تفسير DTM می تواند به منظور بررسی خصوصيات شکل زمين، بررسي کيفيت DTM ویا به کار گيري آن در کارهای طراحي و مهندسی به کار رود.

## بررسی خصوصيات شکل زمين (Geomorphometric Analysis)

اين بررسي ها به دو دسته عمومي و خاص تقسيم مي شوند. آناليز های عمومي (general) در مورد توابع و اطلاعاتي است که هر DTM به صورت ماهوی آن ها را در بر می گیرد مثل شيب زمین (slope &aspect) ، انحنای تقعر و تحدب و یا تراکم شبکه آبراهه ها (Drainage Density). اينگونه آناليزها مربوط به دنبال توصیف ویژگی های کلي سطح زمين است نه تعیین عارضه های خاص و در تمام سطوح ناهموار پيوسته قابل اجراست. يکي از اين آناليز ها local relief يا نمايش وضعيت نقاط مختلف DTM نسبت به يکديگر است. در اين آناليز با از طریق مقایسه ارتفاع نقاط با همدیگر، وضعیت ارتفاعی نقاط مشخص و در يک نقشه ارتفاعات نمايش داده مي شوند. در این کار معمولا از رنگهای تيره برای نمايش ارتفاعات کم و از رنگهای روشن برای نمايش ارتفاعات بالا استفاده مي شود.

آناليز های خاص (special) مربوط به استخراج اطلاعات و اشکال خاص است مثل که معمولا ديده می شوند. در حقیقت هدف از این آنالیزها استخراج عوارضی همچون خط القعر ها، خط الراس ها، قله ها و شبکه آبراهه ها است که بر روی زمین قابل مشاهده می باشند. غالب این روشها بر روی توصيف پديده های زمين به هيدرولوژي سطحي متمرکز هستند. اطلاعات حاصل شده را مي توان در کاربردهايي مثل شبيه سازي جريانات هيدرولوژي، مدل سازي ژئومورفولوژيکي استفاده نمود.

در ادامه به تشریح موارد فوق پرداخته می شود.

### استخراخ ویژگی های عمومی از DTM

همان طور که در بالا آمد، ویژگی های متعددی می توان از یک DTM استخراج نمود که در ادامه به اهم آنها اشاره می شود.

#### Slope and Aspect

به دست آوردن ميزان شيب از معمولترين کاربردهای ژئومورفومتری عمومی است. اساسا شیب هر نقطه از DTM در جهات مختلف متفاوت است. به شیب خطی که بيشترين زاویه را با محور افقی می سازد slope یا شیب گفته می شود. به ازيموت اين خط نیز aspect مي گويند.

در واقع شيب (Slope) برداري است که داراي اندازه و جهت مي باشد. اندازه اين بردار همان زاويه افقي (Slope) آن مي باشد و جهت آن با آزيموت (Aspect) تعيين مي شود. يک روش معمول براي محاسبه Slope استخراج اندازه و جهت اين بردار از بردار نرمال بر صفحه مي باشد. (بردار نرمال برداري است عمود بر سطح که جهت آن به سمت خارج از سطح مي باشد). بنابراین می توان گفت:

 و 

بنابراین در صورتيکه مدل به صورت سراسري (global) باشد، از روابط بالا می توان slope و aspect را در هر نقطه تعیین نمود. در صورتی که داده ها به صورت شبکه منظم باشند مشتق در راستای x و y را می توان با استفاده از 4 یا 8 نقطه همسایه به شکل زیر محاسبه نمود:

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

با چهار پيکسل مجاور:





با هشت پيکسل مجاور:

∂f / ∂x = ∑6i=1 slope (si) / 6





aspect معمولاً در جهت عقربه هاي ساعت و نسبت به شمال مغناطيسي سنجيده مي شود. البته براي نمايش مدل aspect در DTM، از رنگهاي مختلف استفاده مي شود که براي سهولت فهم، آنها را در بازه هاي مشخص با رنگهای خاصي معرفي مي کنند، مثلاً هر 45 درجه را با يک رنگ خاص نمايش مي دهند.

برای محاسبه aspect به اين صورت عمل مي شود:

Aspect = 90 – 180 / π arc tan [(∆Hy / ∆y) / (∆Hx / ∆x)] for (∆Hx / ∆x) <0

Aspect = 270 – 180 / π arc tan [(∆Hy / ∆y) / (∆Hx / ∆x)] for (∆Hx / ∆x)>0

Aspect = 0 for ∆Hx / ∆x = 0 and ∆Hy / ∆y <0

Aspect = 180 for ∆Hx / ∆x = 0 and ∆Hy / ∆y >0

#### تغییرات شیب

مشتق دوم نشان دهنده تغييرات slope است که در واقع تغييرات ميزان پستي و بلندي های زمين را نشان مي دهد، به اين مقدار اصطلاحا convexity گفته مي شود.

### استخراج ویژگی های خاص

از جمله آناليز های خاص که به تشريح هندسه و توپولوژي عوارض بخصوصي مي پردازد، مي توان آناليز های مربوط به تعيین موارد زير را نام برد:

* نقاط خاص یا Surface specific points مثل گردابها ، درياچه ها
* عوارض خطی یا Linear features همانند کانالهای آبی و گذرها

عوارض سطحی یا Areal features همانند حوزه های آبگیر و دریاها

از پر کاربردترین این عوارض می توان به شبکه آبراهه ها اشاره نمود که در ادامه به نحوه تعیین آن پرداخته می شود.

5-1-2- شبکه هاي آبي (Drainage Networks)

اطلاعات مربوط به شبکه هاي آبي، حوزه هاي آبريز و مرز گودالها و چاله هاي آبي در علوم مختلفي از جمله ژئومورفولوژي، هيدرولوژي، فرسايش خاک و شهرسازي کاربردهاي بسيار مهمي دارند. بخصوص در شهرسازي عدم توجه و استفاده از آنها منجر به صدمات جبران ناپذيرمالي و جاني خواهد شد. در تمامي الگوريتمهايي که براي مدل کردن شبکه هاي آبي بکار مي روند يک قانون اساسی وجود دارد و آن اینست که آب از ارتفاع بالا به سمت نقاط کم ارتفاع حرکت می کند. طبیعتا این جهت در راستایی که بیشترین اختلاف ارتفاع وجود داشته باشد. اگرچه بسته به شرایط آب و هوایی و نیز با توجه به جنس زمین این مسیر تغییر می کند با استفاده از DTM می توان با تقریب خوبی مسیر شبکه آبراهه ها را تعیین نمود. در اینجا هدف تعیین جهت است که آب وقتی از یک ارتفاع بالا به سمت پایین حرکت می کند طی می کند.

در شبکه زیر اعداد نوشته شده نشان دهنده ارتفاع نقاط از بالا به پایین می باشند.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 14 | 12 | 9 | 11 |
| 7 | 6 | 8 | 9 |
| 5 | 4 | 5 | 6 |
| 6 | 2 | 0 | 6 |

برای تعیین جهت حرکت آب از بالا به می توان مشابه با آنچه در بخش قبل گفته شد از الگوريتم 4 جهته یا 8 جهته استفاده نمود. اعداد 4 و 8 به تعداد جهات ممکن حرکت آب اشاره می کنند. در هر صورت بايستي توجه کرد که شماره ها در جهت عقزبه هاي ساعت و از بالا انتخاب مي شوند. و فرض مي شود که آب در هر سلول به سلولي در همسايگي آن که کمترين مقدار را دارد سرازير مي شود و شماره آن سلول همسايه را به سلول مرکزي نسبت داده مي شود.

بنابراین برای شبکه بالا در حالت چهار جهته داریم:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 0 | 2 |

و برای الگوريتم 8 جهته:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 4 | 4 | 5 | 6 |
| 4 | 4 | 5 | 6 |
| 4 | 5 | 6 | 6 |
| 3 | 0 | 7 | 7 |

پس از تعیین جهت حرکت آب در هر شبکه می توان watershed را تعیین نمود. Water shed در واقع به عنوان يک داده توصيفي به هر نقطه از شبکه نسبت داده مي شود و بيان کننده ناحيه اي است که آب عبوري از آن نقطه ازآنجا نشأت گرفته است. الگوريتم از يک نقطه مشخص آغاز مي شود و تمام سلولهايي که آب آنها به آن نقطه سرريز مي شود را مشخص مي کند سپس تمام سلولهايي که آب آنها به سلولهاي مرحله قبل سرريز مي شود و ... مشخص مي شوند. پس در واقع Water shed هميشه به صورت يک پلي گون مي باشد.

برای تعيين Drainage Networks یا شبکه آبراهه ها مشابه روند بالا عمل می شود با این تفاوت که حالت تجمعي مد نظر قرار مي گيرد. در اين الگوريتم مقدار صفر درمرز آرايه (ماتريس) به عنوان کانالي که به ماتريس مجاور سرازير شده تفسير مي شود. معمولاً يک ميزان Threshold براي سرازير شدن در نظر مي گيرند که در صورتي که آب تجمعي در هر نقطه از آن ميزان بيشتر شده آن را نمايش مي دهند. در شکل نمونه اي از اين الگوريتم ديده مي شود.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 |
| 7 | 5 | 6 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 |
|  | 7 | 7 | 7 | 6 | 5 |  |
|  |  |  | 7 | 7 | 0 |  |

Flow direction

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

Threshold = 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

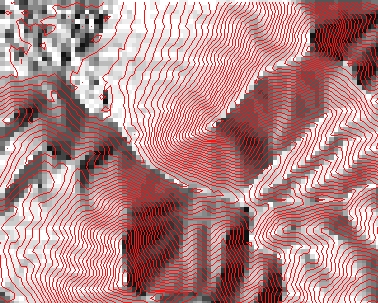
## Quality assessment

مواردي که در ارزيابي کيفيت DTM اهميت دارند، شامل دو مبحث است: يکي تشخيص خطا (error detection)که ممکن است شامل خطاهای فاحش (blunders) و يا خطاهای سيستماتيک باشد و ديگري برآورد ميزان خطا (quality control) که مربوط به ارزیابی خطاهای اتفاقي موجود در DTM است. در ادامه به این دو اشاره می شود.

