کارگاه آموزشی مدلسازی در آبیاری و زهکشی
۲۴ آذر ماه ۱۳۸۴

مدل‌های رایانه‌ای کاربردی: بررسی روش تولید نرم افزار جامع تسطیح اراضی Level CAD

احسان روشنی[۱]، صلاح کوچک‌زاده[۲]

چکیده

با توجه به پیشرفت‌های زیادی که در زمینه علوم رایانه‌ای صورت گرفته است، استفاده و تولید مدل‌های رایانه‌ای جدید نیز با سرعت چشمگیری روبروست. در این مقاله ابتدا روند تاریخی تولید مدل‌های رایانه‌ای مرور شده است سپس ویژگیها و نحوه تولید مدل‌های رایانه‌ای شئ گرا بررسی شده و در نهایت فرآیند تولید نرم افزار جامع تسطیح اراضی به عنوان مثال مورد بررسی قرار گرفته است.

مقدمه و تاریخچه مدل‌های رایانه‌ای

اولین رایانه‌ها برای حل مدل‌های ریاضی ابداع شدند. اما مدل‌های رایانه‌ای امروزی از ۱۹۷۰ به بعد با اختراع کامپیوترهای شخصی توسعه یافتند و تا به امروز پیشرفتهای چشمگیری داشته‌اند. مدل‌های کامپیوتری براساس تاریخچه و روش ارائه داده‌ها و اطلاعات به سه دسته تقسیم می‌شوند.

- مدل‌های اولیه مبتنی بر روش متن دستوری
- مدل‌های متنی گرافیکی
- مدل‌های شی گرا (گرافیکی)

۱- مدل‌های متن دستوری

این مدل‌ها اولین مدل‌های محاسباتی تهیه شده برای رایانه‌ها بودند. و در زمان خود انقلابی را در انجام محاسبات ایجاد کردند. اغلب این مدل‌ها توسط مراکز دانشگاهی توسعه یافتند. از مزایا و معایب این مدل‌ها می‌توان موارد زیر را نام برد.

۱- کارشناس ارشد مهندسین مشاور لار
۲- دانشیار گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

- کاهش چشمگیر زمان انجام محاسبات از محاسبات دستی به محاسبات اتوماتیک
- کاهش خطای محاسبات (قطع کردن و گردکردن)
- زمانبر بودن ورود داده‌ها و اجبار در رعایت قالب‌های بسیار شکننده ورودی
- با توجه به اینکه این مدل‌ها اغلب محاسبات تکراری دستی را به محاسبات اتوماتیک تبدیل کرده بودند بنابراین دقت نتایج خروجی نسبت به نتایج حاصل از روش دستی تغییر چندانی نکرده بود.
- خروجی این مدل‌ها نیز بصورت متنی بود که پس از انجام محاسبات باید به شکلهای دیگر تبدیل می‌شدند.

۲- مدل‌های متنی گرافیکی

با ورود شرکتهای برنامه نویسی به زمینه تولید نرم افزارهای مهندسی این مدل‌ها شکل گرفتند. این مدل‌ها تقریبا همان مدل‌های متنی بودند که برنامه گرافیکی بسیار ساده‌ای وظیفه اخذ داده‌های ورودی اولیه از کاربر و تنظیم فایل داده‌ای برنامه را به عهده داشت. در بعضی از این مدل‌ها نیز بخشی را برای تفسیر نتایج خروجی و یا تولید گراف و نقشه گنجانیده بودند.

از ویژگیهای این مدل‌ها می‌توان موارد زیر را نام برد.

- کاهش خطا در ورود داده و در نتیجه کاهش زمان انجام محاسبات
- افزایش کارایی نرم افزار (آسان‌تر شدن استفاده – کاربرپسند بودن)
- در اغلب این مدل‌ها تغییری در دقت نتایج خروجی نسبت به دسته اول نرم افزار صورت نگرفته بود.

۳- مدل‌های شی گرا (گرافیکی)

این دسته از مدل‌های جدیدترین نوع مدل‌های رایانه‌ای هستند که با پیشرفت بسیار زیادی که در علوم رایانه‌ای صورت گرفته است ایجاد شده و توسعه یافته‌اند. اغلب این مدل‌ها شامل سه بخش هستند. در بخش اول داده‌ها از کاربر به طرق مختلف اخذ می‌شود. بخش دوم موتور محاسباتی نامیده می‌شود. پس از انجام محاسبات، نتایج از موتور محاسباتی اخذ شده و به پس پردازنده اطلاعات جهت تولید خروجی‌های متنوع وارد می‌شود.

بدلیل مجزا بودن بخشهای گرافیکی (ورودی خروجی) از بخش محاسباتی این امکان فراهم می‌آید که متخصصین در هر بخش بصورت جداگانه‌ای عمل کرده و در نهایت مدل هم از نظر محاسباتی خطای کمتری دارد و هم از نظر گرافیکی امکانات بسیاری را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. بهترین ویژگی این مدل‌ها مکان استفاده از موتور محاسباتی تولید شده در ایجاد مدل‌های دیگر را نام برد.

مراحل تولید یک مدل کامپیوتر

جهت تولید یک مدل رایانه‌ای باید مراحل زیر را دنبال نمود.

۱- بررسی روش‌های محاسباتی موجود

در این مرحله تمامی‌مزایا و محاسن روشهای موجود به دقت بررسی می‌شود. همیشه بخاطر داشته باشید که با رایانه می‌توان پیچیده ترین محاسبات را انجام داد بنابراین تا جایی که ارزش مهندسی محاسبات مجاز می‌داند باید فرضیات ساده کننده مسأله را حذف نمود. با این عمل بخشهای زیادی از خطای محاسبات کاهش می‌یابد.

۲- بررسی نیازهای کاربر

تأمین نیازهای کاربر از جمله مواردی است که می‌تواند به موفقیت یک مدل بیانجامد بنابراین قبل از شروع کار باید برآورد دقیقی از نیازهای کاربر صورت گیرد. یکی از بهترین روشهای تعیین نیازها، انجام یک پروژه بصورت کامل است همچنین می‌توان از اطلاعات افراد دارای تجربه در این زمینه نیز استفاده کرد.

۳- بررسی نرم افزارهای موجود

کامل کردن لیست نیازهای کاربر هدف عمده این بخش است. در این بخش نوع ورود داده‌ها، انجام محاسبات و نحوه ارائه خروجی‌ها در نرم افزارهای مشابه باید مورد بررسی قرار گیرد و در هر بخش بهترین شیوه انتخاب شود.

۴- شناخت ابزارهای موجود

اغلب الگوریتمهای محاسباتی به چند الگوریتم کوچکتر تقسیم می‌شوند. از سوی دیگر بسیاری از این الگوریتم‌های کوچکتر توسط دیگران بصورت کدهای رایانه و یا اشیاء تبدیل شده‌اند بنابراین می‌توان از این کدها در تولید مدل استفاده کرد.

انتخاب ابزار صحیح و استفاده به هنگام از آن منجر به جلوگیری از دوباره کاری و در نتیجه کاهش زمان طراحی مدل خواهد شد. ابزارهای رایانه‌ای را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد.

- محیط برنامه‌سازی
- مجموعه کدهایی که توسط دیگران تهیه شده است.

ویژگیهای محیط برنامه سازی

با توجه به نزدیک شدن امکانات و توانایی‌های محیط‌های برنامه‌سازی مختلف به یکدیگر مهمترین عامل در انتخاب محیط برنامه سازی تسلط مدل کننده به آن محیط است. عدم شناخت کافی از یک محیط برنامه‌سازی در بسیاری از موارد منجر به پیچیده‌تر شدن حل مسأله شده که در نهایت بار محاسباتی

رایانه را افزایش داده و در کاهش دقت نتایج حاصله نیز موثر است. از سوی دیگر محیط برنامه‌سازی انتخابی باید بتواند با ابزارهای دیگر براحتی ارتباط برقرار کند.

استفاده از کدهای دیگران

کدی را که می‌خواهید استفاده کنید باید دارای سه ویژگی باشد.

- به محاسبات انجام شده توسط آن اطمینان داشته باشید.
- برای اجرا به فایل‌های متعددی نیاز نداشته باشد (قائم به ذات باشد)
- به آسانی بتوان از آن استفاده نمود.

برنامه نویسی

در زمان برنامه نویسی باید به نکات زیر توجه نمود.

