

۴-۱- مقدمه: منظور از عملیات خاکی و محاسبات مربوط به آن مجموعه اقداماتی است که با هدف تعیین ابعاد و اشیای زیر انجام می‌گردد:

- الف- دکوپاژ (Decapage): عبارت است از کندن و برداشتن خاکهای نابتی (خاکهای دالای مواد آلی، ریشه و ساقه درختان) و مواد زائد از سطح زمین طبیعی بستر راه یا محوطه.  
 که این عملیات معمولاً قبل از اجزای لایه‌های خاکریزی و یا لایه‌های روسازی بر روی سطح زمین طبیعی، در عمقی بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر انجام می‌گردد.
- ب- خاکبرداری (Cut): عبارت است از کندن و برداشتن خاک در عملیات از طول زمین طبیعی که رقوم آنها بیش از رقوم خط پروژه است.
- ج- خاکریزی (Fill): عبارت است از ریختن خاک و تراکم آن در عملیات از طول زمین طبیعی که رقوم آنها کمتر از رقوم خط پروژه است.
- د- عمل ریو (Deposit): عبارت است از عملی که خاکهای اضافی حاصل از عملیات خاکبرداری به آنجا حمل و در آنجا انبار می‌شود.
- ه- عمل قرضه (Borrow): در صورتی که نتوان تمام خاک مورد نیاز در خاکریزی را از محل خاکبرداری پروژه تأمین کرد، خاک مورد نیاز را از عملیات دیگری که توسط مهندس مشاور مناسب تشخیص داده شده، تأمین می‌کنند که قرضه نام دارد.
- و- انقباض خاک (Shrinkage): در مواردی خاک برداشته شده از محل خاکبرداری پس از انتقال به محل خاکریزی و تراکم، دارای حجم کمتری خواهد شد. این کمبود حجم یا انقباض در مصالح درشت دانه (شن و ماسه) بسیار کم و در مصالح ریزدانه (رس و لای) بسیار زیاد می‌باشد و گاهی به ۳۰ درصد می‌رسد.  
 که درصد انقباض خاک به نوع آن، درصد رطوبت هنگام تراکم و نوع ماشین‌آلات تراکم‌کننده دارد و در محاسبات حجم عملیات خاکی آن را بین ۱۰ تا ۱۵ درصد در نظر می‌گیرند.
- ز- تورم خاک (Swell): در مواردی که از خاک حاصل از خاکبرداری در زمینهای بسیار متراکم (دچ و سفت) و یا سنگ حاصل از عملیات کوه‌بری در تراشه‌های سنگی، برای پر کردن خاکریز استفاده می‌شود، ملاحظه

می‌گردد که یک متر مکعب خاک یا سنگ حاصل از عملیات خاکبرداری پس از انتقال به خاکریز و تراکم، دارای حجمی بیش از یک متر مکعب خواهد بود. این افزایش حجم که به علت ایجاد فضای خالی در بین قطعات سنگ خرد شده و یا ذرات خاک ایجاد می‌شود، تورم نامیده می‌شود.

کلا در صد تورم در عملیات کوه بزرگ بسته به تعداد قطعات سنگی در واحد حجم و نیز بزرگی یا کوچکی آنها به هنگام مصرف در خاکریز، ممکن است به بیش از ۵ درصد بالغ گردد.

کلا لازم به ذکر است که میزان تورم خاک در زمان حمل آنها باید مد نظر قرار گیرد. زیرا انواع خاک پس از کنده شدن از حالت طبیعی و دیپ شدن به حالت آزاد، دارای حجمی بیش از وضعیت طبیعی خود خواهد بود. میزان تورم در چنین حالتی برای انواع خاکها به شرح زیر می‌باشد:

- شن و ماسه خاک دار (توونان) : بسته به میزان خاک بین ۱۵ تا ۲۵ درصد
- خاکهای نباتی : ۱۰ تا ۱۵ درصد
- خاکهای لای دار و رس دار : ۲۵ تا ۳۵ درصد
- لای و رس خالص : بیش از ۳۵ درصد
- کوه بزرگ در سنگ : بیش از ۳۵ درصد
- ماسه تمیز طبیعی : صفر درصد