### Error detection

خطاها ممکن است از دو نوع باشند، هندسي (geometry) يعني نقطه دارای خطای هندسي يا موقعيتي باشد و يا attribute يعني به نقطه، ویژگی اشتباهی نسبت داده شده باشد (مثلا نقطه اشتباها به عنوان خط القعر در نظر گرفته شده باشد). تشخيص نوع خطا به دو صورت اتوماتيک و يا interactive صورت مي گيرد. در روش اتوماتيک DTM حاصل با يک DTM موجود از منطقه و يا با نقاط کنترل موجود به صورت اتوماتيک مورد مقايسه قرار مي گيرد. روش interactive در طول عمليات تهيه داده و DTM و يا بعد از توليد DTM با دخالت کاربر و کمک نرم افزار انجام مي شود.

به طور کلی از روشهای بصری برای تعیین خطاهای فاحش استفاده می شود اگرچه توسعه روشهای اتوماتیک موضوع هنوز به عنوان یک موضوع تحقیقی مورد توجه می باشد. برای تشخیص خطاها می توان نقشه های شیب یا نماهای پرسپکتیو مدل رقومی زمین را به صورت بصری با واقعیت مطابقت داده و خطاهای فاحش احتمالی را کشف نمود. یکی از روشهای موثر در این زمینه که در فتوگرامتری استفاده می شود انطباق مدل یا منحنی میزان های ترسیم شده بر روی عکس یا نقشه شیب منطقه و بررسی خطاها می باشد. شکل زیر نمونه ای از این پروسه که به آن superimposition گفته می شود را نشان می دهد.



شکل: انطباق منحنی میزان های ترسیم شده بر روی نقشه شیب منطقه به منظور کشف خطاها

### DTM quality control

در ارتباط با کیفیت هندسی یک DTM دو موضوع مورد بحث قرار می گیرد اول آنکه بدانیم که چه دقتی را باید انتظار داشته باشیم و دوم اینکه ارزیابی کنیم که مدل تهیه شده از چه دقتی برخوردار می باشد. در این بخش به این دو موضوع پرداخته می شود.

#### بررسی پارامترهای مؤثر بر دقت DTM

اساسا دقت هر DTM تابعي از فاکتورهاي مختلف است که اين فاکتور ها مي توانند به صورت زير خلاصه شوند:

روشهاي جمع آوري داده ها

تراکم و توزيع داده هاي ورودي

مدل به کار گرفته شده

##### روش جمع آوري داده ها

با توجه به تحقيقات انجام گرفته، از ميان روش های جمع آوري داده نقشه برداري زميني، اندازه گيري فتوگرامتري و رقومی کردن داده هاي کارتوگرافي، داده های نقشه برداري زميني نتايج دقيق تري را ارائه مي کنند ولي ديجيتايز کردن داده هاي کارتوگرافي داراي کمترين دقت است.

در روش نقشه برداري زميني دقتهاي در حدود mm3± يا کمتر از اين به سهولت در نقاط اندازه گيري شده به دست مي آيد. ولي اين روش جمع آوري داده ها با درنظر گرفتن دقت بالاي آن بسيار زمان بر بوده و هزينه هاي زيادي دارد که اين موارد باعث مي شود اين روش براي مناطق وسيع غير عملي باشد. وليکن در پروسه هاي انجام شده به خوبي مشخص است که داده هاي جمع آوري شده به اين روش RMSE کمتر و در نتيجه دقت بالاتري دارند.

در روش فتوگرامتري فاکتورهايي که بر دقت داده هاي اندازه گيري شده به اين روش تاثير مي گذارند عبارت اند از:

مقياس عکس و ارتفاع پرواز

نسبت باز به ارتفاع

دقت دستگاهي

روشي که براي اندازه گيري بکار گرفته مي شود، که شامل دو روش استاتيک (نقاط گسسته تصادفي يا انتخابي) و ديناميک (داده هاي اسکن شده يا منحني ميزانها) مي باشد

با اين توضيح، براي يک مجموعه از پارامترهاي ارائه شده از قبيل مقياس، نسبت باز به ارتفاع و دقت دستگاهي پيش بيني دقت احتمالي تکنيکهاي مختلف اندازه گيري ممکن مي باشد. اگر يک سطح دقت خاص مورد نياز بوده و نوع دوربين و وسيله plotting به انواع موجود محدود باشد در نهايت براي دستيابي به دقت مورد نظر بايستي مقياس عکس و روش اندازه گيري را به درستي انتخاب نمود. روشهاي ديناميک اندازه گيري بطور مشخص دقت کمتري از روشهاي استاتيک اندازه گيري نقاط دارند(معمولاٌ دقت روشهاي ديناميک يک سوم روشهاي استاتيک است).

تحقيقات مختلف انجام شده نشان مي دهند که اندازه گيريهاي فتوگرامتري مي توانند داده هايي با دقت قابل قبول ارائه دهند و ازنظر پارامترهاي زمان و هزينه توليد، روش فتوگرامتري در اکثر کشورها بهترین روش عملي تهيه داده هاي دقيق براي توليد DTM در مناطق نسبتاٌ وسيع است.

روش رقومي سازی داده هاي کارتوگرافي کم دقت ترين روشهاي توليدداده هاي ورودي است. واضح است که، دقت داده هاي نقشه منبع يک فاکتور حساس بوده و بايد توجه شود که عمليات رقومي کردن نيز منجر به کاهش دقت مسطحاتي خواهد شد.

البته اين خطاي اضافي باتوجه به دقت دستگاهي ديجيتايزر و چگونگي عمليات رقومي کردن متفاوت است. ولي براي مثال، با رقومي سازی دستي منحني ميزانها روي يک ميز ديجيتايزر عادي، خطاهاي مسطحاتي تا حدود mm5/0± در مقياس نقشه خواهند بود . دنبال کردن خطوط به روش اتوماتيک و ديجيتايز کردن تصاوير رستري اسکن شده، خطاهاي انساني وابسته به موقعيت را کاهش مي دهد و نتايجي با دقت بالاتر را ارائه خواهد کرد. با اين وجود از آنجائيکه رقومي کردن داده هاي کارتوگرافي در وسعت زيادي مورد استفاده قرار مي گيرد، دقت اين نوع داده هاي ورودي بايستي با احتياط مورد توجه قرار گيرد. اين موضوع به اين معني نيست که چنين روشهايي نبايد مورد استفاده قرار گيرند وليکن کاربرد DTM هايي که از چنين منابعي به دست مي آيد بايستي انتخاب شده باشد در موارديکه از منحني ميزانها براي توليد DTM استفاده مي شود احتمال کاهش دقت بيشتر مي باشد.

##### تراکم و توزيع داده هاي ورودي

تراکم و توزيع داده هاي ورودي هم به روش جمع آوري و دستيابي به داده ها و هم به شکل و دقت DTM وابسته است.

داده هايي که به صورت منظم توزيع شده اند، براي مثال يکgrid ، به صورت خطوط موازي تمام منطقه را به خوبي پوشش مي دهند وليکن چنين نمونه برداري منظمي از سطح زمين ممکن است منجر به حذف جزئيات کوچک از جمله آبريزها، آبراهه­ها، شکستگي ها و تغيير شيبها شود. يک راه حل براي اين مشکل کاهش فاصله نقاط رويgrid است. ولي اين راه حل حجم داده ها زمان پردازش­ها را افزايش خواهد داد. پيشنهاد نمونه برداري به روش progressive و يا تکميل داده هايي که بصورت منظم برداشت شده اند با انتخاب نقاط ارتفاعي در موقعيت هاي کليدي و شکستگي ها راه حل مناسبي به نظر مي رسد.

داده هاي منحني ميزان نتايج مقبول تري از لحاظ توزيع ارائه مي دهند ولي بايد به خاطر داشت که دقت داده هاي منحني ميزانها (چه از روش فتوگرامتري به دست آمده باشند وچه از روش رقومي کردن داده هاي کارتوگرافي) به طور اجتناب ناپذيری پائين تر از دقت نقاط ارتفاعي گسسته مي باشد. توزيع نقاطي که از منحني ميزانها به دست آمده اند متناسب با شيب زمين خواهد بود و بطور طبيعي در مناطق شيب دارتر نقاط بيشتري نتيجه مي شود. مشکل ذکر شده در مناطق مسطح با درونيابي منحني ميزانها از داده هاي DTM توليد شده به روشgrid تقريباٌ حل شده است ولي درهر حال تکميل داده هاي منحني ميزانها با نقاط ارتفاعي برداشت شده در شکستگي ها مناسب است.

##### مدل مورد استفاده

همان طور که می دانیم دقت یک مدل رقومی زمین تابع دو المان است: دقت برداشت نقاط و دقت مدل مورد استفاده. به عبارت دیگر داریم:



در اين فرمول دقت داده های اوليه یا همان دقت برداشت نقاط نمونه است که بستگي به نوع منبع داده و روش نمونه برداری و دقت تجهيزات دارد.  دقت تهيه DTM است که بستگي به روش درونیابي، تراکم نقاط (density)، توزيع نقاط (distribution) و نوع و اهميت نقاط دارد.