- استانداردهای برنامه نویسی را باید تا حد امکان رعایت نمود
- برای کدها توضیح نوشته شود تا در موقع ارجاع و بازخوانی موجب سردرگمی‌نگردد.
- برای حل یک مساله الگوریتمهای زیادی وجود دارد، ساده ترین آنها بهترین آنها است.
- خطاهای زمان اجرا کنترل گردد.
- پس از اتمام برنامه یک بار دیگر بازخوانی شود و الگوریتمها را در صورت امکان ساده‌تر گردد.
- رابط کاربر گرافیکی بگونه‌ای طراحی گردد که کاربر حداقل داده‌ها را وارد نماید ولی بتواند حداکثر کنترل را برروی مدل داشته باشد.
- با استفاده از برنامه نویسی شی گرا بخش‌های مختلف برنامه را (محاسباتی و ...) به صورت اشیاء قابل استفاده در دیگر محیط‌های برنامه نویسی تبدیل کنید.

بطور کلی باید دو ویژگی زیر را در تولید یک مدل محاسباتی در نظر گرفت.

الف) افزایش دقت حل مسأله با تجدید نظر در روش حل

ب) تأمین نیازهای کاربر به طرق مختلف (تولید ابزارهای مختلف در ورود داده‌ها و ارائه خروجی‌ها)

انجام مراحل یک مثال

هدف: طراحی یک مدل محاسباتی برای تسطیح اراضی

مرحله اول: بررسی نیازهای کاربر

تهیه لیستی از نیازهای کاربر جهت طراحی و انجام محاسبات تسطیح که در ادامه بخشی از این لسیت آمده است.

- محاسبه احجام عملیات خاکی و ... با دقتی بیش از دقت روشهای موجود.

- کنترل ارتفاع سطح آب خروجی از مزرعه و ورودی به مزرعه
- آنالیز قیمتها براساس فهرست بها
- محاسبه شیبهای بهینه از روشهای مختلف و تعیین ارتفاع بهینه صفحه تسطیح
- توانایی محاسبه مجدد پارامترها با تغییر داده‌های ورودی
- تسطیح اراضی شالیزاری
- تهیه نقشهای خروجی با فرمتهای قابل قبول عمومی(Dxf , Dwg) در لایه‌های مختلف اطلاعاتی
- تهیه جداول خروجی برای یک مزرعه و یا برای چند مزرعه بصورت کلی
- گزارش گیری کلی از احجام علمیات خاکی و ...
- تبدیل فایلهای دوبعدی به سه بعدی (جهت ورود داده‌ها)
- استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، فایل نقاط و یا نقشه نقاط تاکئومتری، در ورود داده‌ها بصورت اتوماتیک
- ورود داده‌ها بصورت دستی و یا فایل در یک شبکه متعامد
- محاسبه اختلاف احجام عملیات خاکی محاسبه شده و اجرا شده
- ترسیم خطوط توپوگرافی مزرعه بعد از تسطیح
- ترسیم خطوط هم ارتفاع خاکبرداری و هم عمق خاکریزی
- ....

مرحله دوم بررسی روشهای محاسباتی و و ارائه روش جدید

روشهای متداول تعیین مشخصات صفحه تسطیح

تسطیح اراضی زراعی باید به سطحی منجر شود که دارای شیبهای مجاز در جهت آبیاری و عمود بر آن باشد. بطور کلی این روشهای را می‌توان به دو دسته تقسیم بندی کرد. روشهای مبتنی بر سطح مستوی و روشهایی که در نهایت به سطحی غیر مستوی منجر می‌شوند.

۱- روش‌های سطح مستوی[1]

در این دسته از روش‌ها، سطح زمین پس از عملیات تسطیح تبدیل به سطحی دارای شیبهای یکنواخت در جهات طولی و عرضی می‌شود، برای محاسبه مشخصات صفحه تسطیح ابتدا مرکز ثقل سطح مشخص می‌شود سپس از این نقطه صفحه‌ای با ارتفاعی معادل ارتفاع متوسط عبور داده می‌شود. در چنین حالتی بدون توجه به شیب صفحه، حجم خاکبرداری معادل حجم خاکریزی خواهد بود. اما از آنجا که لازم است که حجم خاکبرداری بیشتر از خاکریزی باشد، صفحهٔ تسطیح کمی‌پایین آورده می‌شود.

1. Plane Surface Method

روشهای متداول برای بدست آوردن مشخصات صفحه تسطیح در پروژه‌های آبیاری و زهکشی شامل پنج روش است. این روشها عبارتند از روش حداقل مربعات[۱]، مرکز حجم ثابت[۲]، روش نیمرخ میانگین[۳]، روش میانگین وزنی[۴]، و روش باقی مانده‌های متقارن[۵] است[1,11] . این روشها در پنج دهه گذشته متداول بوده و تغییر عمده ای در آنها به وجود نیامده است. با توجه به حجم عملیات محاسباتی که روشهای تسطیح با آن روبرو هستند، مدل‌ها و برنامه‌های کامپیوتری مختلفی تدوین شده اند که مورد استفاده مهندسین قرار گرفته است[1,9,12].

جیوان[۶] از روش آماری حداقل مربعات برای محاسبهٔ بهترین شیب در تسطیح اراضی استفاده نمود. وی با وجودی که فرمولهای مربوطه را در یک حالت کلی ارائه داد اما از آنها فقط برای محاسبه بهترین شیب در زمینهای مستطیل شکل استفاده کرد.پس از او از این روش برای تسطیح زمینهای نامنظم نیز استفاده شد.

مطابق روش حداقل مربعات، چنانچه از میان تعدادی نقطه در فضا یک صفحه مستوی به ترتیبی عبور دهیم که مجموع مربعات فواصل عمودی نقاط تا صفحه حداقل باشد، این صفحه بهترین صفحه برای نمایش رابطهٔ خطی بین ارتفاع و طول و عرض این نقاط است. بعبارت دیگر این صفحه، بیش از هر صفحه دیگری به این نقاط نزدیک است [1,9].

اما در روش مرکز حجم ثابت سطح مستوی به گونه ای تعیین می‌شود که حداقل جابجایی در خاک سطحی صورت گیرد. برای دستیابی به این هدف بایستی سطح مستوی نزدیکترین فاصله را با سطح طبیعی زمین داشته باشد طوری که فرورفتگی‌های موضعی بوسیله خاک نقاط مرتفع مجاورشان پر شوند بدون اینکه جابجایی قابل ملاحظه ای برای انتقال خاک به محل فرورفتگیها صورت گیرد. در چنین حالتی شکل کلی، تغییر محسوسی ننموده و در نتیجه، حتی بعد از تسطیح، مرکز حجم آن نسبت به هر دستگاه مختصاتی ثابت باقی می‌ماند[1,11].

روش نیمرخ میانگین عمدتا برای تسطیح زمینهای منظم که به شکل مربع یا مستطیل هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصول آن بر اساس روش آماری حداقل مربعات مبتنی است. برتری آن به روش حداقل مربعات آسانی محاسبات است. در این روش برای محاسبه شیب‌های صفحه تسطیح ابتدا برای نقاط هر سطر و هر ستون بطور جداگانه خطی را به روش حداقل مربعات برازش می‌دهند. سپس میانگین شیب این خطوط را برابر شیبهای صفحه تسطیح قرار می‌دهند.[1]

---

1. Least Square Method
2. Fixed Volume Center Method
3. Average Profile Method
4. Weighted Average Method
5. Symmetrical Residuals Method
6. C. V. Givan

روش میانگین وزنی همان روش نیمرخ میانگین است که در زمینهای نامنظم به کار می‌رود چنانچه شکل زمین مربع یا مستطیل نباشد از میانگین ارتفاعی نمی‌توان برای محاسبهٔ بهترین شیب استفاده کرد. زیرا تعداد نقاط در ردیفها و یا ستونهای مختلف با هم برابر نیستند. در نتیجه میانگین ارتفاعات از وزن مساوی برخوردار نیست. در این حالت می‌توان بهترین شیب را برای هر ردیف یا هر ستون با استفاده از ارتفاع نقاط در آن ردیف و یا آن ستون محاسبه سپس میانگین وزنی آنها را به دست آورد. بهترین شیب در جهت ردیفها و یا ستونها برابر است با میانگین وزنی شیب برای ردیفها و یا ستونها . وزنی که به شیب هر ردیف و یا هر ستون تعلق می‌گیرد با تعداد نقاط آن ردیف و یا آن ستون برابر است.[1,11].

