مجله علوم كشاورزي ايران
جلد ۳۷، شماره ٤، سال ۱۳۸۵ (۶۷۰-۶۶۱)

تسطيح اراضي: روش جديد بر اساس شبكه بندي مثلثي

صلاح كوچك زاده*[1] و احسان روشنی[2]
۱، ۲، استاد و دانشجوي سابق كارشناسي ارشد پرديس كشاورزي و منابع طبيعي دانشگاه تهران
(تاريخ دريافت: ۸۳/۵/۳ - تاريخ تصويب: ۸٤/۹/۲)

چكيده

تسطيح اراضي در زمره فعاليت‌هاي اساسي و پر هزينه پروژه‌هاي آبياري و زهكشي مي‌باشد. با وجود اين روش‌هاي برآورد حجم عمليات تسطيح كه تاكنون ارئه شده و در دفاتر مهندسي به كار مي‌روند، كم دقت و بسيار زمان بر هستند. در اين مقاله روش تسطيح جديدي ارائه شده كه از شبكه با سلول‌هاي مثلثي بجاي شبكه مربعي بهره مي‌جويد و براي رسيدن به سطح بهينه، محاسبه احجام عمليات خاكي به كمک روش نيوتن رافسون صورت مي‌گيرد. مقايسه نتايج روش پيشنهادي با نتايج روش‌هاي متداول براي دو مثال كه داراي حل تحليلي هستند, نشان مي‌دهد كه روش پيشنهادي دقت محاسبات را به ميزان بسيار قابل توجهي افزايش داده است. بنابراين با بكار بردن روش يادشده علاوه بر دست يابي به سطوح مطلوبتر تسطيح كه مي‌تواند اثر مستقيم در افزايش راندمان آبياري داشته باشد، افزايش دقت برآورد هزينه‌هاي اين نوع عمليات كه سهم قابل توجهي در هزينه‌هاي عمراني دارد, ميسر مي‌شود.

واژه‌هاي كليدي: آبياري سطحي، تسطيح اراضي، نقشه برداري، نيوتن رافسون، عمليات خاكي

مقدمه

يكي از معضلات جدي روش‌هاي آبياري سطحي مسئلة ناهمواري سطح زمين است كه علاوه بر كاهش راندمان آبياري, عمليات كاشت، داشت و برداشت را با مشكلاتي جدي مواجه مي‌سازد. بنابراين مي‌توان گفت كه ناهمواري سطح زمين در كاهش راندمان توليد موثر است. رفع اين ناهمواري‌ها از طريق تسطيح اراضي از امور زيربنايي است كه در شرايط كنوني كشاورزي كشور از اولويت خاص برخوردار مي‌باشد.

تسطيح اراضي تنها به‌منظور كشاورزي و بخصوص آبياري سطحي بكار نمي‌رود بلكه در تراس بندي نيزموضوع اصلي است. در روش‌هاي مختلف آبياري سطحي سعي بر آن است كه آب بطور يكنواخت در سطح زمين گسترش يابد. بنابراين طي عمليات تسطيح بايد سطح طبيعي زمين به يك صفحه مستوي شيبدار تبديل گردد. اين صفحه بايد داراي دو شيب يكنواخت در جهت آبياري و عمود بر آن داشته باشد. مقدار اين شيب‌ها نيز متناسب با نوع آبياري انتخاب مي‌گردد. از آنجاكه هزينه تسطيح سهم قابل توجهي از اقتصاد پروژه را تشكيل مي‌دهد توجه خاصي مي‌طلبد. با توجه به حجم عمليات خاكي و نيز فواصل جابجايي خاك مخارج تسطيح پيش از اجراي پروژه، تخمين زد مي‌شود. از آنجاكه ارزيابي اقتصادي پروژه‌ها با دقت تخمين هزينه ارتباط مستقيم دارد, ابداع روش‌هايي كه دقت محاسبات را بهبود دهد از اهميت زيادي برخوردار مي باشد. افزايش دقت در اين محاسبات علاوه بر ارائه برآورد واقعي‌تري از هزينه‌ها به سطوح مطلوبتري از نظر شيب‌بندي و منجر مي‌شود. در اينجا پيش از ارائه روش پيشن‌هادي جديد مروري اجمالي بر روش‌هاي تسطيح و محاسبه احجام عمليات خاكي متداول, ضروري مي‌نمايد.

-روش‌هاي متداول تعيين مشخصات صفحه تسطيح

تسطيح اراضي زراعي بايد به سطحي منجر شود كه داراي شيب‌هاي مجاز در جهت آبياري و عمود بر آن باشد. بطور كلي اين روش‌هاي را مي‌توان به دو دسته طبقه‌بندي نمود. روش‌هاي مبتني بر سطح مستوي و روش‌هايي كه به سطحي غير مستوي

* نويسنده مسئول: صلاح كوچك‌زاده تلفن: ۰۲۶۱-۲۲۴۱۱۱۹ E-mail: skzadeh@ut.ac.ir

منجر مي‌شوند.

-روش‌هاي سطح مستوي[1]

در اين دسته از روش‌ها، سطح زمين پس از عمليات تسطيح تبديل به سطحي داراي شيب‌هاي يكنواخت در جهات طولي و عرضي مي‌شود، براي محاسبه‌ي مشخصات صفحه‌ي تسطيح ابتدا مركز ثقل سطح مشخص مي‌شود سپس از اين نقطه صفحهاي با ارتفاعي معادل ارتفاع متوسط عبور داده مي‌شود. در چنين حالتي بدون توجه به شيب صفحه، حجم خاكبرداري معادل حجم خاكريزي خواهد بود. اما از آنجا كه لازم است كه حجم خاكبرداري بيشتر از خاكريزي باشد، رقوم صفحة تسطيح كمي كاهش داده مي‌شود.