#### ارزیابی دقت مدل تهیه شده

اساسا دقت يك DTM ممكن است از طریق مقايسه مقادير ارتفاعي كه از يك سطح DTM به دست آمده با مقادير ارتفاعي همان نقاط كه توسط اندازه گيري زمینی به يك روش مشخص با دقت بالاتر به دست مي آيد ارزيابي وتعيين شود. مثلاً، DTM اي كه از رقومي كردن منحني ميزانها به دست آمده است مي تواند با اندازه گيريهايي كه توسط نقشه برداري زميني يا فتوگرامتري انجام شده است كنتــرل شود. داده هايي كه از چنين مقايسه اي به دست مي آيد شامل اختلاف ارتفاعات (يا باقيمانده ها) در نقاط ثبت شده است. اين مقادير ممكن است از نظر علامت مثبت يا منفي باشند. مثبـت يا منفي بودن اين مقادير بستگي به ارتفاعات نسبي دو سطح مورد مقايسه در نقاط متوالي دارد. اين داده ها ممكن است پس از اين براي انجام محاسبات آماري براي تعيين دقت مورد استفاده قرار گيرند.

معمولا در نقشه ها اطلاعات ارتفاعي به دو شکل ارائه می شوند:

نقاط ارتفاعي (spot heights) كه به صورت منظم يا غير منظم توزيع شده اند.

منحني ميزانها (contours) كه با فاصله ارتفاعي متناسب با هدف نقشه، مقياس و شيب سطح زمين توليد شده اند.

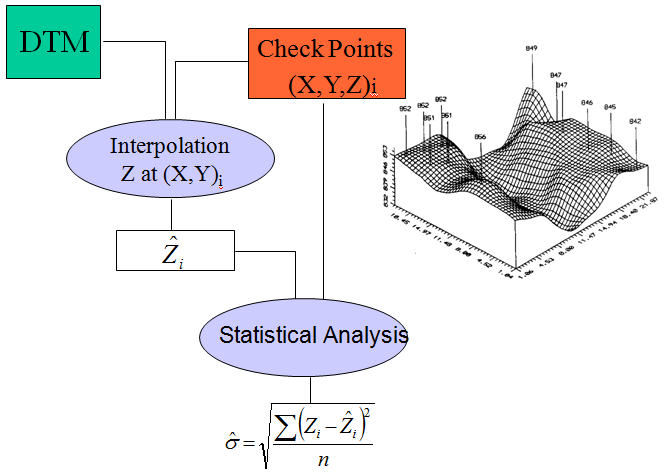
در هر دو مورد، دقت بايد هم از نظر موقعيت مسطحاتي و هم از نظر مقادير ارتفاعي مورد بررسي قرار گيرد. به بيان ساده تر، مثلاً يك نقطه ارتفاعي ممكن است از نظر مسطحاتي در موقعيت نادرستي قرار گرفته باشد ولي ارتفاع آن صحيح باشد، از نظر موقعيت مسطحاتي صحيح بوده ولي ارتفاعش نادرست باشد، يا به طور كلي هم از نظر مسطحاتي و هم از نظر ارتفاعي نادرست باشد.

بنابراين دقت نقاط ارتفاعي به طور نرمال با مقادير RMSE مسطحاتي و ارتفاعي، ارزيابي شده ومشخص مي شود. منحني ميزانها، عوارض خطي هستند و دقت آنها به سادگي داده هاي نقطه ای قابل محاسبه نيست. به عبارت دیگرخطاها و در نتيجه RMSE فقط در موقعيتهاي نقاط مشخص مي توانند تعيين شوند. طبیعی است که برای خطوط منحني ميزان ايجاد چنين موقعيتهايي به صورت صريح ساده نمي باشد. اگرچه، تلاشهايي براي تعيين دقت منحني ميزانها توسط عبارات عددي دقيق صورت گرفته است معمولترين روش تعيين دقت منحني ميزانها، تعريف يك مقدار تلرانس (RMSE) براي خطاهاي مجاز در منحني ميزانها و سپس چك كردن اين مورد كه آيا نقاط روي نقشه يا نقاطي كه از اندازه گيريهاي زميني يا فتوگرامتري به دست آمده اند در حد چنيـن تلرانسي هستند يا خير؟ می باشد. دقت مشخص شده با توجه به فاكتورهاي مورد نظر از جمله مقياس، شيب زمين و فاصله ارتفاعي تعيين مي شود و اساس آن مقادير RMSE تعيين شده براي نقاط است. استاندارد پذيرفته شده براي منحني ميزانها به طور نرمال در حدود 3 برابر استانداردي است كه براي نقاط اندازه گيري شده مي تواند به دست آيد. به صورت كلي، ازلحاظ احتمال مربوط به فاصله ارتفاعي، براي مثال، 90% نقاط آزمايش شده بايد از دقتی در حدود نصف فاصله ارتفاعي منحني ميزانها بر خوردار باشند.

یه طور کلی برآورد دقت موجود با استفاده از تعداد قابل توجهي نقطه چک (check) امکان پذير است. هر نقطه چک دارای دو سری مختصات است يکي حاصل از DTM و ديگری مختصات واقعي نقطه. به کمک اختلاف اين دو سري مختصات که با استفاده از فرمول زير به دست مي آيد، خطای نقاط چک قابل محاسبه است:

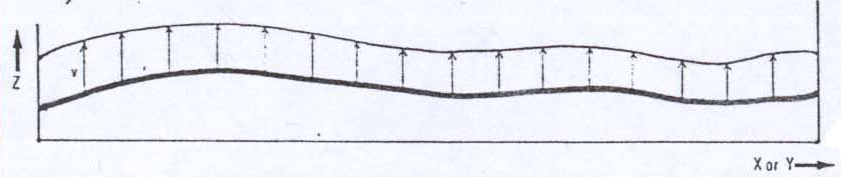


با داشتن اختلافات در سه راستا، انحراف معیار در هر جهت را تعیین می کند. در این صورت جذر مجموع مربعات انحراف معیارها، دقت DTM محاسبه می شود. دیاگرام زیر پروسه ارزیابی دقت یک مدل رقومی زمین را نشان می دهد.



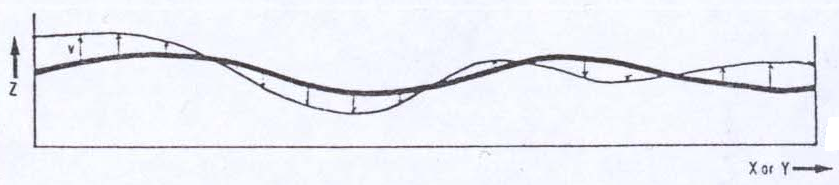
شکل: پروسه استفاده از نقاط چک جهت ارزیابی دقت یک مدل رقومی زمین.

باید توجه داشت که روال بالا در صورتی معتبر است که مدل دارای خطای سیستماتیک نباشد. به عنوان نمونه می توان حالت زیر را در نظر گرفت



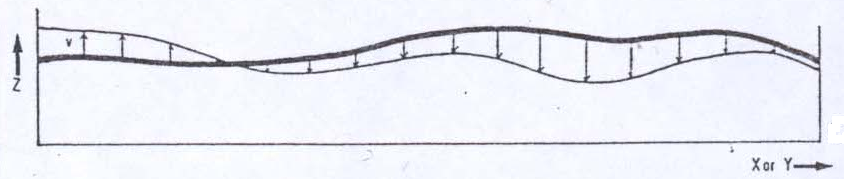
تصوير: شيفت سيستماتيك كلي يك سطح نسبت به سطح ديگر

در حالت فوق، همان طور که دیده می شود کلیه نقاط مدل تهیه شده از نقاط مرجع بزرگتر می باشند. این نشان دهنده وجود یک خطای سیستماتیک در داده ها می باشد. این درحالی است که در حالت زیر مقدار متوسط جمع خطاها در چنين موردي مساوي و يا بسيار نزديك به صفر خواهد بود. بنابراین با توجه به ماهیت تصادفی خطاها، بزرگي و توزيع نرمال اختلاف ارتفاع نقاط دقت مدل مي تواند به خوبي توسط جذر مجموع مربعات یا همان انحراف معیار تعریف گردد.



تصوير: نمايش مقادير كاملا ًمتفاوت v

البته حالاتی نیز وجود دارد که بخشی از خطا ها به صورت سیستماتیک و برخی به صورت رندوم می باشند. شکل زیر چنین حالتی را نشان می دهد.



تصوير: نمايش تركيبي از اثرات سيستماتيك و اتفاقي

در چنين موردي مقدار ميانگين خطا، خطای سيستماتيك را نشان مي دهد و انحراف معيار خطاها بزرگي مقادير باقيمانده را آشكار مي سازد. در اینجا می توان براي كاهش خطاي سيستماتيك از سطح DTM مقدار ميانگين خطا را توسط جمع ياكم كردن مقدار X از ارتفاع هر نود شبكه حذف نمود.

باید توجه داشت که در مواردی که از نقشه برای توليد DTM استفاده مي شود، مقياس داده های ورودی تعيين کننده دقت DTM حاصل شده نيست. بلکه قدرت تفکيک (resolution) يا فاصله نقاط نمونه برداری شده است که دقت DTM را مشخص مي کند. چه بسا دقت مدلي با 80 نقطه نمونه برداری شده از نقشه ای با دقت 5/0 متر بهتر از مدلي با دقت 5/0 سانتيمتر ولي با 40 نقطه نمونه باشد.