اما در روش باقی مانده‌های متقارن ابتدا شیب ردیفها (و ستونها) محاسبه می‌شود. سپس با در نظر گرفتن ضریب وزنی برای هر ردیف و یا هر ستون بهترین شیب سطح مستوی در جهت ردیفها و یا ستونها محاسبه می‌گردد. تفاوت این روش با روش میانگین وزنی در این است که در این روش از حداقل مربعات برای محاسبه بهترین شیب در هر سطر و یا ستون استفاده نمی‌شود. گرچه به نظر می‌رسد که فرمول‌های این روش مفصل تر از سایر روشهای با دقت معادل هستند، حجم محاسبات آن با حجم محاسبات روشهای دیگر تفاوت چندانی ندارد.[1,7]

۲- روش سطوح غیر مستوی

در این روش برخلاف روش قبل زمین تسطیح شده به یک سطح مستوی تبدیل نشده بنابراین دارای شیب‌های غیر یکنواخت خواهد بود. ولی این شیبها در محدوده شیبهای مجاز برای آبیاری می‌باشند. در این روش چون زمین تسطیح شده به شکل زمین واقعی نزدیک تر است بنابراین حجم عملیات خاکی لازم برای تسطیح کاهش می‌یابد.

اساس این روش‌ها بر وجود چند شیب مختلف در هر جهت (طولی و عرضی) استوار است. برای محاسبه این شیبها و طول هر شیب از برنامه ریزی خطی استفاده می‌شود. دقت محاسبات در این دسته از روش‌ها معادل دقت روشهای قبل است. نقص عمده این روش‌ها در مشکلات اجرایی آن است. [2,10]

محاسبهٔ احجام عملیات خاکی

برای محاسبهٔ احجام عملیات خاکی روشهای متفاوتی توسط محققین مختلف ارائه شده است. از جمله این روشها، روش چهار نقطه[۱]، روش شبه منشوری و روش جمع زدن[۲] و روش شیه و کریز[۳] را می‌توان نام برد. در این روشها زمین را به سلولهای مساوی مربع یا مستطیل شکل تقسیم می‌کنند سپس حجم هر مکعب را محاسبه می‌کنند و از جمع احجام این سلولها حجم عملیات خاکی کل حاصل می‌شود[1,11].

1. Four point method
2. Prismoidal Formula and Summation method
3. Shih and Kriz Method

۴- این روش تحت عنوان End Area Method نیز نامیده می‌شود

بطور کلی هیچ یک از روشهای فوق حجم دقیق خاکبرداری (و یا خاکریزی) را بدست نمی‌دهند . زیرا هر کدام از آنها بر فرضیاتی متکی است که تا حدود با واقعیت تفاوت دارد. در هر یک از روشهایی که شرح داده شد سطح طبیعی زمین بین دو نقطهٔ متوالی شبکه به شکل خاصی فرض گردیده است. در روش جمع زدن فرض بر آن است که ارتفاع سطح طبیعی زمین در فاصله $\frac{D}{2}$ از هر طرف یک نقطه، ثابت است. که D طول ضلع سلول مربعی است. در روش چهار نقطه سطح طبیعی زمین بین دو نقطه متوالی یک خط مستقیم با شیب یکنواخت فرض شده است . در روش شیه و کریز این سطح یک منحنی مواج تصور گردیده است. اما سطح طبیعی زمین بین دو نقطهٔ متوالی با هیچ یک از فرضیات فوق تطابق ندارد. این سطح در واقع یک منحنی کاملاً نامنظم است که نمی‌توان آن را با یک معادله مشخص کرد.[1,7,9,11]

به دلایل مختلفی درعمل حجم خاکبرداری را باید بیشتر از حجم خاکریزی در نظر گرفت. در قسمت خاکریزی بر اثر عبور ماشینهای تسطیح خاک فشرده می‌شود طوری که لزوم افزایش خاکبرداری را سبب می‌گردد. گرچه به نظر می‌آید که زمین در قسمتهایی که خاکبرداری شده فشرده‌تر شود. زیرا عبور ماشینها تسطیح در این قسمتها بیشتر است اما بررسی‌های انجام شده بر روی خاکهای معدنی خشک خلاف این مطلب را نشان داده است[1,11].

مار[1] معتقد است که بر اثر خطای باصره، قسمت وسط زمین تراز بین دو میخ چوبی به نظر فرو رفته می‌آید. در نتیجه رانندگان ماشین‌های تسطیح خاک بیشتری در این قسمت می‌ریزند. لذا بجای یک سطح مستوی یک سطح نا صاف بدست می‌آید. بنابراین باید صفحه تسطیح را مقداری پایین کشید تا مقدار حجم خاکبرداری از خاکریزی بیشتر شود. برای مشخص کردن میزان پایین آوردن صفحه روشها مختلفی ارائه شده است. در تمامی‌این روشها مجددا با فرض برابر بودن وزن هر نقطه میزان پایین آوردن صفحه را مشخص می‌کنند. رابطه (۱) نمونه ای از این فرمولها است که در زیر ارائه شده است.

$$d = \frac{1+R}{2RN}\left(R\sum F - \sum C\right) \qquad (۱)$$

در این معادله d میزان ارتفاعی است که صفحه تسطیح باید تعدیل شود. R نسبت خاکبرداری به خاکریزی مناسب، N تعداد کل نقاط، F ارتفاع خاکریزی در هر نقطه، و C ارتفاع خاکبرداری در هر نقطه است.

علاوه بر فرض مساوی بودن اوزان، در این روش فرض دیگری نیز وجود دارد که باقی ماندن هر نقطه در وضعیت قبلی خود است. یعنی اگر نقطه‌ای قبل از تعدیل کردن احجام در خاکریزی باشد بعد از تعدیل نیز فرض می‌شود که در حالت خاکریزی باقی می‌مانند. این شرط زمانی درست است که مقدار خاکریزی تمام نقاط از d بدست آمده از رابطه (۱) بزرگتر باشد. در صورتی که در عمل چنین نیست.

صرف نظر از روش تسطیح و روش محاسبه حجم مراحل تسطیح شامل:

---

1. James C. Mar

برداشت نقاط با استفاده از یک شبکه متعامد، محاسبه شیب‌های صفحه تسطیح، محاسبه میزان تعدیل ارتفاع صفحه تسطیح شده، و محاسبه احجام عملیات خاکی می‌باشد.

مواد و روشها

به منظور کاهش حجم محاسبات دو فرض زیر در تمام روشهای تسطیح پذیرفته شده است:

۱- ارتفاع هر نقطه نمایانگر ارتفاع نقاط در سطحی مساوی با سطح هر سلول از شبکهٔ تسطیح می‌باشد. این بدان معناست که برای ارتفاع هر نقطه در شبکه وزن مساوی اختصاص داده می‌شود. در صورتی که این اوزان برای نقاطی که در گوشه‌ها یا کناره‌های زمین قرار دارند با دیگر نقاط متفاوت است.

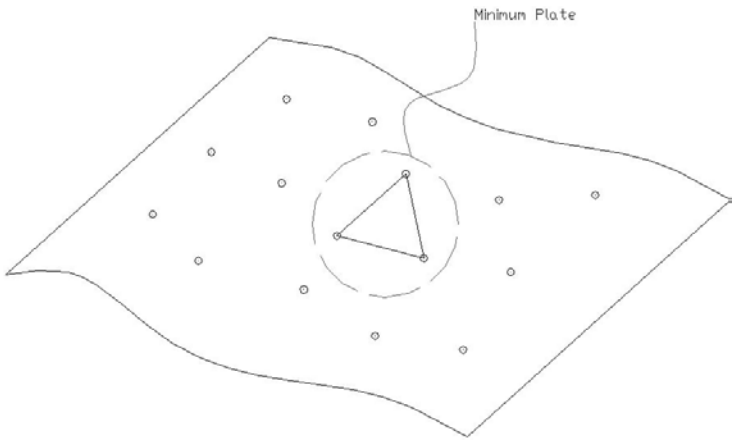
۲- مرکز ثقل زمین با استفاده از فرض برابری اوزان محاسبه می‌شود این امر از ابتدا خطا وارد محاسبات کرده، باعث می‌شود که صفحهٔ تسطیح از نقطه‌ای بگذرد که احجام در آن بهینه نیست. یعنی در واقع حجم خاکبرداری و خاکریزی با هم برابر نیست در صورتی که محاسبات، حجم برابر را نشان می‌دهد. این خطای محاسباتی زمانی که مزرعه دارای گوشه‌های متعدد و یا زوایای تند است تشدید می‌شود. فرض برابر بودن اوزان هر نقطه خطاهایی نیز در محاسبه احجام عملیات خاکی وارد می‌کند که منجر به پایین آمدن دقت محاسبات و یا حذف شدن برخی از قسمتهای زمین واقعی در روند محاسبه احجام عملیات خاکی می‌گردد.