روش‌هاي متداول براي به‌دست آوردن مشخصات صفحه تسطيح در پروژه‌هاي آبياري و زهكشي شامل پنج روش است. اين روش‌ها عبارتند از: حداقل مربعات[2]، مركز حجم ثابت[3]، نيمرخ ميانگين[4]، ميانگين وزني[5]، و باقي مانده‌هاي متقارن[6] است (١، ١١). اين روش‌ها در پنج دهه گذشته متداول بوده و تغيير عمده‌اي در آن‌ها به وجود نيامده است. با توجه به حجم عمليات محاسباتي كه روش‌هاي تسطيح با آن روبرو هستند، مدل‌ها و برنامه‌هاي كامپيوتري مختلفي تدوين شده‌اند كه در دفاتر مهندسي به‌كار مي‌رود (١, ٩، ١٢).

جيوان از روش آماري حداقل مربعات براي محاسبة بهترين شيب در تسطيح اراضي استفاده نمود. وي با وجودي كه فرمول‌هاي مربوطه را در يك حالت كلي ارائه داد اما از آنها فقط براي محاسبه بهترين شيب در زمين‌هاي مستطيل شكل استفاده كرد. پس از او از اين روش براي تسطيح زمين‌هاي نامنظم نيز استفاده شد.

مطابق روش حداقل مربعات، چنانچه از ميان تعدادي نقطه در فضا يك صفحه مستوي به ترتيبي عبور دهيم كه مجموع مربعات فواصل قائم نقاط تا صفحه حداقل باشد، اين صفحه بهترين صفحه براي نمايش رابطة خطي بين ارتفاع و طول و عرض اين نقاط است. بعبارت ديگر اين صفحه، بيش از هر صفحه‌ي ديگري به اين نقاط نزديك است (١، ٩).

اما در روش مركز حجم ثابت سطح مستوي به گونه‌اي تعيين مي‌شود كه حداقل جابجايي در خاك سطحي صورت گيرد. براي دستيابي به اين هدف بايستي سطح مستوي نزديكترين فاصله را با سطح طبيعي زمين داشته باشد طوري كه فرورفتگي‌هاي موضعي بوسيله خاك نقاط مرتفع مجاورشان پر شوند بدون اينكه جابجايي قابل ملاحظه‌اي براي انتقال خاک به محل فرورفتگي‌ها صورت گيرد. در چنين حالتي شكل كلي، تغيير محسوسي ننموده و در نتيجه، حتي بعد از تسطيح، مركز حجم آن نسبت به هر دستگاه مختصاتي تقريباً ثابت باقي مي‌ماند (١، ١١).

روش نيمرخ ميانگين عمدتا براي تسطيح زمين‌هاي منظم كه به شكل مربع يا مستطيل هستند مورد استفاده قرار مي‌گيرد. اصول آن بر اساس روش آماري حداقل مربعات مبتني است. برتري آن به روش حداقل مربعات آساني محاسبات است. در اين روش براي محاسبه شيب‌هاي صفحه‌ي تسطيح ابتدا براي نقاط هر سطر و هر ستون بطور جداگانه خطي را به روش حداقل مربعات برازش مي‌دهند. سپس ميانگين شيب اين خطوط را برابر شيب‌هاي صفحه تسطيح قرار مي‌دهند(١).

روش ميانگين وزني همان روش نيمرخ ميانگين است كه در زمين‌هاي نامنظم به كار مي‌رود چنانچه شكل زمين مربع يا مستطيل نباشد از ميانگين ارتفاعي نمي‌توان براي محاسبة بهترين شيب استفاده كرد. زيرا تعداد نقاط در رديف‌ها و يا ستون‌هاي مختلف با هم برابر نيستند. در نتيجه ميانگين ارتفاعات از وزن مساوي برخوردار نيست. در اين حالت مي‌توان بهترين شيب را براي هر رديف يا هر ستون با استفاده از ارتفاع نقاط در آن رديف و يا آن ستون محاسبه كرده و سپس ميانگين وزني آنها را به دست آورد. بهترين شيب در جهت رديف‌ها و يا ستون‌ها برابر است با ميانگين وزني شيب براي رديف‌ها و يا ستون‌ها. وزني كه به شيب هر رديف و يا هر ستون تعلق

1. Plane Surface Method
2. Least Square Method
3. Fixed Volume Center Method
4. Average Profile Method
5. Weighted Average Method
6. Symmetrical Residuals Method

مي‌گيرد با تعداد نقاط آن رديف و يا آن ستون برابر است (١، ١١).

اما در روش باقي مانده‌هاي متقارن ابتدا شيب رديف‌ها (و ستون‌ها) محاسبه مي‌شود. سپس با در نظر گرفتن ضريب وزني براي هر رديف و يا هر ستون بهترين شيب سطح مستوي در جهت رديف‌ها و يا ستون‌ها محاسبه مي‌گردد. تفاوت اين روش با روش ميانگين وزني در اين است كه در اين روش از حداقل مربعات براي محاسبه بهترين شيب در هر سطر و يا ستون استفاده نمي‌شود. گرچه به نظر مي‌رسد كه فرمول‌هاي اين روش مفصل تر از ساير روش‌هاي با دقت معادل هستند، حجم محاسبات آن با حجم محاسبات روش‌هاي ديگر تفاوت چنداني ندارد (١، ٧).

- روش سطوح غير مستوي

در اين روش برخلاف روش قبل, زمين تسطيح شده به يك سطح مستوي تبديل نمي‌شود؛ بنابراين داراي شيب‌هاي غير يكنواخت خواهد بود. اما اين شيب‌ها در محدوده شيب‌هاي مجاز براي آبياري مي‌باشند. در اين روش چون زمين تسطيح شده به شكل زمين واقعي نزديك تر است حجم عمليات خاكي لازم براي تسطيح كاهش مي‌يابد.