## مدلسازی با استفاده از DTM

کاربردهای مهندسی، طراحي و برنامه ريزي به عمليات تفسيري خاصي نياز دارد. دسته ای از اين روشهای تفسير برای تحليل بصری ارتفاعات زمين مثل تعيين ميدان ديد برای هر نقطه و تعين مناطقي که از هر نقطه قابل رويت هستند و محاسبه سايه ارتفاعات و تعيين مناطقي که در سايه قرار مي گيرند استفاده مي شوند. گروه ديگري از روشها ی تفسير جهت برنامه ريزي، محاسبه پروفيل، محاسبه حجم عمليات خاکبرداری و خاکريزي در طراحي راهها و مخازن مورد استفاده قرار مي گيرند.

# نمايش DTM

## مقدمه

نمايش DTM از دو جنبه مطرح مي شود، يکي نمايش خود DTM و ديگري نمايش محصولات آن. نمايش DTM مي تواند مستقيما از طريق تفسير بصري به تصميم گيري ها کمک کند بدون آنکه حتی هيچ تحليل کمي ارائه کند. نمايش DTM به دو صورت قابل انجام است، دو بعدي که به دو صورت static (شامل منحني ميزانها، hill shading، hypsometric tints وترکيب با داده های دو بعدی و اورتو فتو) و ديناميک (به صورت نمايش perspective) است و سه بعدي که به دو صورت محيطهای بصري سه بعدي (شامل کلاهها و دستگاههای هوشمند و محيط گرافيک کامپيوتري) و مدل های سه بعدي فيزيکي است.

در فضای دو بعدي استاتيک، برای ارتباط مستقيم با نتايج، سطح از يک وجه ديده مي شود ولي درحالت ديناميک زاويه ديد تغيير می کند و برای جستجو در محيط DTM، مدل از جهات مختلف ديده مي شود.

در ادامه به تشریح هر کدام از موارد فوق پرداخته می شود.

نمايش محصولات DTM شامل نمايش نقشه های شيب، جهت شيب، پروفيل انحنای شيب و پروفيل انحنا در جهت عمود بر شيب مي باشد.

## روش های دوبعدی

### منحني ميزان

همان طور که می دانیم منحني ميزان ها يا isolines، خطوطی اند که نقاط با ارتفاع يکسان را به هم وصل مي کنند. به سبب سادگی و سابقه تاریخی، منحني ميزانها يکي از پرکاربرد ترین روشهای نمايش DTM محسوب مي شوند. ساختار منحني ميزانها به طور مستقيم به روشهای درونيابي DTM وابسته است. نمایش های مبتنی بر منحنی میزان را به سه شکل می توان ارائه نمود:

- ساده: در این نوع از نمایش، فواصل منحني ميزان ها مساوي است و زاويه ديد عمود بر سطح است. بنابراين ديد سه بعدی در تصوير وجود ندارد و منحني با ارتفاع بالاتر را بدون خواندن عدد روی منحني نمي توان تشخيص داد.



شکل : منحني ميزان ساده

- مايل (Inclined): در این حالت فاصله منحني ميزانها نسبت به زاويه ديد طوري تغيير مي کند که سطوح منحني ميزانها را مي توان تشخيص داد. در واقع وقتي مدل از زاويه خاصي ديده مي شود، نقاط نزديک نزديکتر ديده مي شوند و احساس ديد سه بعدي ايجاد مي شود.



شکل : منحني ميزان مايل

- سايه دار (Shaded): سطوح بين منحني ميزانها بر اساس نوعي طبقه بندي ارتفاعي مرتب شده و با رنگهای مشخصي نمايش داده مي شوند. اين طبقه بندي مي تواند انتخابي و يا کاملا اتوماتيک باشد.

رنگ دهی ممکن است به صورت سايه سياه و سفيد باشد که در آن مقدار درجه خاکستری برای هر پيکسل بر اساس رابطه زير به دست مي آيد:





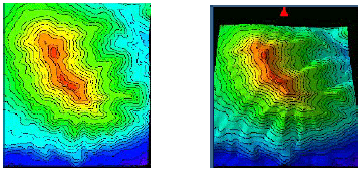
شکل : منحني ميزان سايه دار سياه وسفيد

يکي ديگر از روشهای رنگ دهي، استفاده از سايه های رنگي است. درجه سايه های رنگي در اين روش بر اساس تبديل درجه خاکستری به درجات رنگي RGB با استفاده از روش های مختلف مثل الگوريتم psodu coloring ايجاد »ي شود. اين شيوه رنگ دهي تصوير به دو صورت پيوسته (continous) و گسسته (stepped) انجام مي شود که از روابط زير محاسبه مي شود:



If 10<g(x,y)<30 then g(i,j)=15

If 30<g(x,y)<60 then g(i,j)=45 ,…



شکل : منحني ميزان سايه دار رنگي

### Hill shading

يکي دیگر از روش های دو بعدی نمايش داده های DTM به صورت تحليلي روش hillshading است که در خروجي، فايلي به صورت تصوير رستری ايجاد خواهد کرد. هر پيکسل در تصوير ناهمواريها درجه خاکسری دارد که مطابق با مقدار ارتفاع محاسبه مي شود. اين درجه خاکستری از دو روش محاسباتي به دست مي آيد.

1- روش برداری

از انجا که اين روش کنترل بهتر و دقيق تری بر روی جهت و امتداد پرتو نور دارد، در بيشتر کاربردها از اين روش استفاده مي شود و کاربران بسياری به دليل سادگي اين روش از آن استفاده مي کنند. در روش برداری، قوانين بازتابش نور از سطح زمين برای ايجاد مدل به کار برده مي شود.

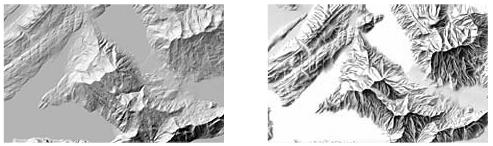
- deffuse reflection

در اين نحوه نمايش ميزان روشنايي که با توجه به يک منبع نور به هر پيکسل مي رسد برای نمايش آن پيکسل استفاده مي شود. يعني با در نظر گرفتن منبع نوري مثل خورشيد در يک زاويه خاص ميزان سايه روشن های ايجاد شده، شبيه سازي شده و نمايش داده مي شود. ميزان تيره يا روشن بودن هر نقطه از سطح بستگي به زاويه ای دارد که بردار عمود بر سطح در آن نقطه با منبع نور دارد. برای تعيين مقدار هر پيکسل ابتدا بردار نرمال برای هر پيکسل به دست مي آيد. اين بردار مي تواند نوعي ميانگين از نرمال های دو مثلث تشکيل دهنده هر پيکسل سطح باشد. هم چنين زاويه خورشيد و در واقع بردار جهت خورشيد تعيين مي شود. زاويه بين دو بردار و  که به نام  خوانده مي شود، برای تعيين ميزان درجه خاکستری مورد استفاده قرار مي گيرد.



در صورتيکه مقدار  بيشتر از 90 درجه به دست آيد، مقدار پيکسل مقداری منفي خواهد بود که صفر در نظر گرفته مي شود. چون در اين صورت پيکسل در سايه کامل قرار گرفته است. نکته قابل توجه آن است که در اين روش سايه عوارض بلند تر بر روی عوارض ديگر نخواهد افتاد.

محاسبات در اين روش بسيار ساده و سريع است و به همين علت در مسايل گرافيک کامپيوتری بسيار کاربرد دارد. مقايسه نقشه های سايه زده دستی با نتايج حاصل از اين روش در مناطق کوهستاني نشان مي دهد که اين روش برای نمايش جزئيات ناهمواريها خوب عمل نمي کند.



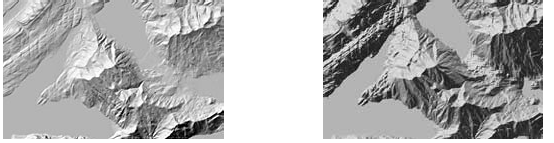
شکل : راست: سايه های دستي، چپ: deffuse reflection

- Aspect based shading

اساس اين روش بر پايه جهت شيب (aspect) است. در اين روش سايه، مطابق با رابطه زير محاسبه مي شود:

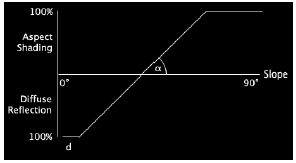


در اين رابطه ، برابر زاويه بين جهت شيب و آزيموت امتداد نور است. شکلهای زير مقايسه از روشهای مذکور را نشان مي دهد.



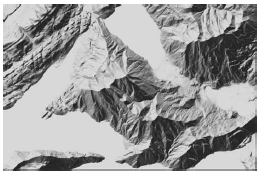
شکل : راست: Aspect based shading ، چپ: deffuse reflection

روش Aspect based shading بيشتر برای نمايش مناطق کوهستاني مناسب است در حاليکه روش deffuse reflection بيشتر برای نمايش مناطق مسطح و پست مناسب مي باشد. تابع شيب زمين، قابليت ترکيب دو روش فوق را برای ايجاد سايه فراهم مي کند. به اين ترتيب که ابتدا يک فيلتر متوسط ماتريس تغييرات شيب به دست آمده از DTM را تا حدودی نرم کرده و سپس بر اساس دياگرام به شکل زير ميزان تاثير هر روش به شکل در صد و بر حسب شيب منطقه از صفر تا صد محاسبه مي شود.