روش پیشنهادی در این مقاله بگونه‌ای است که خطاهای یاد شده را به حداقل می‌رساند. در این روش ابتدا با استفاده از نقاط نقشه برداری شده یک شبکه مثلثی تشکیل می‌شود. سپس با در نظر گرفتن مرزهای زمین، شبکه بر تمام نقاط سطح زمین گسترش داده می‌شود. پس از آن با استفاده از روش میانگین وزنی شیبهای بهینه تعیین می‌گردد. به این ترتیب مشخصات صفحه تسطیح محاسبه می‌گردد. با محاسبه احجام عملیات خاکی و مقایسه آن با معیارهای مورد نظر امکان تعدیل صفحه تسطیح میسر می‌شود. در این مقاله از روش نیوتن رافسون برای تعیین موقعیت مطلوب صفحه تسطیح بهره گرفته شده است.

روش Composite

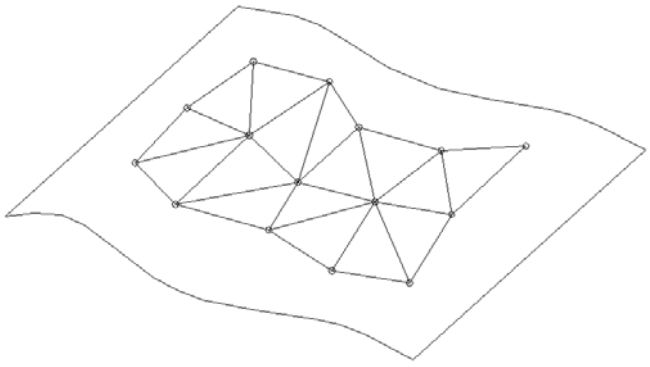
مبانی محاسبات این روش استفاده از منشورهای مثلثی با حداقل حجم ممکن است. برای محاسبه حجم یک جسم لازم است مساحت سطوح ابتدا و انتها و نیز فاصله رئوس این سطوح از یکدیگر مشخص باشد. بنابراین در مرحله اول باید سطوح ابتدایی و انتهایی را تشکیل داد.

تشکیل این سطح برای زمین بعد از تسطیح ساده است زیرا این سطح شامل یک صفحه با شیبهای ثابت است. اما سطح زمین طبیعی را بدلیل وجود ناهمواریها، نمی‌توان با یک صفحه با شیبهای ثابت مدل کرد . از نظر عددی این سطح را می‌توان به بی نهایت صفحه با شیبهای متغیر تقسیم کرد که هر چه مساحت این سطوح کوچکتر باشد شکل کلی به دست آمده به شکل سطح اصلی نزدیک تر خواهد بود.



شکل۱- کوچکترین صفحه‌ای که می‌توان در میان نقاط نقشه برداری شده برای مدل کردن سطح زمین ایجاد کرد.

در نقشه برداری نقاط با تراکم خاصی برداشته می‌شوند. بنابراین صفحات را تا زمانی می‌توان کوچک کرد که حداقل سه نقطه نقشه برداری شده برای محاسبه شیبهای صفحه درون آن قرار گیرد (شکل ۱). بنابراین اولین مرحله، ایجاد این صفحات و تشکیل مدل زمین واقعی است. این صفحات کنار هم را که برای تشکیل مدل زمین واقعی ایجاد شده اند از این پس سطح زمین طبیعی می‌نامیم (شکل ۲). نمونه‌ای از این سطح را نشان می‌دهد.



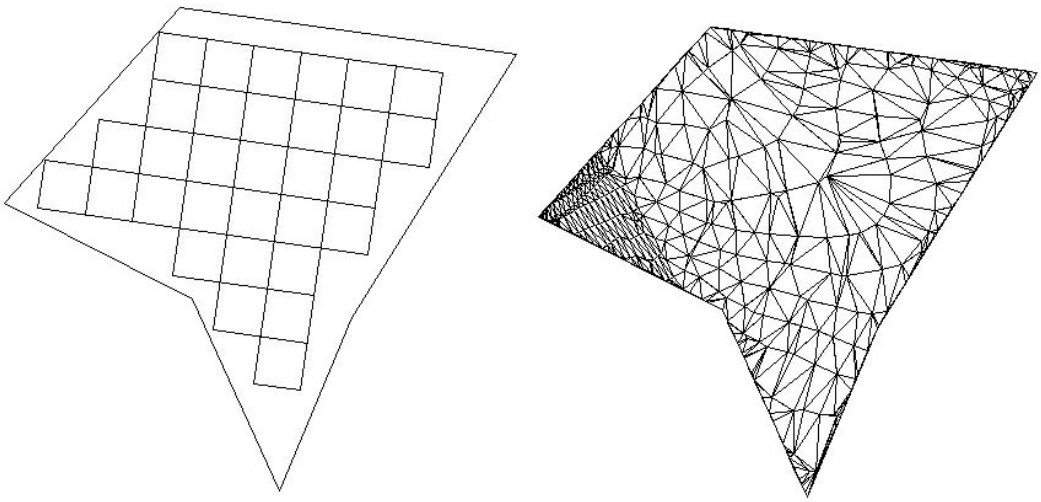
شکل ۲- ایجاد صفحات مثلثی، برای مدل کردن زمین طبیعی

باید توجه داشت که در رأس هر یک از این صفحات یک نقطه نقشه برداری شده وجود دارد. با داشتن رئوس مربوط به این صفحات می‌توان معادله هر صفحه را در فضا بدست آورد. با استفاده از این معادلات می‌توان ارتفاع نقاطی را که در میان نقاط نقشه برداری شده نیستند با میان‌یابی محاسبه کرد. مزیت استفاده از این روش آنست که دیگر نیازی به نقشه برداری متعامد نیست . یعنی اینکه می‌توان با استفاده از نقاط برداشت شده در نقشه برداری تاکئومتری، رقوم نقاط مورد نیاز برای شبکه بندی در تسطیح را با

میانیابی بدست آورد. در نتیجه هزینه نقشه برداری متعامد، که در عملیات تسطیح قابل توجه است با این روش حذف می‌شود.

با استفاده از این روش می‌توان سطح زمین را با دقت بیشتر مدل کرد. زیرا که در این روش از صفحات مثلثی بجای صفحات مربع یا مستطیل استفاده می‌شود و این صفحات مثلثی در واقع می‌توانند کوچکتر از صفحات چهار گوشه باشند. مزیت دیگر استفاده از صفحات مثلثی، ایجاد منشورهای سه وجهی در محاسبه حجم است. در واقع در محاسبه حجم یک جسم نا متوازن هرچه که این جسم، به احجام کوچکتری تقسیم شود، مجموع این احجام به حجم جسم اصلی نزدیک‌تر است. چون سطح زمین طبیعی را به کوچکترین صفحات ممکن تقسیم کرده‌ایم بنابراین منشورهای ایجاد شده از این صفحات کمترین حجم ممکن را دارا خواهند بود. در نتیجه دقت حجم بدست آمده در این روش از روش‌های متداول بیشتر است.

همچنین در روشهای متداول بدلیل استفاده از سلولهای مربعی و یا مستطیلی نمی‌توان تمامی‌گوشه‌ها و زوایای زمین‌ها را در نظر گرفت. بنابراین بخشهایی از زمین از محاسبات خارج می‌شوند (شکل ۳ الف). که منظور نکردن این بخشها به میزان خطای برآورد می‌آفزاید. اما استفاده از سلولهای مثلثی این امکان را می‌دهد که هر شکلی از زمین بخوبی مدل شود و هیچ قسمتی از روند محاسبه احجام خارج نشود (شکل ۳ ب).