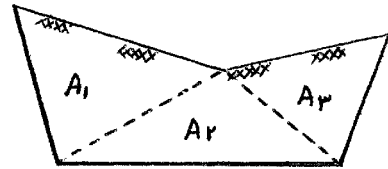
ح - فاصله حمل خاک : انتقال خاک از خاکبرداری به خاکریز، تا مسافتی خاک معرّفی از طرفه  $L$  و یا انتقال خاک مازاد به دیواره هم نیاز به حمل دارند. از طرفی برداشت هزینه عملیات خاکریز به همبستگی که بر مبنای متر مکعب خاک انجام می‌گردد، در صورت تجاوز فاصله حمل از فاصله تعیین شده در قرارداد، شامل اضافه هزینه حمل خواهد شد. لذا تعیین فاصله حمل خاک یا رانتر پس در محاسبات عملیات خاکی می‌باشد.

کلی برای پیداکردن حداقل فاصله متوسط حمل خاک روشهای مختلفی وجود دارد که در میان آنها «وروش لالان» (Lalane) و «بروکنر» (Bruckner) کاربرد بیشتری دارند. اساس هر دو روش تقریباً یکسان است با این تفاوت که روش لالان سریع تر و ساده تر از روش بروکنر بوده و در عوض روش بروکنر دقیق تر از روش لالان می‌باشد. در گذشته که از ابزار و یا کامیونهای با ظرفیت کم برای حمل خاکها استفاده می‌شد، دقت زیادی برای حمل خاک لازم بود و به این جهت روش بروکنر بیشتر کاربرد داشت. اما امروزه با وجود کامیونها و اسکلیرهای بر قدرت روش لالان با تقریب کافی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲- روشهای محاسبه سطح نیرخهای عرضی:

الف - محاسبه سطح نیرخهای عرضی به روش هندسی: در این روش نیرخ عرضی به قطعات کوچکتر هندسی (دورزنه - مثلث - مستطیل) تقسیم شده و با محاسبه و جمع سطوح کوچکتر، سطح نیرخ محاسبه می شود.

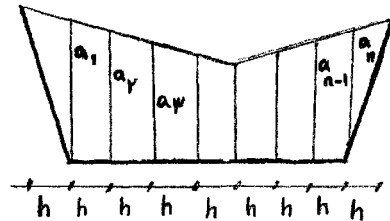
$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$



ب - محاسبه سطح نیرخهای عرضی به روش تقسیم به سطوح کوچکتر با ارتفاع یکسان: در این روش سطح نیرخ عرضی با خطوط موازی به نوارهای مساوی  $h$  تقسیم بندی می شود و مساحت نیرخ از رابطه زیر محاسبه می شود.

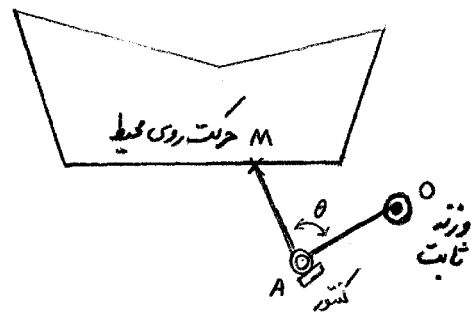
$$A = \frac{a_1 h}{2} + \frac{a_1 + a_2}{2} h + \frac{a_2 + a_3}{2} h + \dots + \frac{a_n h}{2}$$

$$A = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_{n-1} + a_n) h = \sum_{i=1}^n a_i \times h$$



پس با اندازه گیری مجموع طولهای  $a_1$  تا  $a_n$  و ضرب این مجموع در ارتفاع مشترک  $h$ ، مساحت کل  $A$  بدست می آید.