شکل : دياگرام ترکيب

مقادير  و d را مي توان بر حسب کاربرد در ترکيب دو روش فوق به صورت بهينه ترکيب کرد.



شکل : ترکيب دو روش

2- روش اختلافي

اين روش بر اساس عملگر های رستری و بر روی فرمت DTM Grid عمل مي کند به طور خاص اين روش از ترکيب يک سري از تصاوير با درجات خاکستری به دست آمده از DTM و با استفاده از عملگر های رياضي و منطقي به دست مي آيد. اين روش محاسبات پيچيده ای دارد و معمولا کمتر به کار مي رود.

عموما چهار فاکتور بر روی تاثيرات ديدگاني يک hillshading موثر است:

آزيموت خورشيد: جهت پرتو ورودی که از صفر تا 360 درجه در جهت ساعتگرد تغيير مي کند.

ارتفاع خورشيد: زاويه بين پرتو ورودی و سطح افقي است که بين صفر تا 90 درجه تغيير مي کند.

شيب سطح: که بين صفر تا 90 درجه تغيير مي کند.

جهت شيب: که بين صفر تا 360 درجه تغيير مي کند.

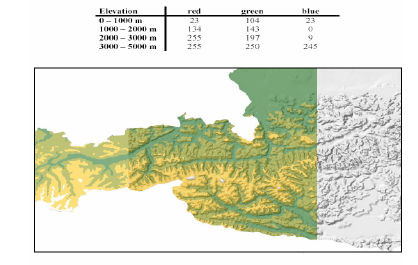
بر اساس رابطه زير راديانس نسبی برای هر پيکسل در يک شبکه ارتفاعي و يا برای هر يک از مثلث ها در يک مثلث بندی محاسبه مي شود.



که در اين رابطه،  مقدار راديانس نسبی برای هر پيکسل است که مقداری بين صفر تا يک خواهد بود، جهت شيب،  آزيموت خورشيد،  شيب و: ارتفاع خورشيد را نشان مي دهد. مطابق رابطه ، اگر مقدار برابر 255 شود، رنگ سفيد و اگر برابر با صفر شود، رنگ سياه را نتيجه مي دهد.

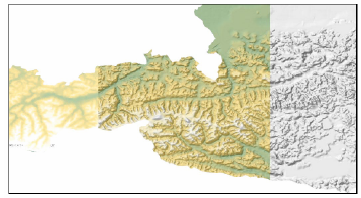
### Hypsometric Tints

در اين روش، با استفاده از رنگ های مختلف سبز، زرد، قرمز و سفيد، ارتفاعات از پايين ترين سطح تا بالاترين سطح نمايش داده مي شوند. اين روش به دو شکل گسسته (طبقه طبقه) و پيوسته (تدريجي) رنگ را بر روی پيکسل ها اعمال مي کند. اين روش معمولا در اطلس ها و نقشه های آموزشي بسيار استفاده مي شود. اخيرا از آين روش برای نمايش سطوح با توپوگرافي پيچيده نيز استفده مي شود. استفاده از اين رنگها نبايد ديد اشتباهي را در ذهن در مقايسه با رنگهای طبيعي ايجاد کند. به طور مثال رنگ سبز نشانه پوشش گياهي و رنگ زرد نشانه بيابان نيست، بلکه هر رنگ طبقه ای از ارتفاعات را نشان مي دهد. در اين نقشه ها رنگ های روشن تر مثل زرد و قرمز برای نمايش نقاط مرتفع تر و رنگهای تيره تر مثل آبي و سبز برای نمايش ارتفاعات پايين تر استفاده مي شود. در شکل زير نقشه هيپسومتريک با استفاده از جدول معرفي ارتفاعات به صورت گسسته نشان داده شده است.



شکل : نقشه هيپسومتريک به روش گسسته

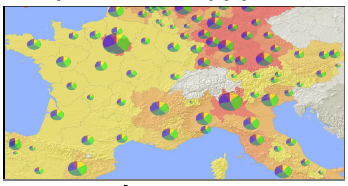
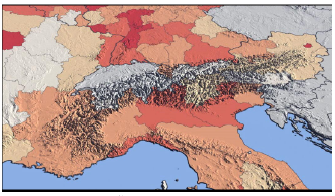
در تصوير زير دومين نوع از نقشه های هيپسومتريک به صورت پيوسته نمايش داده شده است.



شکل : نقشه هيپسومتريک به روش پيوسته

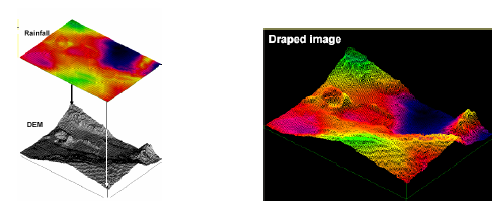
### ترکيب با داده های دو بعدی

اساسا هر نوع از داده های دو بعدی مسطحاتي را مي توان با نقشه DTM ترکيب کرد. شکل زير دو نمونه از نقشه های DTM سايه دار در ترکيب با نقشه داده های آماری جمعيت را نشان مي دهد.



شکل : همپوشانی با داده های آماری جمعيت

مثال ديگر، ترکيب داده های DTM با نقشه راهها يا هر نوع از داده های مسطحاتي مثل لايه ريزش باران است، که در شکل زير نشان داده شده است.



شکل : همپوشانی با لايه ريزش باران

## روش های سه بعدی

### نمايش ديناميک (ديد پرسپکتيو)

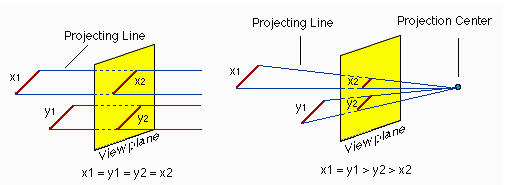
در اين روش، امکان تغيير نقطه ديد مشاهده کننده برای نمايش جهات مختلف مدل وجود دارد. يکي از امتيازات ويژه اين روش آن است که پارامترهای مدل برای بهبود وضعيت ديد مدل قابل تغيير خواهد بود. برای مثال محور قائم، قابليت اغراق برای نمايش ناهمواريهای کوچک را خواهد داشت. برای نمايش اين مدل، روشهای مختلفي وجود دارد.

سيستم تصوير موازی

اين سيستم تصوير، خطوط موازی، در همه نقاط سيستم، موازی باقي مي مانند و همگرا يا واگرا نيستند. اين سيستم، قابليت مقياس دهي داشته ولي ديد سه بعدی برای بيننده ايجاد نمي کند.

سيستم تصوير پرسپکتيو

اين نوع سيستم تصوير نوعي ديد طبيعي بر حسب عمق و فاصله فراهم مي کند. در نمای اين سيستم، خطوط موازی به سمت نقطه vanshing همگرا مي شوند. بنابراين عوارض دورتر کوچکتر به نظر ميرسند. در اين روش امکان اندازه گيري مقياس وجود ندارد ولي ديد سه بعدی خوبي برای بيننده فراهم مي کند.



شکل : سيستم های تصوير، راست: پرسپکتيو، چپ: موازی

نمايش در سيستم سه بعدی با چهار پارامتر کنترل مي شود.

آزيموت ديد: امتداد بين مشاهده کننده و سطح که از صفر تا 360 درجه در جهت ساعتگرد تغيير مي کند.

زاويه ديد: زاويه بين سطح افق با ارتفاع مشاهده کننده که از صفر تا 90 درجه تغيير مي کند. 90 درجه نشان دهنده ديد مستقيم از بالاست و صفر نشان دهنده ديد از جلو مي باشد.

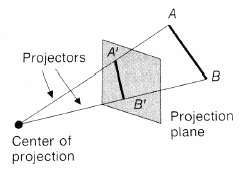
فاصله ديد: فاصله بين مشاهده کننده و سطح

مقياس Z: فاکتور اغراق است که نشان دهنده نسبت بين مقياس قائم و افق مي باشد. اين فاکتور برای نمايش عوارض ارفاعي کوچک کاربرد دارد.

خصوصيات ويژه مدل سه بعدي شامل قابليت نمايش به وسيله کامپيوتر، ديد سه بعدي خوب و دقت محدود آن است.

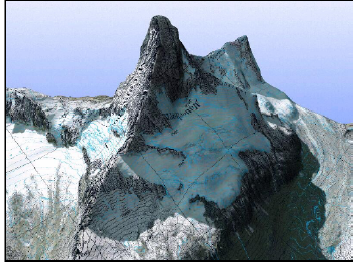
### - Block Diagram

اين روش از سيستم پرسپکتيو و سيستمي مشابه با سيستم ديدگاني انسان استفاده مي کند. در اين سيستم اندازه عوارض با فاصله آن از مرکز تصوير نسبت معکوس دارد. بنابراين اگرچه از لحاظ ديد نمای واقعي از عوارض ايجاد مي کند ولي روش مناسبی برای ذخيره اشکال دقيق و اندازه گيري روی آنها نيست. فواصل در اين تصوير قابل اندازه گيري نيست و خطوط موازی در اين سيستم تصوير موازی باقي نمي مانند.



شکل : سيستم تصوير پرسپکتيو

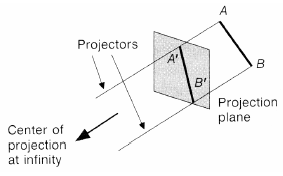
تصوير زير يک Block Diagram از مشهرترين کوه سوئيس Matterhorn با هم پوشاني با نقشه های توپوگرافي را نشان مي دهد.