شکل ۳- اختلاف بین محدوده زمین در نظر گرفته شده در روش Composite و زمین در نظر گرفته شده در روش‌های دیگر محاسبه حجم

به سطح‌های ایجاد شده در مرحله قبل مدل شبکه مثلثی نامنظم[1] می‌گویند. این مدل‌ها در ابتدا برای شبیه سازی سطح زمین جهت ایجاد نقشه‌های توپوگرافی بکار گرفته شده اند و سپس در نرم افزارهای کاربردی

1. Triangular Irregular Network (TIN)

GIS مورد استفاده قرار گرفتند ولی تا کنون از آنها جهت انجام محاسبات تسطیح استفاده نشده است [4,6].

پس از ایجاد شبکه مثلثی برای زمین طبیعی با استفاده از میان یابی ارتفاع نقاط لازم برای تعیین شیبهای بهینه برای صفحه تسطیح محاسبه می‌شود. با استفاده از روش میانگین گیری وزنی شیب‌های بهینه در هر دو جهت طولی و عرضی محاسبه می‌شوند و در نهایت اولین معادله صفحه تسطیح بصورت زیر بدست می‌آید.

$$Z(X,Y) = S_x(X) + S_y(Y) + Z_{(0,0)} \qquad (۲)$$

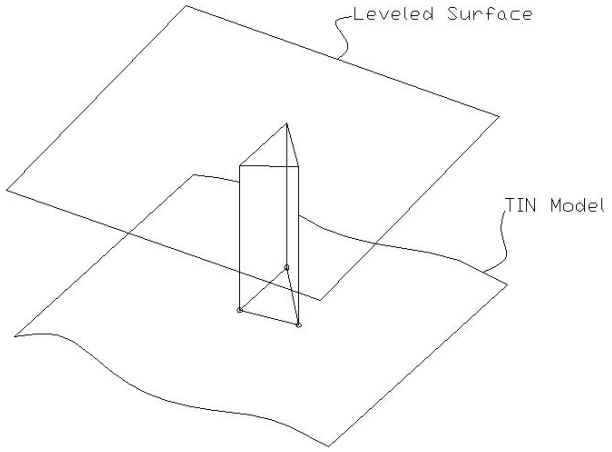
در این معادله $Z(X,Y)$ ارتفاع هر نقطه بطول X و عرض Y، $Z(0,0)$ ارتفاع صفحه تسطیح در مبدا مختصات، S_x و S_y شیب صفحه تسطیح در جهت محورهای X و Y است.

حال باید صفحات مثلثی مدل TIN را بر روی صفحه تسطیح تصویر کرد. در واقع با داشتن معادله صفحه تسطیح و مختصات رئوس هر مثلث، مختصات نقاط هر راس را در معادله (۲) قرار داده و ارتفاع آن نقطه را برروی صفحه تسطیح بدست می‌آوریم شکل ۴ نشان دهنده نتایج حاصل از این مرحله است.

پس از این مرحله در منشورهای سه وجهی ایجاد می‌شوند که کافی است حجم آنها را محاسبه کنیم. منشورهای ایجاد شده دارای دو حالت کلی هستند.

۱- تمام رئوس منشور در خاکبرداری و یا در خاکریزی قرار گیرد.

۲- وضعیت یکی از راسها خلاف دو راس دیگر باشد (یکی در خاکبرداری و دو راس دیگر در خاکریزی و یا عکس آن)



شکل ۴- منشور سه وجهی ایجاد شده برای محاسبه حجم

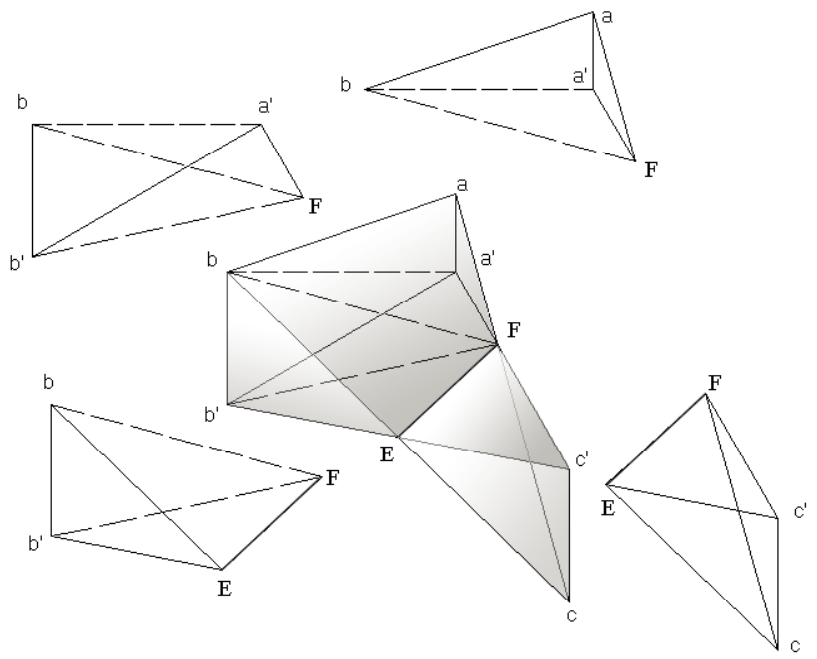
برای حالت اول حجم هر منشور را با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه می‌باشد .

$$V = A \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=3} h_i}{3} \right) \qquad (۳)$$

در این رابطه V حجم منشور، A سطح قاعده آن و h_i میزان ارتفاع خاکبرداری و یا خاکریزی در هر رأس است.

برای محاسبه حجم منشور در حالت دوم با فرض خطی بودن تغییرات ارتفاع بین هر دو رأس، هر منشور به چند هرم (گوه) تقسیم می‌شود که حجم هر کدام از این هرم‌ها را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم

$$V = A \times \frac{1}{3} h \qquad (۴)$$



شکل ۵- نحوه تقسیم کردن منشور به چند هرم

در این رابطه نیز V حجم هرم، A مساحت قاعده آن و h ارتفاع عمود بر قاعده است.

نحوه تقسیم کردن منشور به هرم در حالت دوم در شکل ۵ دیده می‌شود. در این شکل مثلث abc یکی از مثلث‌های شبکه مثلثی زمین طبیعی است. و مثلث $a'b'c'$ تصویر این مثلث بر روی صفحه تسطیح است . با محاسبه هر جزء حجم در کل شبکه و جمع کردن آنها با یکدیگر حجم عملیات خاکی کل محاسبه می‌شود.

نتایج و بحث

همانگونه که ذکر شد تعدیل احجام عملیات خاکی در تسطیح اهمیت بسیار زیادی دارد. روشهایی که برای محاسبه مقدار تغییرات صفحه تسطیح وجود دارند بر اساس روشهای آماری استوارند (روش مار). قبلا نقایص این روش‌ها ذکر گردید. جهت رفع این نقایص روش زیر پیشنهاد می‌گردد.

کاربرد روش نیوتن رافسون در تعدیل احجام

حجم محاسبه شده بین سطح زمین طبیعی و سطح زمین تسطیح شده در واقع تابعی از ارتفاع صفحه تسطیح خواهد بود بنابراین می‌توان این رابطه را بصورت زیر بیان کرد.

$$V = f(h) \qquad (۵)$$

در این رابطه V حجم عملیات خاکی، h ارتفاع صفحه تسطیح و f تابعی است که رابطه بین h و V را بیان می‌کند. رابطه (۵) به دو تابع تقسیم می‌شود یک تابع حجم عملیات خاکریزی و دیگری حجم عملیات خاکبرداری را بیان می‌کند.

$$V = f(h) = \begin{cases} V_{cut} = f_c(h) \\ V_{fill} = f_f(h) \end{cases} \qquad (۶)$$

اگر نسبت حجم خاکبرداری به خاکریزی را R بنامیم، داریم:

$$R = \frac{V_{cut}}{V_{fill}} = \frac{f_c(h)}{f_f(h)} = G(h) \qquad (۷)$$

بنابراین R نیز تابعی از h خواهد بود. برای محاسبه نسبت خاکبرداری به خاکریزی معین تابع به صورت زیر بدست می‌آید.

$$G(h) = R_d \qquad (۸)$$

که R_d نسبت خاکبرداری به خاکریزی دلخواه است. رابطه (۸) را می‌توان به صورت زیر نشان داد.

$$K(h) = G(h) - R_d \qquad (۹)$$

در این رابطه $K(h)$ تابعی است که میزان آن در ارتفاع خاصی که برابر ارتفاع لازم برای رسیدن به میزان نسبت خاکبرداری به خاکریزی مناسب است، برابر صفر خواهد بود.