ج - محاسبه سطح نیرخهای عرضی به روش ترسیم و استفاده از پلان متر: در این روش سطح مقطع عرضی را به صورت (منظم یا غیر منظم) که باشد، با مقیاس معین بر روی کاغذ رسم نموده و سپس با گذراندن دستگاه پلان متر بر روی پیرامون شکل، مساحت آن را بدست می آورند. این روش در راهسازی بسیار معمول و مقداول بوده است و به منظور دقت و هماهنگی کردن آن با کارهای مترایی معمولاً مقاطع عرضی را با مقیاس ۱:۲۰۰ یا ۱:۱۰۰ ترسیم می کردند.



$$A = \frac{1}{2} \int r^2 \cdot d\theta$$

فرمول سطح در مختصات قطبی

$$r = f(\theta)$$

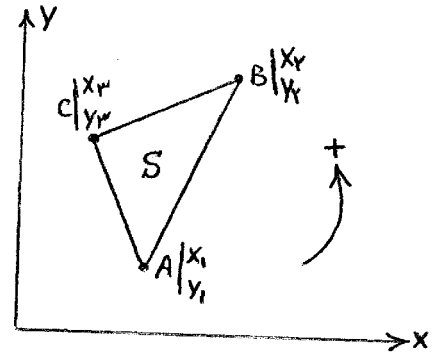
از طریق مطابق شکل دستگاه پلان متر

پس با اندازه گیری میزان گردشهای مفضل A (یعنی  $\theta$ ) و میزان شعاع حامل ( $r=0M$ ) و جیب سطح بی نهایت کوچک ( $\frac{1}{r} \cdot d\theta$ ) مساحت سطح مورد نظر تعیین می شود.

→ مناسب سطح نهرخزای عرضی به روش کامپیوتری: این روش که بر مبنای درمیانهای متشکل از مقاطع رؤوس نهرخ عرضی می باشد، بهترین روش مناسب سطح مقاطع عرضی بوده و هنگامی که طول پروژه طولانی و تعداد مقاطع عرضی بسیار زیاد است، حتی برای مناسب سطح نهرخزای استاندارد (منظم) هم ترجیح داده می شود. اساس روش مقاطع در ادامه توضیح داده می شود.

د- مناسب سطح نهرخزای عرضی به روش مقاطع: در صورتی که مقاطع نقاط مختلف در نهرخزای عرضی با انحنای یک سیستم مقاطع تعیین گردد می توان سطح نهرخ عرضی را با توجه به روشهای هندسه تحلیلی و محاسبات زیر به راحتی تعیین نمود.

$$2S = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_3 & x_1 \\ y_3 & y_1 \end{vmatrix}$$



به همین ترتیب می توان مساحت هر شری الاضلاع را به روش فوق به حسب درمیانهای متشکل از مقاطع رؤوس آن بدست آورد.

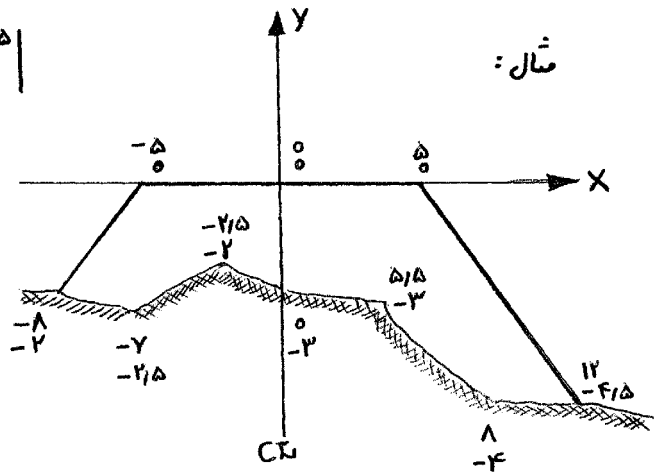
لازم به ذکر است که در این روش با توجه به موقعیت نقاط نسبت به محورهای مقاطع، باید مثبت یا منفی بودن مقاطع آنها در تشکیل درمیانها رعایت گردد. برای راحتی می توان محور  $y$  را منطبق بر محور راه و محور  $x$  را منطبق بر سطح تراز مناسب در نظر گرفت.