اساس اين روش‌ها بر وجود چند شيب مختلف در هر جهت (طولي و عرضي) استوار است. براي محاسبه اين شيب‌ها و طول هر شيب از برنامه ريزي خطي استفاده مي‌شود. دقت محاسبات در اين دسته از روش‌ها معادل دقت روش‌هاي قبل است. نقص عمده اين روش‌ها در مشكلات اجرايي آن است (٢، ١٠).

-محاسبة احجام عمليات خاكي

براي محاسبة احجام عمليات خاكي روش‌هاي متفاوتي توسط محققين ارائه شده است. از جمله اين روش‌ها، روش چهار نقطه[1]، روش شبه منشوري و روش جمع زدن[2] و روش شيه و كريز[3] را مي‌توان نام برد. در اين روش‌ها زمين را به سلول‌هاي مساوي مربع يا مستطيل شكل تقسيم مي‌كنند سپس حجم هر مكعب را محاسبه مي‌كنند و از جمع احجام اين سلول‌ها حجم عمليات خاكي كل حاصل مي‌شود (١، ١١).

بطور كلي هيچ يك از روش‌هاي فوق حجم دقيق خاكبرداري (و يا خاكريزي) را به‌دست نمي‌دهند. زيرا هر كدام از آن‌ها بر فرضياتي متكي است كه تا حدودي با واقعيت تفاوت دارد. در هر يك از روش‌هايي ياد شده سطح طبيعي زمين بين دو نقطة متوالي شبكه به شكل خاصي فرض گرديده است. در روش جمع زدن فرض بر آن است كه ارتفاع سطح طبيعي زمين در فاصله D/2 از هر طرف يك نقطه، ثابت است. كه D طول ضلع سلول مربعي است. در روش چهار نقطه سطح طبيعي زمين بين دو نقطه متوالي يك خط مستقيم با شيب يكنواخت فرض شده است. در روش شيه و كريز اين سطح يك منحني مواج تصور گرديده است. اما شكل طبيعي زمين بين دو نقطة متوالي با هيچ يك از فرضيات فوق تطابق ندارد. اين شكل در واقع يك منحني كاملاً نامنظم است كه نمايش دقيق آن با يک معادله مشخص رياضي قدري ناممكن است (١, ٧, ٩, ١١).

به دلايل مختلفي درعمل حجم خاكبرداري را بايد بيشتر از حجم خاكريزي در نظر گرفت. در قسمت خاكريزي بر اثر عبور ماشين‌هاي تسطيح خاك فشرده مي‌شود طوري كه لزوم افزايش خاكبرداري را سبب مي‌گردد. گرچه به نظر مي‌آيد كه زمين در قسمت‌هايي كه خاكبرداري شده فشرده تر شود. زيرا عبور ماشين‌ها تسطيح در اين قسمت‌ها بيشتر است اما بررسي‌هاي انجام شده بر روي خاك‌هاي معدني خشك خلاف اين مطلب را نشان داده است (١، ١١).

مار معتقد است كه بر اثر خطاي باصره، قسمت وسط زمين تراز بين دو ميخ چوبي به نظر فرو رفته مي‌آيد. در نتيجه رانندگان ماشين‌هاي تسطيح خاك بيشتري در اين قسمت مي‌ريزند. لذا بجاي يك سطح مستوي يك سطح نا صاف به‌دست مي‌آيد. بنابراين بايد صفحه تسطيح را مقداري پايين كشيد تا مقدار حجم خاكبرداري از خاكريزي بيشتر شود. براي مشخص كردن ميزان پايين آوردن صفحه, روش‌ها مختلفي ارائه شده است. در تمامي‌اين روش‌ها مجددا با فرض برابر بودن وزن هر نقطه, مقدار پايين آوردن صفحه را مشخص مي‌كنند. معادله (١) نمونه‌اي از اين فرمول‌ها است كه در زير ارائه شده است.

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

٣- اين روش تحت عنوان End Area Method نيز ناميده مي‌شود

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

در اين معادله d ميزان تعديل ارتفاع صفحه تسطيح, R نسبت خاكبرداري به خاكريزي مناسب، N تعداد كل نقاط، F ارتفاع خاكريزي در هر نقطه، و C ارتفاع خاكبرداري در هر نقطه مي‌باشد.

علاوه بر فرض مساوي بودن اوزان، در اين روش فرض ديگري نيز وجود دارد كه باقي ماندن هر نقطه در وضعيت قبلي خود است. يعني اگر نقطه‌اي قبل از تعديل كردن احجام در خاكريزي باشد بعد از تعديل نيز فرض مي‌شود كه در حالت خاكريزي باقي مي‌مانند. اين شرط زماني درست است كه مقدار خاكريزي تمام نقاط از مقدار d به‌دست آمده از معادله (١) بزرگتر باشد. اما در عمل چنين نمي‌باشد.

صرف‌نظر از روش انتخاب شده براي تسطيح و محاسبه حجم عمليات خاكي, در هر پروژه تسطيح مراحل زير بايد طي شوند: (١) برداشت نقاط با استفاده از يك شبكه متعامد، (٢) محاسبه شيب‌هاي صفحه تسطيح، (٣) محاسبه ميزان تعديل ارتفاع صفحه تسطيح شده، (۴) محاسبه احجام عمليات خاكي.

به منظور كاهش حجم محاسبات دو فرض زير در تمام روش‌هاي تسطيح پذيرفته شده اند:

١- ارتفاع هر نقطه نمايانگر ارتفاع نقاط در سطحي مساوي با سطح هر سلول از شبكةتسطيح مي‌باشد. اين بدان معناست كه براي ارتفاع هر نقطه در شبكه وزن مساوي اختصاص داده مي‌شود. در صورتي كه اين اوزان براي نقاطي كه در گوشه‌ها يا كناره‌هاي زمين قرار دارند با ديگر نقاط متفاوت است.