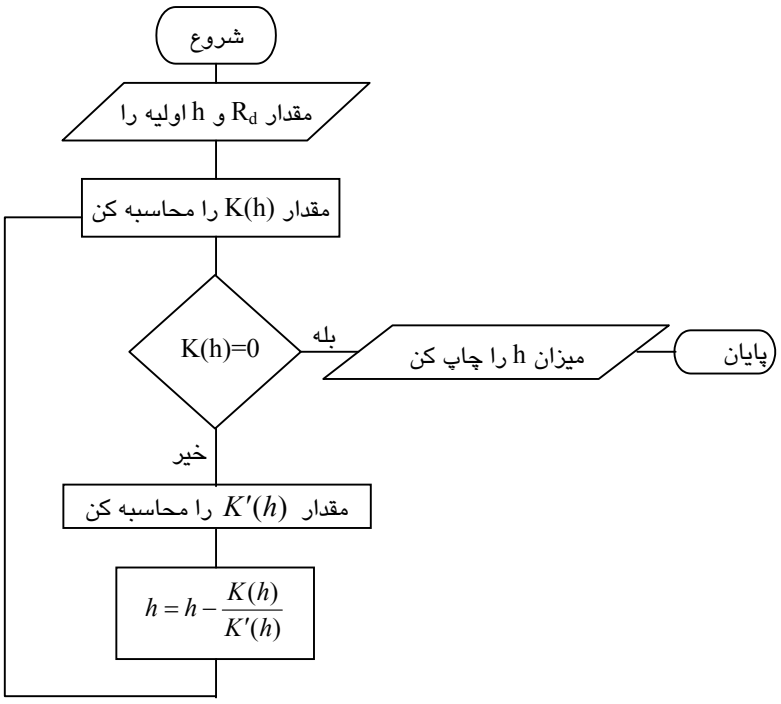
برای حل این معادله می‌توان از روشهای عددی مختلفی استفاده کرد. در میان روشهای عددی روش نیوتن رافسون سریع تر از بقیه به جواب همگرا می‌شود. در این مقاله از این روش برای حل عددی معادله (۹) استفاده شده است. روش نمای این مرحله را می‌توان در شکل (۶) مشاهده کرد.

برای شروع محاسبات لازم است که ارتفاعی به صورت اولیه و حدسی در نظر گرفته شود. هر چه این حدس به مقدار واقعی نزدیکتر باشد، تعداد تکرارها برای همگرا شدن جواب کمتر خواهد بود. در این قسمت برای شروع محاسبات می‌توان از ارتفاع میانگین نقاط سطح زمین استفاده کرد.

برای تعیین موقعیت جدید صفحه تسطیح به کمک روش نیوتن رافسون ضروری است که مشتق تابع محاسبه شود. برای محاسبه این مشتق از روش مشتق‌گیری عددی استفاده شده است. یعنی از تعریف مشتق برای محاسبه آن استفاده شده. به این ترتیب که تابع $K(h)$ را به ازاء موقعیت h و $h+\Delta h$ محاسبه و بصورت زیر به کار گرفته شده است.

$$K(h) = \mathrm{Lim}_{\Delta h \to 0}\left(\frac{K(h) - K(h+\Delta h)}{\Delta h}\right) \qquad (۱۰)$$

با استفاده از این روش و ترکیب آن با روش Composite در محاسبه احجام عملیات خاکی می‌توان ارتفاع تعدیل شده را با دقت مورد نظر بدست آورد.



شکل۶- روش نمای روش نیوتن رافسون برای محاسبه میزان تعدیل ارتفاع

با درنظر گرفتن روش جدید در تسطیح مراحل تسطیح بصورت زیر خواهد بود.

- ایجاد مدل TIN
- میانیابی نقاط شبکه بر روی مدل TIN
- محاسبه شیبهای بهینه با استفاده از روش میانگین وزنی.
- محاسبه احجام عملیات خاکی
- تعدیل صفحه تسطیح به روش نیوتن رافسون
- محاسبه میزان خاکبرداری و خاکریزی در هر نقطه

برای ارائه برتری روش پیشنهادی نسبت به روشهای متداول ضروری است با استفاده از داده‌های واقعی مزرعه، محاسبات را انجام داده و نتایج را با یکدیگر مقایسه کرد. اما بدلیل وجود خطاهایی نظیر خطای نقشه برداری و پیاده سازی نقاط، خطای محاسبه احجام عملیات خاکی در عمل و خطای ماشین آلات در حین اجرا نمی‌توان میزان دقیق احجام و ... را در عمل محاسبه کرد. بنابراین ناگزیر باید مسأله را بگونه‌ای طرح کرد که بتوان پارامترهای مورد نیاز را با استفاده از روش‌های ریاضی بصورت تحلیلی محاسبه کرد. لذا دو مثال ارائه گردیده و با استفاده از انتگرال‌گیری عددی مقادیر واقعی جوابهای محاسبه شده است.

مثال ۱

ارتفاع صفحهٔ مسطحی که حجم عملیات خاکریزی و خاکبرداری را در نیم کره‌ای به شعاع یکصد متر برابر می‌سازد، پیدا کنید.

مثال ۲

ارتفاع صفحهٔ مسطحی که حجم عملیات خاکریزی و خاکبرداری را در نیم بیضی ای به شعاع بزرگ یکصد متر و شعاع کوچک ۵۰ متر برابر می‌سازد، پیدا کنید.

این دو مثال را ابتدا با یکی از برنامه‌های کامپیوتری DOLF[1] که در دفاتر مهندسین مشاور مورد استفاده می‌باشد حل می‌کنیم . تعداد نقاط بکار رفته در هر دو مثال برابر است با ۶۹ نقطه به این ترتیب مساحت هر مربع m^2 ۴۰۰ است . نتایج بدست آمده در جدول ۱ قید شده است .

1. Design Of Land Forming

جدول ۱- نتایج بدست آمده از روش‌های متداول

ارتفاع صفحه تسطیح (m)	مساحت (m2)	حجم عملیات خاکی(خاکبرداری) (m3)	مثال
۶۲/۹	۳۵۹۴۰	۳۶۸۹۰۴	نیم کره
۳۱/۰۵	۳۵۹۴۰	۱۸۷۳۰۶	نیم بیضی

برای حل مثالهای فوق با روش پیشنهادی و به منظور قابل مقایسه کردن نتایج دو روش از همان نقاط ارتفاعی که در بخش اول استفاده شده، در اینجا نیز بهره گرفته شده است. یعنی در واقع تراکم نقاط در سطح، در هر دو روش کاملاً برابر است. اما در این بخش به جای شبکهٔ مربع از شبکهٔ مثلثی استفاده شده است . نتایج حل مثال با روش پیشنهادی در جدول ۲ قید شده است .

جدول ۲ نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی

ارتفاع صفحه تسطیح (m)	مساحت (m2)	حجم عملیات خاکی (خاکبرداری) (m3)	مثال
۶۵/۹	۳۱۲۶۰	۳۱۸۷۴۰	نیم کره
۳۳/۰۵	۳۱۲۶۰	۱۵۶۰۶۵	نیم بیضی

نتایج حل تحلیلی در نیم کره منجر به صفحه‌ای شده که ارتفاع آن از کف ۶۶/۷ متر و مساحت آن ۳۱۴۱۵/۹ متر مربع، حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی آن نیز معادل ۳۱۰۲۸۰ متر مکعب است . حل تحلیلی مثال نیم بیضی نیز به صفحه ای با ارتفاع ۳۳/۳۳ متر از کف، مساحت۳۱۴۱۵/۹ مترمربع و حجم عملیات خاکی ۱۵۵۱۳۳ متر مکعب منجر شده است. به این ترتیب امکان مقایسهٔ نتایج دو روش میسر می‌شود . نتایج مقایسه در جدول ۳ ارائه شده است .