شکل : نمای پرسپکتيو

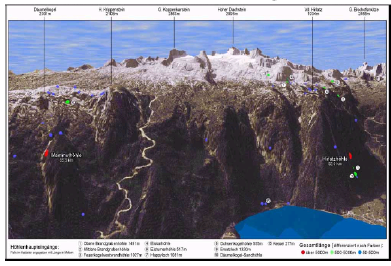
### ديد پانوراميک

ديد پانوراميک از سيستم تصوير موازی برای نمايش استفاده مي کند که ديد واقعي کمتری نسبت به روش قبل دارد. اين سيستم معمولا برای اندازه گيريهای دقيق در مدل استفاده مي شود. خطوط موازی دز اين سيستم موازی باقي مي مانند و زوايا در صورت موازی بودن عارضه با صفحه تصوير حفظ خواهند شد. در بسياری از کاربرد ها امکان استفاده از سيستم تصوير موازی وجود ندارد ولي به جای آن از روش شبه موازی استفاده مي شود. در اين روش اساس سيستم پرسپکتيو به کار مي رود با اين تفاوت که نقطه مرکز تصوير در فاصله بسيار دور فرض مي شود. به صورت تئوری اين سيستم پرسپکتيو است ولي در عمل تفاوتي با سيستم موازی ندارد.



شکل : سيستم تصوير شبه موازی در ديد پانوراميک

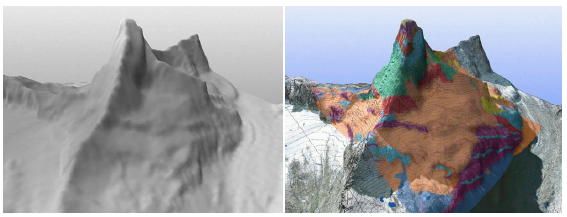
تصوير زير نمای پانوراميک از منطقه Datchstain در استراليا را نشان مي دهد که با تصوير ماهواره ای منطقه هم پوشاني داده شده است.



شکل : نمای پانوراميک

### مدل های بافت دار

ترکيب داده های سه بعدی سايه دار از DTM با داده های اضافي از منابع مختلف نمای بهتری از واقعيت را ايجاد مي کند. اين منابع عبارتند از تصاوير ماهواره ای، داده های برداری رستر شده، نقشه های اسکن شده و نقشه های موضوعي. شکل زير نمونه ای از اين نقشه ها را نشان مي دهد.



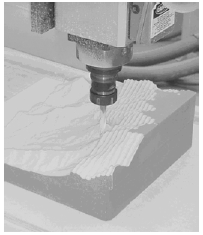
شکل : نقشه های بافت دار

## مدلهای سه بعدی واقعي

اساس اين روش بر مبنای دو تصوير پوشش دار است که با قرار گرفتن اين عکسها در مقابل چشمها و ايجاد ديد سه بعدی فتو گرامتری، مدل سه بعدی از ناهمواري ها، ايجاد مي شود. اين مدل ها امکان دسترسی به دقت بالا بوسيله اندازه گيري پارالاکس را به همراه ديد سه بعدی بسيار خوب فراهم مي کند.

## مدلهای سه بعدی فيزيکي

مدل های سه بعدی فيزيکي با استفاده از موادی مانند چوب، شن و فوم يکي از روشهای خوب نمايش DTM است. در اين مدل ها ناهواري های زمين را بر اساس منحني ميزانها در مقياس کوچکتر و بدون کدبندی مي توان به صورت مستقيم تشخيص داد. خاصيت مهم اين مدل ها ارتباط مستقيم با مدل و قابل لمس بودن مدل است. در اين مدل ناهمواري ها به شکلي واضح و قابل لمس قابل مشاهده اند.

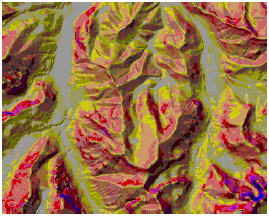


شکل : مدل فيزيکي سه بعدی

## - نمايش محصولات DTM

شيب

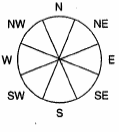
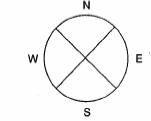
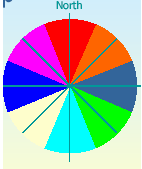
شيب ماکزيمم مقدار تغييرات ارتفاعي يک پيکسل در مقايسه با پيکسل های مجاور آن است. نقشه های شيب به صورت يک شبکه دارای مقدار شيب برای هر پيکسل (بر اساس رابطه ذکر شده برای تعيين شيب) تهيه مي شوند. برای نمايش اين نقشه ها از اختصاص رنگهای خاص به فواصل مشخصی از مقادير شيب استفاده ميشود.



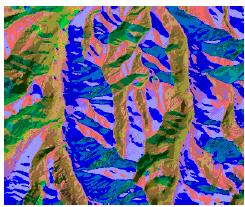
شکل : نقشه شيب

جهت شيب

جهت شيب، جهت ماکزيمم مقدار شيب را در يک پيکسل نشان مي دهد. بر اساس مقادير جهت شيب رنگها طبقه بندی مي شوند به طوري که هر رنگ مقادير خاصي از مقادير جهت شيب را نمايش دهد. و بر اساس اين طبقه بندی نقشه های جهت شيب تهيه مي شوند.

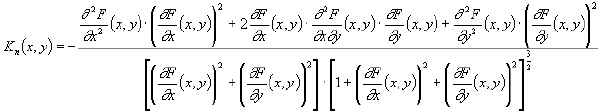
شکل : طبقه بندی رنگها



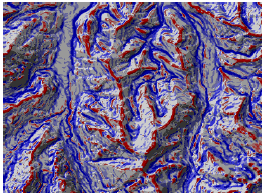
شکل : نقشه جهت شيب

پروفيل انحنای شيب

انحنای شيب نشان دهنده شکل ناهمواريهای زمين در جهت شيب است. مقدار اين انحنا بر اساس رابطه زير و با استفاده از داده های DTM به دست مي آيد.



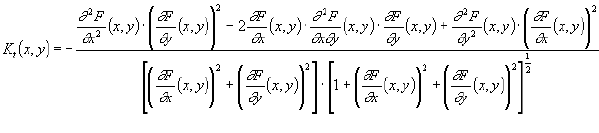
مقادير محاسبه شده برای اين خم در هر پيکسل به دست آمده و سپس بر اساس طبقه بندی رنگي، نمايش داده مي شود.



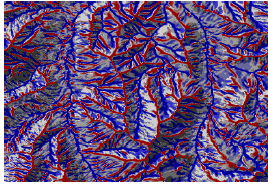
شکل : نقشه پروفيل انحنای شيب

پروفيل انحنا در جهت عمود بر شيب

اين خم نشان دهنده شکل ناهمواريهای زمين در جهت عمود بر شيب استکه بر اساس رابطه زير محاسبه مي شود.

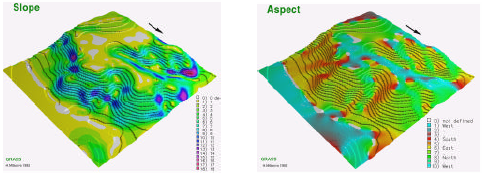


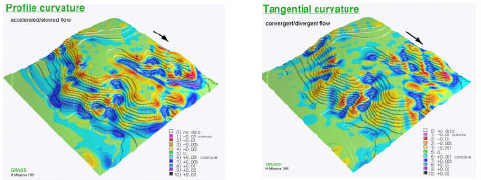
مقادير محاسبه شده برای اين خم در هر پيکسل به دست آمده و سپس بر اساس طبقه بندی رنگي، نمايش داده مي شود.



شکل : نقشه پروفيل انحنا در جهت عمود بر شيب

در شکل شماره مثالهای ديگري از نمايش محصولات DTM نشان داده شده است.





شکل : نمايش محصولات DTM

# ضمائم

## تعيين فاصله نمونه برداري بهينه Sampling interval) (Optimum

با توجه به وجود مشكلاتی چون Sampling – Under و Sampling – Over لازم است بهترين فاصله نمونه برداري به نحوی تعيين شود. بدين منظور معيارتعريف مي شود که در واقع مقدار دقت نقاط برداشت شده با يک فاصله نمونه برداری بهينه است. در واقع در صورتي فاصله نمونه برداری نقاط مورد تاييد قرار مي گيرد که مقدار دقت به دست آمده برای نقاط برابر  باشد. اين مقدار خطا بستگي به روش درونيابي و دقت اندازه گيري ها دارد.

چگونگي تعيين اين مقدار بهينه قبل از انتخاب نقاط و نمونه برداري

روش انترپوله خطي

يك DTM در صورتي دقت مناسب و نمونه برداري با تراكم كافي داشته است كه ارتفاع نقاط با دقت مناسبي از طريق درونيابي به دست آيد. يعني بايد ارتفاع نقاط درونيابي شده با مقدار واقعي معادل  باشد. برای به دست آوردن فاصله نمونه برداری بهينه، بر روي يك پروفيل تهيه شده از منطقه نقاطي نمونه برداري مي شود که ترتيب مراحل انجام شده بدين شرح مي باشد:

ابتدا فواصل نقاط نمونه برداري  انتخاب مي شود که  فاصله نقاط در پروفيل است.

با استفاده از روش درونيابي خطي ارتفاع نقطه وسط نقاط تخمين زده مي شود.

مقدار RMS محاسبه مي شود. (با توجه به مقدار واقعي و مقدار به دست آمده از روش درونيابي)

اگر ، مرحله 2 و 3 با اضافه كردن فاصله تكرار مي شود تا زمانيکه افزونگي داده وجود نداشته باشد.