٢- مركز ثقل زمين با استفاده از فرض برابري اوزان محاسبه مي‌شود اين امر از ابتدا خطا وارد محاسبات كرده، باعث مي‌شود كه صفحة تسطيح از نقطه‌اي بگذرد كه احجام در آن بهينه نيست. يعني در واقع حجم خاكبرداري و خاكريزي با هم برابر نيست در صورتي كه محاسبات، حجم برابر را نشان مي‌دهد. اين خطاي محاسباتي زماني كه مزرعه داراي گوشه‌هاي متعدد و يا زواياي تند است تشديد مي‌شود. فرض برابر بودن اوزان هر نقطه, خطاهايي نيز در محاسبه احجام عمليات خاكي وارد مي‌كند كه منجر به كاهش دقت محاسبات و يا حذف شدن برخي از قسمت‌هاي زمين واقعي در روند محاسبه احجام عمليات خاكي مي‌گردد.

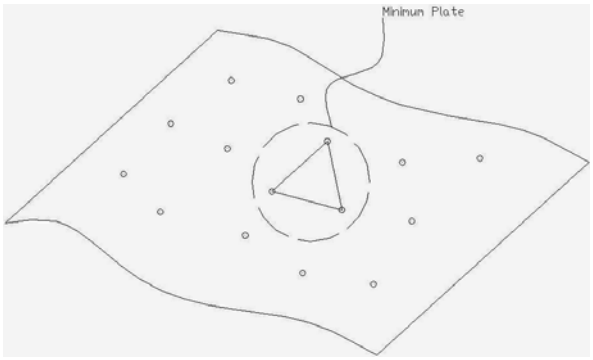
روش پيشنهادي در اين مقاله بگونه‌اي است كه خطاهاي ياد شده را به حداقل مي‌رساند. در اين روش ابتدا با استفاده از نقاط نقشه برداري شده يك شبكه مثلثي تشكيل مي‌شود. سپس با در نظر گرفتن مرزهاي زمين، شبكه بر تمام نقاط سطح زمين گسترش داده مي‌شود. پس از آن با استفاده از روش ميانگين وزني شيب‌هاي بهينه تعيين مي‌گردد. به اين ترتيب مشخصات صفحه‌ي تسطيح محاسبه مي‌گردد. با محاسبه احجام عمليات خاكي و مقايسه آن با معيارهاي مورد نظر امكان تعديل صفحه تسطيح ميسر مي‌شود. در اين مقاله از روش نيوتن رافسون براي تعيين موقعيت مطلوب صفحه تسطيح بهره گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

روش **Composite**

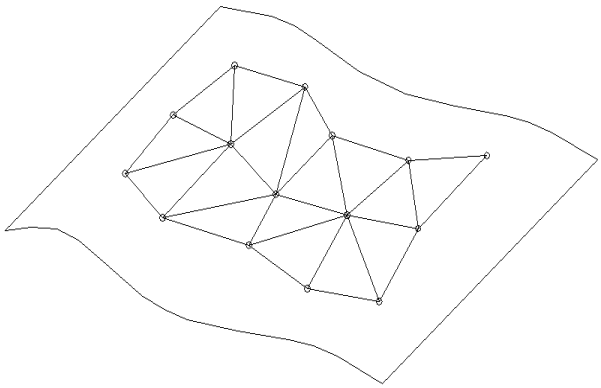
مباني محاسبات اين روش استفاده از منشورهاي مثلثي با حداقل حجم ممكن است. براي محاسبه‌ي حجم يك جسم لازم است مساحت سطوح ابتدا و انتها و نيز فاصله رئوس اين سطوح از يكديگر را داشته باشيم. بنابراين در مرحله اول بايد سطوح ابتدايي و انتهايي را تشكيل دهيم. تشكيل اين سطح براي زمين بعد از تسطيح ساده است زيرا اين سطح شامل يك صفحه با شيب‌هاي ثابت است. اما سطح زمين طبيعي را بدليل وجود ناهمواري‌ها، نمي‌توان با يك صفحه با شيب‌هاي ثابت مدل كرد. از نظر عددي اين سطح را مي‌توان به بي نهايت صفحه با شيب‌هاي متغير تقسيم كرد كه هر چه مساحت اين سطوح كوچكتر باشد شكل كلي به دست آمده به شكل سطح اصلي نزديك تر خواهد بود. در نقشه برداري نقاط با تراكم خاصي برداشته مي‌شوند. بنابراين صفحات را تا زماني مي‌توان كوچك كرد كه حداقل سه نقطه نقشه برداري شده براي محاسبه‌ي شيب‌هاي صفحه درون آن قرار گيرد (شكل ١).

بنابراين اولين مرحله، ايجاد اين صفحات و تشكيل مدل زمين واقعي است. اين صفحات كنار هم را كه براي تشكيل مدل زمين واقعي ايجاد شده اند از اين پس سطح زمين طبيعي مي‌ناميم. شكل ٢ نمونه‌اي از اين سطح را نشان مي‌دهد.