جدول ۳ درصد خطاهای دو روش در محاسبه پارامترهای مختلف

مثال	روش	ارتفاع صفحه تسطیح	مساحت	حجم عملیات خاکی
نیم کره	متداول	۵/۷	۱۴/۴	۱۸/۹
	جدید	۱/۲	۰/۵	۲/۷
نیم بیضی	متداول	۶/۹	۱۴/۴	۲۰/۷
	جدید	۰/۸	۰/۵	۰/۶

در این جدول محاسبهٔ ارتفاع مرکز سطح، مساحت سطح و حجم عملیات خاکی مورد مقایسه قرار گرفته است . درصد خطا با استفاده از رابطه ۱۱ محاسبه گردیده است.

$$\text{Error } (\%) = \frac{\text{Ans}_{\text{anl}} - \text{Ans}_{\text{Calc}}}{\text{Ans}_{\text{anl}}} \times 100 \qquad (۱۱)$$

که در آن Error: میزان خطا به درصد

Ans_{anl}: جواب ناشی از حل تحلیلی و Ans_{Calc}: جواب محاسبه شده است.

اختلاف موجود در میزان خطای محاسبه شده در دو مثال بدلیل انحنای کمتر نیم بیضی نسبت به نیم دایره است. یعنی در هنگام مثلث بندی سطح نیم بیضی فرض خطی بودن تغیرات بین دو نقطه (مسطح بودن صفحات مثلثی) به واقعیت نزدیک‌تر است. بنابراین خطای کمتری در محاسبات ایجاد می‌شود.

این جدول نشان می‌دهد که میزان خطای روش پیشنهادی در تمام موارد یاد شده به طور قابل توجهی از روش متداول کمتر است طوری که در تعیین حجم عملیات خاکی خطای روش متداول ۷ برابر خطای روش پیشنهادی است. این امر برتری روش پیشنهادی را به خوبی روشن می‌سازد. باید یادآوری کرد که در زمینهای طبیعی گوشه دار اختلاف خطاها از این مقدار هم می‌تواند فراتر رود.

نتیجه‌گیری

خطاهای محاسباتی روشهای متداول تسطیح اراضی مورد بررسی قرار گرفته است. برای به حداقل رساندن این خطا از روشی جدید، در محاسبات احجام عملیات خاکی بر مبنای مثلث بندی نامنظم استفاده شده است. در محاسبه ارتفاع صفحه تسطیح نیز، روش نیوتن- رافسون بکار رفته است. برای استفاده از این روش یک بسته نرم افزاری نیز طراحی گردید. همچنین نشان داده شد که خطای محاسبات این روش بسیار کمتر از خطای روش‌های دیگر است.

مرحله دوم

انتخاب ابزارها:

در تولید مدلی با توانایی‌های فوق به دو دسته ابزار نیاز است. محیط برنامه نویسی و محیط گرافیکی برداری جهت اخذ برخی داده‌ها و تولید نقشه‌های خروجی

انتخاب محیط برنامه‌نویسی

محیطهای برنامه نویسی متعددی جهت انجام محاسبات و تولید رابط کاربر گرافیکی GUI وجود دارد که میتوان برنامه‌های Delphi , VBA , VB , VC و ... را نام برد.

از تمامی این محیطها می‌توان جهت تولید مدل تسطیح استفاده کرد اما در این میان محیط VBA بدلیل برقرار ارتباط مستقیم با محیط گرافیکی جهت انجام بخشی از محاسبات و طراحی GUI انتخاب شد.

ابزار گرافیکی:

نرم افزارهای متعددی جهت ترسیم نقشه‌ها و جداول بصورت برداری وجود دارد که از این میان می‌توان AutoCAD و Micro Station و ... را نام برد. با توجه به این که AutoCAD متداول‌تر از بقیه نرم افزارها است و براحتی با محیطهای برنامه نویسی ارتباط برقرار می‌کند. بنابراین این محیط به عنوان محیط گرافیکی انتخاب شد.

ابزارهای محاسباتی

از نیازهای اصلی مدل محاسباتی، استفاده از روش TIN (مثلث بندی نامنظم) است. یکی از ابزارهای مناسبی که جهت تولید TIN وجود دارد نرم افزار Land Development است که به محیط AutoCAD اضافه می‌شود. از این نرم افزار می‌توان برای ترسیم خطوط توپوگرافی نیز استفاده کرد.

برای تهیه جداول اخذ داده و یا گزارش گیری از احجام عملیات خاکی در برنامه نیز می‌توان از برنامه Excel استفاده کرد.

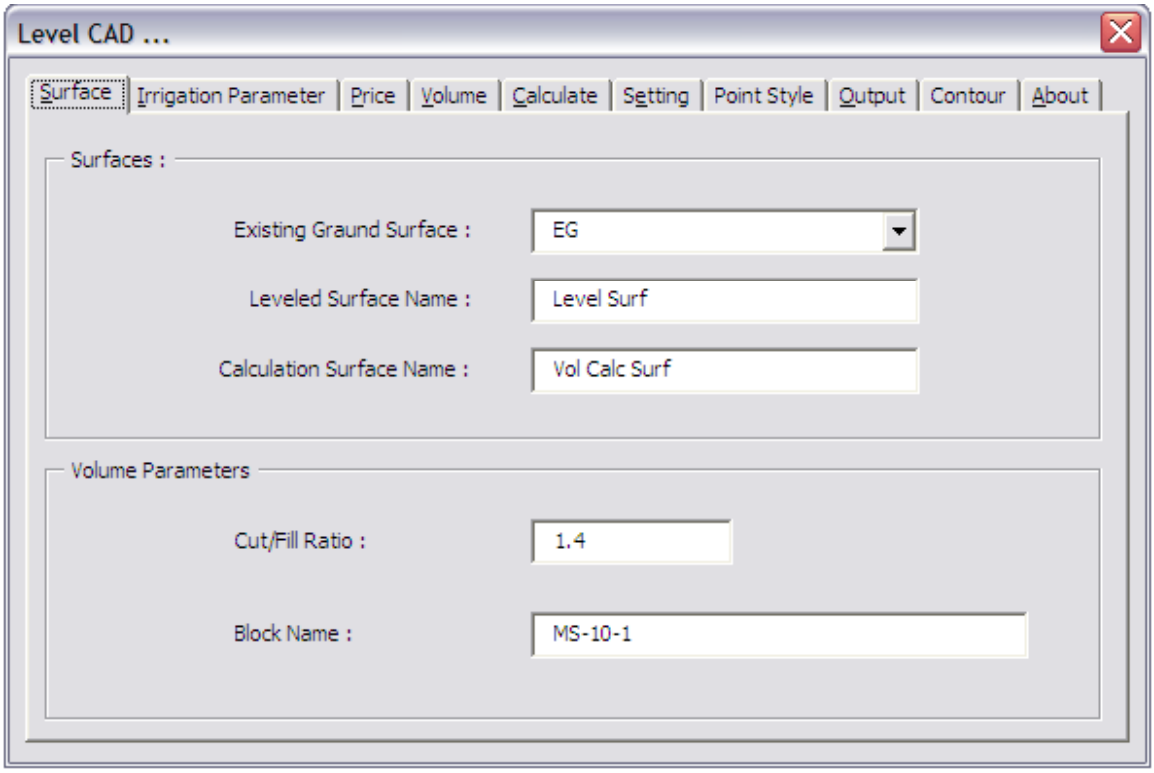
پس در مجموع ابزارهای زیر انتخاب گردید.