اگر  مقدار  كاهش داده مي شود.

در اين نمودار ابتدا فاصله به اندازه  انتخاب شده و RMS محاسبه مي شود. در صورتيکه مفدار RMS خيلي كمتر از مقدار تعيين شده  باشد، فاصله زياد شده و RMS از طريق اختلاف بين مقدار درونيابي شده و مقدار واقعي حساب مي شود تا وقتي كه RMS كوچكتر از  باشد، همواره به مقدار اختلاف فاصله اضافه مي شود. تا جائيکه در مقدار ( 1 – K )، RMS كوچكتر از حد تعيين شده و در K بزرگترباشد. پس فاصله بهينه جايي بين اين دو است كه با فرمول زير به دست مي آيد. اين مقدار از اين پس به عنوان فاصله بهينه در نمونه برداري مورد استفاده قرار مي گيرد.

تعيين فاصله نقاط در حين نمونه برداري

در روش تدريجي تجزيه تحليل های لازم برای تعيين فاصله نمونه برداری بهينه، در طول عمل نمونه برداري انجام مي شود. اين کار به روشهای زير نجام مي شود:

- طبقه بندي زمين

بهترين DTM، آن است كه ناهمواري هاي سطح زمين را به بهترين نحو نشان دهد. به اين منظور زمين بايد برحسب درجه ناهمواري ها طبقه بندي شود. براساس اين طبقه بندي تراكم نقاط تعيين شده و نمونه برداری به صورت دستي يا اتوماتيك انجام مي شود. در روش دستي با تشخيص اپراتور و در روش اتوماتيك، تراكم نقاط با يك عمليات تكراري با توجه به منطقه، تعيين مي شود.

- تقسيم منطقه به قطعات كوچكتر

براي كم كردن حجم ذخيره داده در كامپيوتر و اخذ داده هاي كمتر لازم است كه منطقه مورد نظر به تكه هاي كوچكتر مساوي تقسيم شود تا نقاط هر قطعه با توجه به نوع ناهمواري ها در آن محل انتخاب شوند. تقسيم بندی ها معمولا به صورت مربعي انجام مي شود. ابعاد اين قطعات بستگي به مشخصات منطقه دارد.

تعداد تكرارها و اجرا شدن الگوريتم در روش تدريجي براي دستيابي به فاصله نمونه برداري بهينه به عوامل زير بستگی دارد:

سايز قطعات (a ×a)

شكل تغييرات زمين

دقت مشخص شده در تهيه DTM

اگر ابعاد قطعات مناسب انتخاب شده باشد معمولاً سه بار تكرار كافي است ولي در مواردي 1 يا 2 بار اجرای اضافه الگوريتم مورد نياز است.

اگر كل منطقه به صورت يك ماتريس m × m در نظر گرفته شود، هر قطعه مثل يك آرايه اين ماتريس است. هر قطعه با 5 نوع نقطه پوشيده مي شود. در هر بار اجرا يك سري از اين نقاط استفاده مي شود و هر بار تعداد نقاط بيشتر مي شود.

مرحله اول يا صفر محاسبه اختلاف ارتفاع بين نقاط همسايه است. انديس ، مختصات نقطه وسط دو نقطه همسايه است.

براي تعيين اختلاف ارتفاع هم مي توان اختلاف ارتفاع را به صورت سطري و ستوني براي هر دو نقطه يكي در ميان بدست آورد و يا همين روش را براي تعيين اختلاف ارتفاع به صورت قطري به كار برد.

فرمولها؟ جزوه کاغذی؟

تعيين معيار

در اين نمودار سه نقطه نمودار  و  و  برداشت شده اند.

در صورتي که ابتدا با انترپوله خطي بتوان به فاصله مناسبي (كه اين فاصله به دقت ارتفاع بستگي دارد) از ارتفاع واقعي رسيد، همين مقدار تراكم نقاط مناسب خواهد بود و در غير اين صورت تراكم نقاط بايد افزوده شود.





همچنين از چنين معياري مي توان براي تعيين gross error استفاده نمود.



كه ضريب C بستگي به نوع منطقه دارد.

نامساوي بالا بايد برقرار باشد يعني  آنگاه نقاط نمونه ديگر نياز نيست در غير اين صورت نقاط مياني و حواشي بايد گرفته شوند يعني مجموعه نقاط بعدي از بين 5 نقطه انتخاب كنيم و نمونه برداري تكراري شود . اين چارت پروگرسيو است.

روش نمونه برداري تدريجي براي تهيه DTM به صورت Online آناليز انجام مي دهد و Self – adjustment است براي تعيين و تراكم نقاط برداشت شده در منطقه به صورت local بررسي مي كند.

نمونه برداري ها و آناليزها به صورت متناوب تكرار مي شود و ابتدا با يك تراكم كم از نقاط شروع مي كند و با انجام آناليزها تراكم افزايش مي يابد بعد از رسيدن به معيار مورد نظر عمليات نمونه برداري متوقف مي شود.

چگالي داده هاي انتخاب شده با نوع ناهمواري هاي منطقه به صورت محلي فيت است.

سرعت عمل اين روش به علت استفاده از كامپيوتر در تعيين موقعيت   
( h و y وx ) نقاط بسيار افزايش مي يابد.

به علت استفاده از آناليز داده ها به صورت On – line امكان تشخيص خطاهاي بزرگ وجود دارد.

به علت استفاده از قطعات كوچكتر حجم اطلاعات ذخيره شده بسيار كمتر مي شود.

## فرمتهای DTM

اطلاعات مربوط به DTM های توليد شده در فرمتهای مختلفی ذخيره مي شوند. در اين قسمت به تعدادی از فرمتهای مهم و معمول برای ذخيره سازی DTM پرداخته مي شود.

1- GeoTIFF: يک فرمت استاندارد برای ذخيره سازی داده های مختصات دار در يک فايلTIFF است. TIFF يک فرمت استاندارد برای ذخيره سازی داده های رستر است. درGeoTIFF از يک مکانيزم خاص به نام Tag برای ذخيره سازی داده های مختصات دار در فايلTIFF استفاده می شود.

2- SDTS (Spatial Data Transfer Standard): يک فرمت عمومی برای ذخيره سازی و انتقال داده های vector و raster به همراه داده های توصيفی و MetaData و ... می باشد. استاندارد SDTS به گونه ای طراحی شده است که تقريبا هر نوع داده مکانی را تحت پوشش قرار مي دهد.

- داده های DTM موجود

1- SRTM (Shuttle Radar Topography Mission): يک ماموريت 10 روزه که توسط شاتل Endeavor در سال 2000 انجام شد. در اين ماموريت اطلاعات ارتفاعی برای تمام مناطقی که در عرض جغرافيايی +60 - -54 درجه قرار دارند تهيه شد. آماده سازی وValidation داده ها تا سال 2003 طول کشيد. DEM در فرمت SDTS و در Raster image profile تهيه شد.

2- GTOPO 30: يک Grid elevation data set که توسط USGS و NASA در سال 1996 برای کل زمين تهيه شده است. Resolution اين Dataset 30 ثانيه است. اين Dataset بعنوان ديتوم از WGS 84 استفاده می کند.

3- (digital terrain elevation data) DTED: که توسط NIMA در سه سطح تهيه شده است که به ترتيب دارای Resolution 30 ، 3 و 1 ثانيه هستند. اين Dataset بعنوان ديتوم ارتفاعی از GRS 80 و بعنوان ديتوم مسطحاتی از NAD 83 استفاده می کند.

4- :Australian Geodata 9-sec DEM يک Grid elevation dataset برای کل قاره Australia با Resolution 250 متر و با فرمت ASCII است. اين Dataset بعنوان ديتوم از AGD66 استفاده می کند.

## نرم افزارهای DTM

نرم افزارهای مرتبط با DTM به سه دسته كلي تقسيم بندي مي شوند:

نرم افزارهاي مختص DTM

نرم افزارهاي نقشه برداري و عمراني

نرم افزارهاي ديد سه بعدي از مدلها

دسته اول نرم افزارهايي را شامل مي شود كه صرفا مخصوص DTM بوده و عملياتي مثل مثلث بندي، توليد منحني ميزان و نمايشهاي مختلف DTM در آنها قابل انجام است. نرم افزارهاي زير جزء اين دسته از نرم افزارها مي باشند كه براي آماده سازي و كار با DTM برنامه ريزي شده اند. اين پنج نرم افزار از قويترين نرم افزارهاي DTM مي باشند.

GWN-DTM

ProSurf

EasySurf

Surfer

SurvCADDXML

دسته دوم نرم افزارهاي نقشه برداري و عمراني مي باشند كه كارهاي متفاوتي انجام مي دهند و كار با DTM يكي از قسمتهاي اين نرم افزارها مي باشد. نرم افزارهاي زير جزء اين دسته از نرم افزارها هستند كه براي آماده سازي و كار با DTM نيز برنامه ريزي شده اند. اين چهار نرم افزار از قويترين نرم افزارهايي هستند كه داراي بخشي براي كار با DTM مي باشند.

1- AutoCivil

2- CogoSoftware

3- River Cad

4- Softdesk

دسته سوم نرم افزارها بيشتر مخصوص كار بر روي DTM آماده شده و نمايش هاي سه بعدي مختلف و پرواز بر روي DTM مي باشند. نرم افزارهاي زير جزء اين دسته از نرم افزارها هستند كه بيشتر براي نمايش و كار بر روي سطوح سه بعدي استفاده مي شوند. يكي از سطوحي كه اين نرم افزارها مي توانند براي نمايش آن مفيد باشند DTM است.