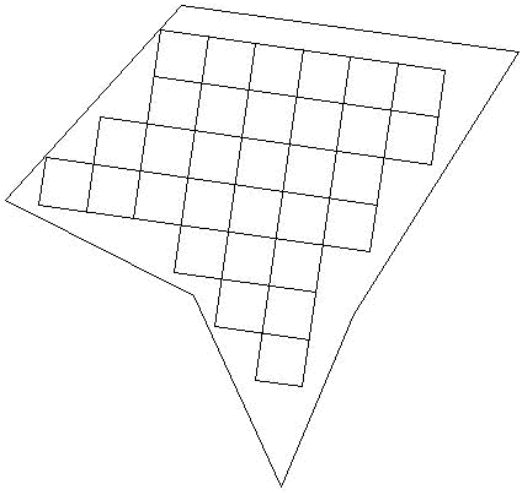
شكل ١ - كوچكترين صفحه‌اي كه مي‌توان در ميان نقاط نقشه برداري شده براي مدل كردن سطح زمين ايجاد كرد

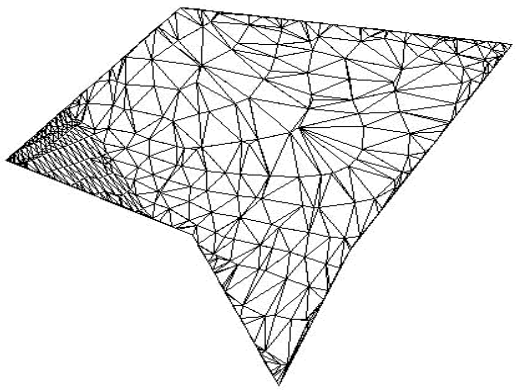
بايد توجه داشت كه در راس هر يك از اين صفحات يك نقطه نقشه برداري شده وجود دارد. با داشتن رئوس مربوط به اين صفحات مي‌توان معادله هر صفحه را در فضا به‌دست آورد. با استفاده از اين معادلات مي‌توان ارتفاع نقاطي را كه در ميان نقاط نقشه برداري شده نيستند با ميان يابي محاسبه كرد. مزيت استفاده از اين روش آنست كه ديگر نيازي به نقشه برداري متعامد نيست. يعني اينكه مي‌توان با استفاده از نقاط برداشت شده در نقشه برداري تاكومتري، رقوم نقاط مورد نياز براي شبكه بندي در تسطيح را با ميانيابي به‌دست آورد. در نتيجه هزينه نقشه برداري متعامد، كه در عمليات تسطيح قابل توجه است با اين روش حذف مي‌شود.



شكل ٢- ايجاد صفحات مثلثي، براي مدل كردن زمين طبيعي

با استفاده از اين روش مي‌توان سطح زمين را با دقت بيشتر مدل كرد. زيرا كه در اين روش از صفحات مثلثي بجاي صفحات مربع يا مستطيل استفاده مي‌شود و اين صفحات مثلثي در واقع مي‌توانند كوچكتر از صفحات چهار گوشه باشند. مزيت ديگر استفاده از صفحات مثلثي، ايجاد منشورهاي با سه وجه جانبي در محاسبه حجم است. در واقع در محاسبه حجم يك جسم نا متوازن هرچه كه اين جسم را به احجام كوچكتري تقسيم كنيم، مجموع اين احجام به حجم جسم اصلي نزديك تر است. چون سطح زمين طبيعي را به كوچكترين صفحات ممكن تقسيم كرده ايم بنابراين منشورهاي ايجاد شده از اين صفحات كمترين حجم ممكن را دارا خواهند بود. در نتيجه دقت حجم به‌دست آمده در اين روش از روش‌هاي متداول بيشتر است.





شكل ٣ - اختلاف بين محدوده زمين در نظر گرفته شده در روش Composite و زمين در نظر گرفته شده در روش‌هاي ديگر محاسبه حجم

همچنين در روش‌هاي متداول بدليل استفاده از سلول‌هاي مربعي و يا مستطيلي نمي‌توان تمامي‌گوشه‌ها و زواياي زمين‌ها را در نظر گرفت. بنابراين بخش‌هايي از زمين از محاسبات خارج

مي‌شوند(شكل ٣ الف). كه منظور نكردن اين بخش‌ها به ميزان خطاي برآورد مي‌آفزايد. اما استفاده از سلول‌هاي مثلثي اين امكان را مي‌دهد كه هر شكلي از زمين بخوبي مدل شود و هيچ قسمتي از روند محاسبه احجام خارج نشود(شكل ٣ ب).

به سطح‌هاي ايجاد شده در مرحله قبل, مدل شبكه مثلثي نامنظم TIN[1] مي‌گويند. اين مدل‌ها در ابتدا براي شبيه سازي سطح زمين جهت ايجاد نقشه‌هاي توپوگرافي بكار گرفته شده اند. ولي تا كنون از آن‌ها جهت انجام محاسبات تسطيح استفاد نشده است(۴ و ۶).

پس از ايجاد شبكه مثلثي براي زمين طبيعي با استفاده از ميان يابي ارتفاع نقاط لازم براي محاسبه‌ي شيب‌هاي بهينه براي صفحه‌ي تسطيح محاسبه مي‌شود. با استفاده از روش ميانگين گيري وزني شيب‌هاي بهينه در هر دو جهت طولي و عرضي محاسبه مي‌شوند و در نهايت اولين معادله‌ي صفحه‌ي تسطيح بصورت زير به‌دست مي‌آيد.

$$Z(X,Y) = S_x(X) + S_y(Y) + Z_{(0,0)} \qquad (٢$$

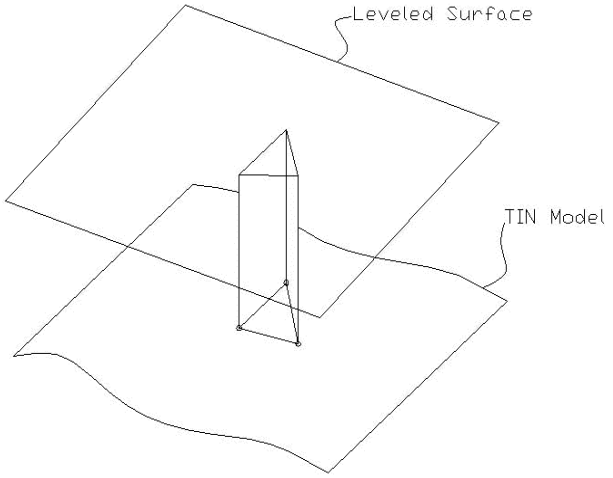
در اين معادله $Z(X,Y)$ ارتفاع هر نقطه بطول X و عرضY، $Z(0, 0)$ ارتفاع صفحه‌ي تسطيح در مبدا مختصات، S_x و S_y به‌ترتيب شيب صفحه‌ي تسطيح در جهت محورهاي X و Y است.