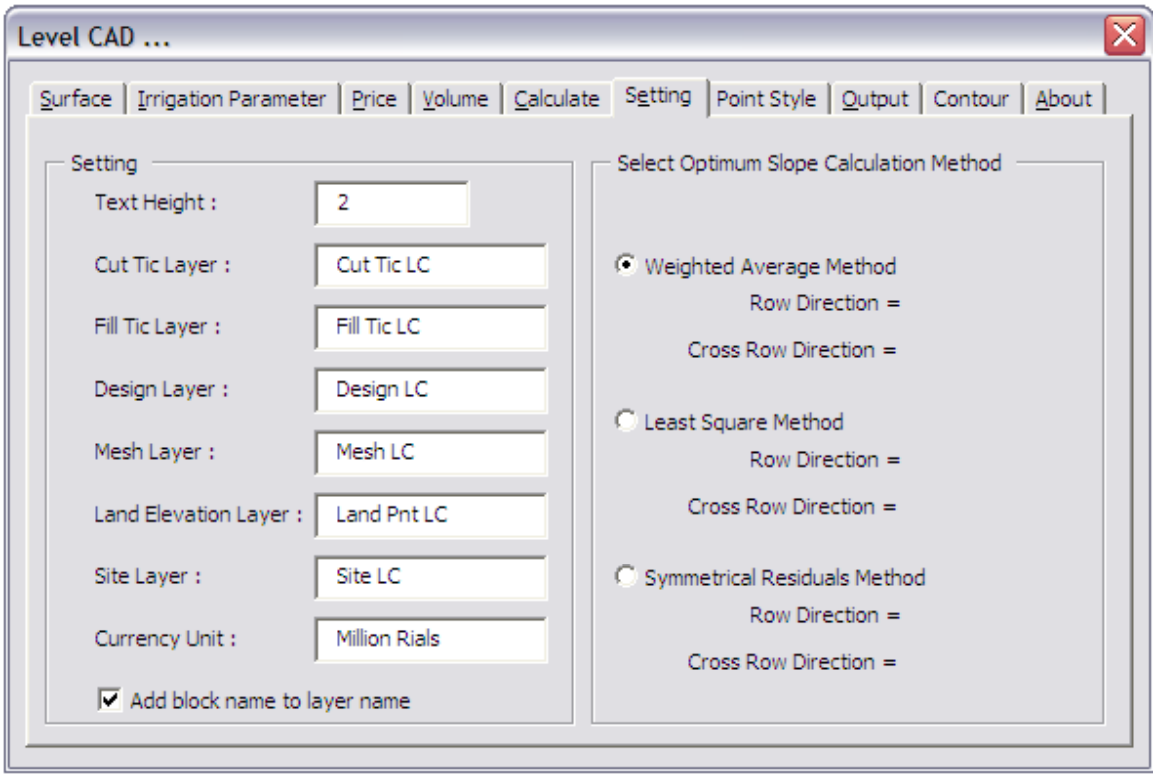
Visual Basic Application , VB
AutoCAD Land Development Desktop
Office Web Component

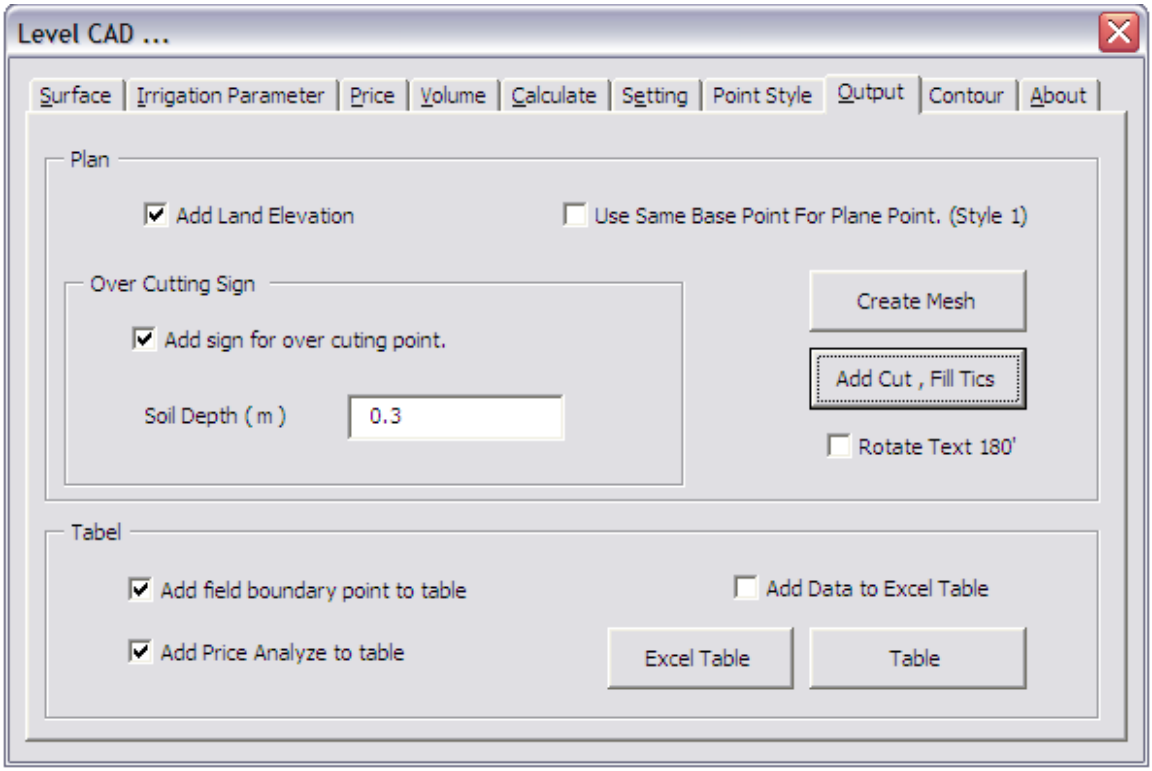
برنامه نویسی

تولید کدهای برنامه با رعایت استانداردهای برنامه نویسی صورت گرفت و پس از نوشتن کدهای مورد نیاز و تستهای اولیه برنامه جهت تست نهایی در اختیار کاربران متعددی قرار گرفت تا خطاهای پنهان برنامه مشخص شود. پس از انحام این آزمایش با استفاده از مهندسی مجدد الگوریتمها بهینه شد. استفاده از روش فوق منجربه دریافت گواهی شورای عالی انفورماتیک گردید.

تصویر تعدادی از پنجره‌های برنامه در حال اجرا در ادامه آمده است.


Level CAD ...
Surface
Irrigation Parameter
Price
Volume
Calculate
Setting
Point Style
Output
Contour
About
Surfaces :
Existing Graund Surface :
EG
Leveled Surface Name :
Level Surf
Calculation Surface Name :
Vol Calc Surf
Volume Parameters
Cut/Fill Ratio :
1.4
Block Name :
MS-10-1


Level CAD ...
Surface
Irrigation Parameter
Price
Volume
Calculate
Setting
Point Style
Output
Contour
About
Setting
Text Height :
2
Cut Tic Layer :
Cut Tic LC
Fill Tic Layer :
Fill Tic LC
Design Layer :
Design LC
Mesh Layer :
Mesh LC
Land Elevation Layer :
Land Pnt LC
Site Layer :
Site LC
Currency Unit :
Million Rials
Add block name to layer name
Select Optimum Slope Calculation Method
Weighted Average Method
Row Direction =
Cross Row Direction =
Least Square Method
Row Direction =
Cross Row Direction =
Symmetrical Residuals Method
Row Direction =
Cross Row Direction =



مراجع

۱- ابن جلال، ر. ۱۳۷۷ . تسطیح ارضی طراحی و محاسبات .چاپ دوم. انتشارات دانشگاه شهید چمران . ۳۰۹ صفحه.

2- Afshar, A. & M. A. Mariño. 1992. An optimum land leveling technique for surface irrigation. International Journal of Engineering Vol. 3(1a): 31-42.

3- Anderson, C. et al. 1980. Land shaping In: Design and Operation of Farm Irrigation System. American society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., 281-314.

4- Chuangyin, D. 1995. Triangulations and Simplicial Methods, Pub. Springer-Verlag , 196 pages

5- Easa, S. M. 1989. Direct land grading design of irrigation of irrigation plane surface. J. Irrig. And Drain. Engrg., ASCE,Vol . 115(2): 285-301.

6- Paul, L. G. & Houman, B., 1998. Delauney Triangulation and Meshing: Application to Finite Elements, Pub. Kogan Page Ltd , 413 pages

7- Raju, V. 1960. Land grading for irrigation. Trans. American Society of Agricultural Engineers. Vol . 3(1): 38-41

8- Scaloppi, E. & Willardson, L. 1986. Practical land grading based on least squares. J. Irrig. And Drain. Engrg., ASCE, Vol 112(2): 98-109.

9- Shih, S. and Kriz, G. 1971. Symmetrical residuals method for land forming design. Trans. American Society of Agricultural Engineers.Vol. 14(6):1195-1200

10- Sowell, R.,Shih, S. and Kriz, G. 1973. Land forming design by linear programming. Trans. American Society of Agricultural Engineers. Vol . 16(3): 296-301

11- Soil Conservation Service, 1961. Land leveling. In Section 15, Irrigation, Soil Conservation Service Handbook, U. S. Dept. of agriculture, Washington, D.C.

12- Utah University , 1992. Level Gram User manual. Irrigation and Reclamation Dept. U.S.A