1- Vista Pro

2- Visible DTM

3- Virtual Terrain Project

4- RoadViz

5- View 3d

6- TrueFlite

7- TerraTools

8- TerraVista

اين هشت نرم افزار از قويترين نرم افزارهاي نمايش سه بعدي مي باشند.

### پارامترهای موثر بر انتخاب نرم افزار

انتخاب يك نرم افزار مدلسازي زمين كار پيچيده اي است به خصوص براي نرم افزارهايي كه براي اولين بار وارد بازار مي شوند. در چهارچوب اين موضوع، ضرورتهاي مورد نظر كاربر و benchmarking المانهاي قاطعي هستند كه اجازه مي دهد نرم افزارها دقيقاً مورد تجزيه و تحليل قرار گرفته و كاملاً با هم مقايسه شوند.

در انتخاب يك نرم افزار چهار فاز اصلي بايستي مورد توجه قرار گيرد: آموزش و ارائه تكنولوژي به كاربر، تعريف مرحله اي كه در آن نيازمنديهاي كاربر كه براي محصول مورد نظر شرح داده شده است، مستند مي شود، ارزيابي محصولات و چرخه كاري نرم افزار انتخابي و مرحله آخر که به طراحي و تكميل نرم افزار بر مي گردد.

- شرح نيازهاي كاربر

تهيه نرم افزار در ابتدا توسط شرح نيازهاي كاربر هدايت مي شود. اين مسأله به انتظارات خريدار سنديت داده و فقط چيزهايي كه نرم افزار براي كاربرد موردنظر كاربر بايستي به آن دست يابد را شرح مي دهد. اين بحث باتوجه به نيازهاي كاربر صورت گرفته و به طور كلي جزئيات نيازهاي ضروري و انتخابي كاربران را شرح مي دهد كه شامل مواردي از جمله سطوح اجرايي مورد انتظار، محدوديتهاي طراحي سيستم، منابع داده ها و راهبردهاي تجاري مي باشد.

محك زني نرم افزارها بايستي شامل يك سري آزمايشهايي براي تعيين فوايد اجرايي و كارآيي آنها از ديدگاه كاربرد مدلسازي زمين باشد. برد و تأكيد آزمايشها بر مبناي دانش خريدار نرم افزارها، ميزان سرمايه گذاری و مشخصات كاربرد مورد نظر فرق مي كند. طراحي benchmark ممكن است توسط استراتژيهايي كه شامل مفاهيم كاربردي زير مي باشد، هدايت شود:

- تمامي توابع ضروري و موردنظر كه در شرح نيازهاي كاربر مشخص مي شوند

- ارزيابي جنبه هاي اجرايي كه اجازه پيش بيني منابع را مي دهد

- تمركز روي جنبه هاي ناآشناتر راه حل

- تأكيد روي ضعفهاي شناخته شده راه حل

آزمايشها بايستي براي ارزيابي وجود، كارآيي اجرايي، سودمندي، محدوديتها و قيود، ثبات، پيوستگي، پيوستگي به استانداردها، صحيح بودن (دقت)، انعطاف پذيري و كارآيي راه حلهاي تعيين شده، طراحي شوند. يك benchmark بايد شامل آزمايشهايي براي ارزيابي پارامترهاي زير در يك نرم افزار مدلسازي زمين باشد:

- دقت: روش معمول ارزيابي دقت يك DTM از طريق استفاده از يك مجموعه مستقل از نقاط كنترل است كه دقتي مساوي يا ترجيحاً بزرگتر از مجموعه داده هاي اصلي داشته باشند. مقادير مربوط به نقاط کنترل با مقادير انترپوله شده آنها در DTM مقايسه مي شود تا مقدار خطاي جذر ميانگين مربعي (RMSE) يا مقدار انحراف معيار كه پايه ارزيابي را تأمين مي كند، به دست آيد. حالت ايده آل آن است كه مجموعه داده هاي كنترلي از طريق نقشه برداري يا تكنيكهاي فتوگرامتري به دست آيند. اگرچه، درحالتي كه داده هاي اصلي با رقومي كردن داده هاي ارتفاعي از نقشه ها به دست آيند، مجموعه داده آزمايشي مي تواند توسط رقومي كردن ارتفاعات از يك نقشه بزرگ مقياس تر به دست آيد. در بدترين حالت، مجموعه داده هاي اصلي منحني ميزان ديجيتايز شده نيز مي توانند مورد استفاده قرار گيرند.

در ميان اين آزمايشهاي دقت ضروري است كه تعيين شود آيا نرم افزار، مجموعه داده های با مشخصات مختلف را مورد استفاده قرار مي دهد يا نه؟ مجموعه داده هاي تهيه شده با روشهاي مختلف جمع آوري داده ها، پراكندگيها، حجمها، شروط ساختاري (خطوط شكستگي)، توزيعات فضايي، دقتها و انواع حالتهاي مختلف زمين، بستي قابل استفاده باشند.

- اجرا: زمانهاي سپري شده بايستي براي عملياتی از انواع زير ثبت شوند:

شكل گيري DTM از داده هاي خام ارتفاعي

درونيابي منحني ميزانها

نمايش داده ها (ابتدايي و نمايشهاي بعدي)

ايجاد پايگاه داده از مجموعه داده هاي انتخاب شده

مجموعه داده هايي با حجمهاي مختلف بايد آزمايش شوند تا رابطه بين اندازه مجموعه داده و اجرا تعيين شود.

- محدوديتها: يك مثال حداكثر تعداد نقاط داده خام و شكستگيها است كه مي توانند به عنوان ورودي براي توليد DTM پذيرفته شوند.

- ابزارهاي ويرايشي: جدا از ارزيابي غني بودن نرم افزار از نظر ابزارهاي ويرايشي، تستها بايد اين توانايي را براي سيستم آزمايش كنند كه نرم افزار به صورت اتوماتيك اطلاعات ارتفاعي از درجه دقت بالاتر را دوباره محاسبه كند. مثلاً، اگر داده هاي خام ويرايش شوند، سيستم بايستي به صورت اتوماتيك DTM و هريك از محصولات به دست آمده مانند منحني ميزانها را در منطقه موردنظر بازسازي كند.

- توليد محصولات: اهداف موردنظر در توليد محصولات كيفي كارتوگرافي مانند حذف بخشهايي از منحني ميزان برمبناي معيار شيب، قرار دادن اتوماتيك Label براي منحني ميزانها، انتخاب الگوريتمهاي هموار سازي منحني ميزانها و تكنيكهاي نمايش گرافيك كامپيوتري بايستي مورد ارزيابي قرار گيرند.

- يکپارچگی كاربــــردها: همگي كاربردهايي كه در نـرم افزارهاي مدلسازي زمين پشتيباني مي شوند، بايستي به صورت نزديكي به هم مرتبط بوده و يك نرم افزار پيوسته را تشكيل دهند که در تقابل با كاربر داراي ثبات باشند و از يك DBMS براي تشريح و كنترل محيط استفاده كند.

- پذيرش انواع مختلف داده هاي خروجي: پشتيباني انواع مختلف و فرمتهاي مختلف داده ها و محصولات GIS، نقشه برداري رقومي،CAD .

- تقابل با كاربر: پذيرش تكنولوژيهاي بر مبناي كامپيوتر در محيطهاي مرسوم اغلب بر مبناي قضاوت كاربران جديد و تقابل انسان- ماشين پايه گذاري مي شود. اگر كاركردي كه ارائه مي شود پايدار و مؤثر و با استفاده از زبان محلي باشد در نتيجه كاربران در كارشان انگيزه پيدا مي كنند و ريسك عدم پذيرش نرم افزار از سوي كاربران كاهش مي يابد. بنابراين benchmark بايستي اين جنبه مهم از يك نرم افزار را مورد بررسي قرار دهد.

- انعطاف پذيري: همه خريداران اين نوع سيستم ها، خواهان پيوستگي سيستم با محيط خاص مورد نظرشان هستند. benchmark بايستي به صورتي طراحي شود كه توليد كننده را وادار سازد كه توابع خاص مورد نظر خريدار را تأمين كند، بنابراين اجازه ارزيابي ابزارهاي خاص مورد نظربه کاربر داده مي شود.

به صورت ايده آل، كاربردهاي موردنظر بايستي با استفاده از يك زبان سطح بالاي برنامه نويسي اجرا شوند نه يك زبان سطح پائين برنامه نويسي.

به منظور ارزيابي كامــل نرم افزارها ، آزمايش benchmark بايستي در سه بخش سازمان دهي شود:

وظايف موردنظر بايستي باتوجه benchmark تكميل شوند، مثلاً، شرح مدل داده ها براي فراخواني داده هاي رقومي و ايجاد كاربريهايي كه توسط خريدار مشخص شده است.

وظايف از پيش تعيين شده بايستي به صورت زنده در طول benchmark اجرا شوند، مثلاً ويرايش DTM.

وظايف غافلگيرانه كه بايستي در طول benchmark انجام شوند. اين موارد مي توانند به صورت ازپيش درنظر گرفته شده يا به صورت خود به خود باشند.

اكثر تستهاي مورد نياز به صورت خود به خود انجام مي گيرند. درنظر گرفتن اين حالتهاي خاص هوشمندي، انعطاف پذيري و قدرت نرم افزارها را افزايش مي دهد.

1. Geographic positioning system [↑](#footnote-ref-1)
2. Inertial Navigation System [↑](#footnote-ref-2)
3. Filtering [↑](#footnote-ref-3)