حال بايد صفحات مثلثي مدل TIN را بر روي صفحه تسطيح تصوير كرد. در واقع با داشتن معادله صفحه تسطيح و مختصات رئوس هر مثلث، مختصات نقاط هر راس را در معادله (٢) قرار داده و ارتفاع آن نقطه را برروي صفحه‌ي تسطيح به‌دست مي‌آوريم شكل ۴ نشان دهنده نتايج حاصل از اين مرحله است.

پس از اين مرحله منشورهاي با سه وجه جانبي ايجاد مي‌شوند كه كافي است حجم آن‌ها را محاسبه كنيم. منشورهاي ايجاد شده داراي دو حالت كلي هستند.

١- تمام رئوس منشور در خاكبرداري و يا در خاكريزي قرار گيرد.

٢- وضعيت يكي از راسها خلاف دو راس ديگر باشد (يكي در خاكبرداري و دو راس ديگر در خاكريزي و يا عكس آن)



شكل ۴ - منشور با سه وجه جانبي ايجاد شده براي محاسبه حجم

براي حالت اول حجم هر منشور با استفاه از معادله (٣) قابل محاسبه مي‌باشد.

$$V = A(\sum_{i=1}^{3} h_i)/3 \qquad (٣$$

كه در آن V حجم منشور، A سطح قاعده آن و h_i ميزان ارتفاع خاكبرداري و يا خاكريزي در هر راس است.

براي محاسبه‌ي حجم منشور در حالت دوم با فرض خطي بودن تغييرات ارتفاع بين هر دو راس، هر منشور به چند هرم (گوه) تقسيم مي‌شود كه حجم هر كدام را از رابطه‌ي زير محاسبه مي‌كنيم

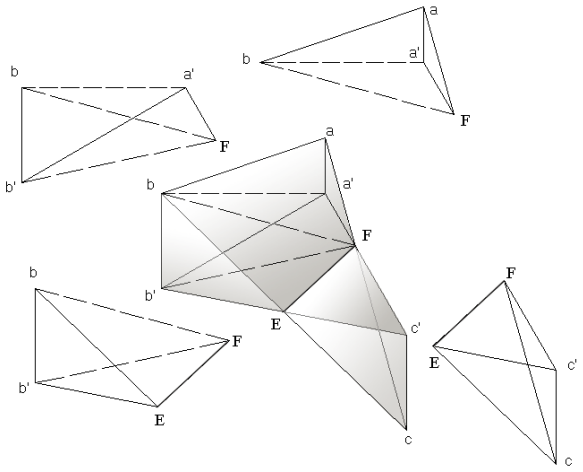
$$V = A(h/3) \qquad (٤$$

در اين رابطه نيز V حجم هرم، A مساحت قاعده‌ي آن و h ارتفاع عمود بر قاعده است.

نحوه‌ي تقسيم كردن منشور به هرم در حالت دوم در شكل ۵ ديده مي‌شود. در اين شكل مثلث abc يكي از مثلث‌هاي شبكه‌ي مثلثي زمين طبيعي است. و مثلث $a'b'c'$ تصوير اين مثلث بر روي صفحه تسطيح است.

با محاسبه‌ي هر جزء حجم در كل شبكه و جمع كردن آن‌ها با يكديگر حجم عمليات خاكي كل محاسبه مي‌شود.

1. Triangular Irregular Network (TIN)



شكل٥ - نحوه‌ي تقسيم كردن منشور به چند هرم

نتايج و بحث

كاربرد روش نيوتن رافسون در تعديل احجام

حجم محاسبه شده بين سطح زمين طبيعي و سطح زمين تسطيح شده در واقع تابعي از ارتفاع صفحه‌ي تسطيح خواهد بود بنابراين مي‌توان اين رابطه را بصورت زير بيان كرد.

$$V = f(h) \qquad (٥$$

در اين رابطه V حجم عمليات خاكي، h ارتفاع صفحه‌ي تسطيح و f تابعي است كه رابطه‌ي بين h و V را بيان مي‌كند. رابطه‌ي (٥) به دو تابع تقسيم مي‌شود يك تابع حجم عمليات خاكريزي و ديگري حجم عمليات خاكبرداري را بيان مي‌كند.

$$V = f(h) = \begin{cases} V_{cut} = f_c(h) \\ V_{fill} = f_f(h) \end{cases} \qquad (٦$$

اگر نسبت حجم خاكبرداري به خاكريزي را R بناميم، داريم:

$$R = \frac{V_{cut}}{V_{fill}} = \frac{f_c(h)}{f_f(h)} = G(h) \qquad (٧$$

بنابراين R نيز تابعي از h خواهد بود. براي محاسبه نسبت خاكبرداري به خاكريزي معيين تابع به صورت زير به‌دست مي‌آيد.

$$G(h) = R_d \qquad (٨$$

كه R_d نسبت خاكبرداري به خاكريزي دلخواه است. رابطه‌ي (٨) را مي‌توان به صورت زير نشان داد.

$$K(h) = G(h) - R_d \qquad (٩$$

در اين رابطه K(h) تابعي است كه ميزان آن در ارتفاع خاصي كه برابر ارتفاع لازم براي رسيدن به ميزان نسبت خاكبرداري به خاكريزي مناسب است، برابر صفر خواهد بود.

براي حل اين معادله مي‌توان از روش‌هاي عددي مختلفي استفاده كرد. در ميان روش‌هاي عددي روش نيوتن رافسون سريع تر از بقيه به جواب همگرا مي‌شود. در اين مقاله از اين روش براي حل عددي معادله (٩) استفاده شده است. روندنماي اين مرحله را مي‌توان در شكل ۶ مشاهده كرد.

براي شروع محاسبات لازم است كه ارتفاعي به صورت اوليه و حدسي در نظر گرفته شود. هر چه اين حدس به مقدار واقعي نزديكتر باشد، تعداد تكرارها براي همگرا شدن جواب كمتر خواهد بود. در اين قسمت براي شروع محاسبات مي‌توان از ارتفاع ميانگين نقاط سطح زمين استفاده كرد.

براي تعيين موقعيت جديد صفحه تسطيح به كمك روش نيوتن رافسون ضروري است كه مشتق تابع محاسبه شود. براي محاسبه اين مشتق از روش مشتق گيري عددي استفاده شده است. يعني از تعريف مشتق براي محاسبه آن استفاده شده. به اين ترتيب كه تابع K(h) را به ازاء موقعيت h و h+Δh محاسبه و بصورت معادله (١٠) به كار گرفته شده است.

$$K(h) = \mathrm{Lim}_{\Delta h \to 0}\left(\frac{K(h) - K(h+\Delta h)}{\Delta h}\right) \qquad (١٠$$

با استفاده از اين روش و تركيب آن با روش Composite در محاسبه احجام عمليات خاكي مي‌توان ارتفاع تعديل شده را با دقت مورد نظر به‌دست آورد.

با درنظر گرفتن روش جديد در تسطيح مراحل تسطيح بصورت زير خواهد بود.

ايجاد مدلTIN

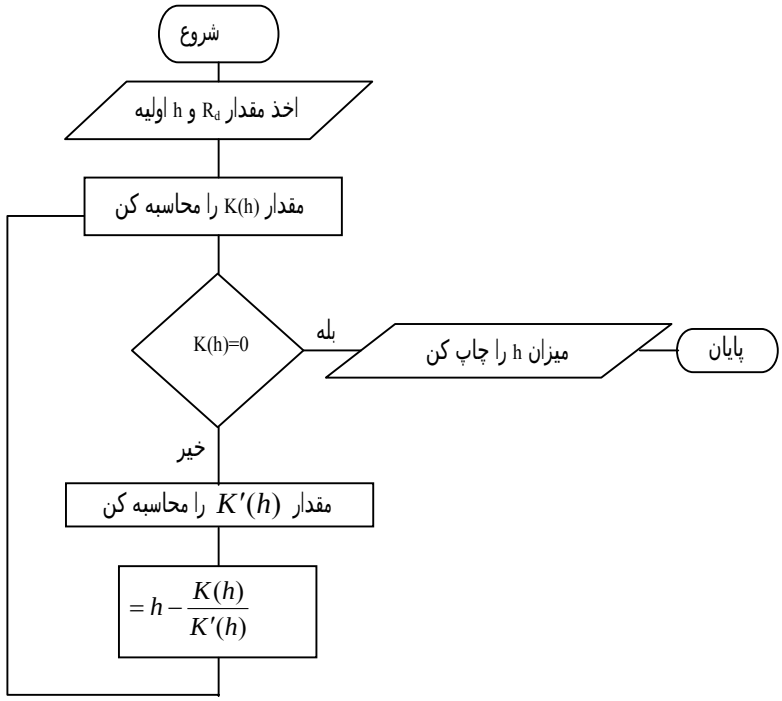
ميانيابي نقاط شبكه بر روي مدل TIN

محاسبه شيب‌هاي بهينه با استفاده از روش ميانگين وزني

محاسبه احجام عمليات خاكي

تعديل صفحه تسطيح به روش نيوتن رافسون

محاسبه ميزان خاكبرداري و خاكريزي در هر نقطه



شكل٦ - روش نماي روش نيوتن رافسون براي محاسبه ميزان تعديل ارتفاع

بر اساس روش و معادلات ارائه شده مدلي تدوين و بكار گرفته شد. براي مقايسه نتايج روش پيشنهادي نسبت به روش‌هاي متداول بايد احجامي را در نظر گرفت كه امكان يافتن جواب‌هاي تحليل آن ميسر باشد. نتايج حاصل از انتخاب چنين احجامي از اين جهت مورد اعتماداند كه نتايج عددي دو روش پيشنهادي و متداول با نتايج حقيقي مورد مقايسه قرار مي‌گيرند. براي اين منظور دو حجم نيمكره و حجم حاصل از دوران يک بيضي براي مقايسه نتياج مدل پيشنهادي و مدل‌هاي متداول در دو مثال زير به كار رفته‌اند.

مثال ١: ارتفاع صفحه مسطحي كه حجم عمليات خاكريزي و خاكبرداري را در نيم‌كره‌اي به شعاع يكصد متر برابر مي‌سازد تعيين كنيد.

مثال ٢: ارتفاع صفحه مسطحي كه حجم عمليات خاكريزي و خاكبرداري را در حجم حاصل از دوران نيم بيضي به شعاع بزرگ يكصد متر و شعاع كوچک پنجاه متر برابر مي‌سازد, پيدا كنيد.

اين دو مثال ابتدا با يكي از نرم افزارهاي متداول در دفاتر مهندسي كه به نام DOLF[1] معروف است حل شده‌اند. در اين نرم افزار محاسبه احجام عمليات خاكي به وسيله روش شبه و كريز صورت مي‌گيرد(٩). تعداد نقاط به كار رفته در هر دو مثال برابر است با ۶۹ نقطه. به اين ترتيب مساحت هر مربع برابر با $400m^2$ است. نتايج حل در جدول ١ ارائه شده است.

جدول ١- نتايج به دست آمده از روش‌هاي متداول

مثال	ارتفاع صفحه تسطيح m	مساحت m^2	حجم عمليات خاكي (خاكبرداري) m^3
نيم كره	۶۲/۹	٣۵٩۴٠	٣۶٨٩٠۴
نيم بيضوي	٣١/۵٠	٣۵٩۴٠	١٨٧٣٠٣

براي حل مثال‌هاي فوق با روش پيشنهادي و به منظور قابل مقايسه كردن نتايج دو روش از همان نقاط ارتفاعي كه در بخش اول استفاده شده, در اينجا نيز بهره گرفته شده. يعني در واقع تراكم نقاط در سطح مقطع در هر دو روش كاملاً برابر است. اما در اين بخش به جاي شبكه مربع از شبكه مثلثي استفاده شده است. نتايج حل مثال‌ها با روش پيشنهادي در جدول ٢ ارائه شده است.

1. Design of Land Forming

جدول ٢- نتايج به دست آمده از روش پيشنهادي

مثال	ارتفاع صفحه تسطيح	مساحت m^2	حجم عمليات خاكي (خاكبرداري) m^3
نيم كره	۶۵/۹	۳۱۲۶۰	۳۱۸۷۴۰
نيم بيضوي	۳۳/۵۰	۳۱۲۶۰	۱۵۶۰۶۵

نتايج حل تحليلي در نيم كره منجر به صفحه اي شده كه ارتفاع آن از كف ۶۶/۷ متر و مساحت آن ۳۱۴۱۵/۹ مترمربع است. همچنين حجم عمليات خاكبرداري و خاكريزي آن نيز معادل ۳۱۰۲۸۰ متر مكعب است. حل تحليلي مثال دوم نيز به صفحه اي با ارتفاع ۳۳/۳۳ متر از كف, مساحت ۳۱۴۱۵/۹ مترمربع و حجم عمليات خاكي ۱۵۵۱۳۳ مترمكعب منجر شده است. به اين ترتيب امكان مقايسه نتايج دو روش ميسر مي‌شود. نتايج مقايسه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ٣- درصد خطاهاي دو روش در محاسبه‌ي پارامترهاي مختلف

مثال	روش	ارتفاع صفحه تسطيح	مساحت	حجم عمليات خاكي
نيمكره	متداول	۵/۷	۱۴/۴	۱۸/۹
	پيشنهادي	۱/۲	۰/۵	۲/۷
نيم بيضوي	متداول	۶/۹	۱۴/۴	۲۰/۷
	پيشنهادي	۰/۸	۰/۵	۰/۶

در جدول ۳ محاسبه ارتفاع مركز سطح, مساحت سطح و حجم عمليات خاكي مورد مقايسه قرار گرفته است. در صد خطا با استفاده از رابطه ۱۱ محسبه شده است.

$$Error(\%)=((An-Cal)/An)\times 100 \qquad (11$$

كه در آن Error(%) مقدار خطا به درصد, An جواب حل تحليلي, Cal جواب روش مورد نظر مي‌باشد.

جدول۳ نشان مي‌دهد كه ميزان خطاي روش پيشنهادي در تمام موارد ياد شده به طور قابل توجهي از روش متداول كمتر است طوري كه در تعيين حجم عمليات خاكي خطاي روش متداول هفت برابر خطاي روش پيشنهادي است. اين امر برتري روش پيشنهادي را به خوبي روشن مي‌كند. اما اختلاف موجود در ميزان خطاي محاسبه شده در دو مثال به دليل انحناي كمتر نيم بيضوي نسبت به نيمكره است. به عبارت ديگر در هنگام مثلث بندي سطح نيم بيضوي فرض خطي بودن تغييرات بين دو نقطه (مسطح بودن صفحات مثلثي) به واقعيت نزديكتر است.بنابراين خطاي كمتري در محاسبات ايجاد مي‌شود. بايد يادآوري كرد كه در زمين‌هاي طبيعي گوشه دار اختلاف خطاها از اين مقدار هم مي تواند فراتر رود.

نتيجه گيري

روش‌هاي متداول تسطيح و تعيين احجام عمليات خاكي همراه با خطاهاي قابل توجهي است. در اين مقاله روش جديدي براساس كاربرد شبكه مثلثي براي تسطيح و تعيين احجام عمليات خاكي ارائه شد. همچنين براي كاهش زمان اجراي از روش عددي رافسون-نيوتن براي تعيين ارتفاع صفحه تسطيح استفاده شد. كاربرد روش پيشنهادي و يكي از روش‌هاي بسيار متداول در دفاتر مهندسي براي دو حجمي كه داراي حل تحليلي است نشان داد كه روش پيشنهادي ميزان خطا را به مقدار بسيار زيادي (حدود هفت برابر براي دو مثال ارائه شده) كاهش داده است. انتظار مي‌رود كه كاربرد اين روش در زمين‌هاي طبيعي ميزان دقت را از مقدار ياد شده هم فراتر برد.

سپاسگزاري

از معاونت محترم پژوهشي دانشگاه تهران كه بخشي از امكانات لازم براي انجام تحقيق فراهم نموده‌اند تشكر و قدرداني مي‌نماييم.

منابع مورد استفاده

REFERENCES

١. ابن جلال، ر. ١٣٧٧. تسطيح ارضي طراحي و محاسبات. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه شهيد چمران. ٣٠٩ صفحه.

2. Afshar, A. & Mariño, MA. 1992. An optimum land leveling technique for surface irrigation. International Journal of Engineering Vol. 3(1a): 31-42.
3. Anderson, C. 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. & 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. & 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 State University, 1992. Level Gram User manual. Irrigation and Reclamation Dept., Utah,USA.