$$2S = \begin{vmatrix} 0 & -5 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -5 & -8 \\ 0 & -2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -8 & -7 \\ -2 & -2.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -7 & -2.5 \\ -2.5 & -2 \end{vmatrix}$$

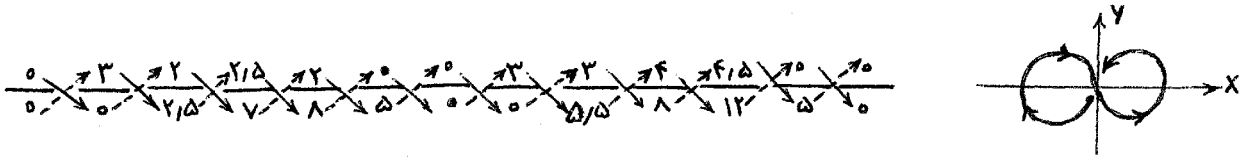
$$+ \begin{vmatrix} -2.5 & 0 \\ -2 & -3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 5.5 \\ -3 & -3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.5 & 8 \\ -3 & -4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8 & 12 \\ -4 & -4.5 \end{vmatrix}$$

$$+ \begin{vmatrix} 12 & 5 \\ -4.5 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = 84.25$$

$$S = 42.125$$



روش خلاصه: در این روش از علامت اعداد صرف نظر می شود و سیمین منحنیات نقاط به صورت  $\frac{y}{x}$  و با رعایت جهت حرکتی مشخص شده در شکل ردیف می شوند. مساحت مقطع با انجام حسابات زیر بدست می آید:



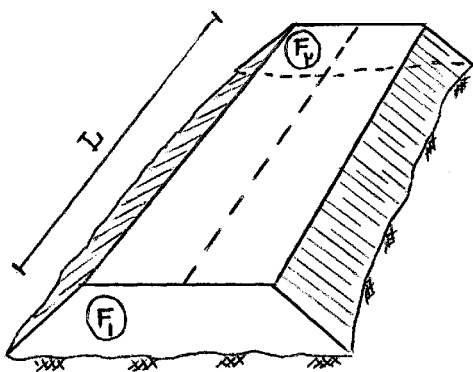
$$2S = \sum \downarrow - \sum \uparrow = (0 + 7,5 + 14 + 20 + 10 + 16,5 + 24 + 48 + 22,5 + 0) - (0 + 0 + 6,25 + 14 + 0 + 0 + 0 + 0 + 22 + 36 + 0 + 0)$$

$$S = 42,125$$

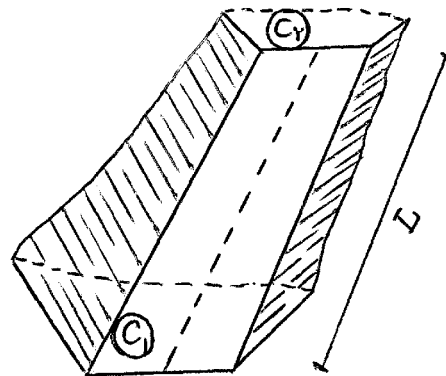
۳-۴- محاسبه حجم عملیات خاکی بین دو نهریخ عرضی متوالی:

حجم عملیات خاکی راه با توجه به میزان سطوح خاکبرداری و خاکریزی نهریخای عرضی و فواصل بین آنها محاسبه می گردد. در محاسبه ابعاد عملیات خاکی با توجه به وضعیت نهریخای عرضی به لحاظ خاکبرداری و خاکریزی، حالتی مختلف به وجود می آید که در ادامه مورد بحث قرار می گیرد.

الف - حالتی که دو نهریخ عرضی متوالی هر دو در خاکبرداری و یا هر دو در خاکریزی قرار دارند.

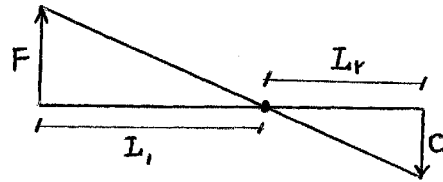
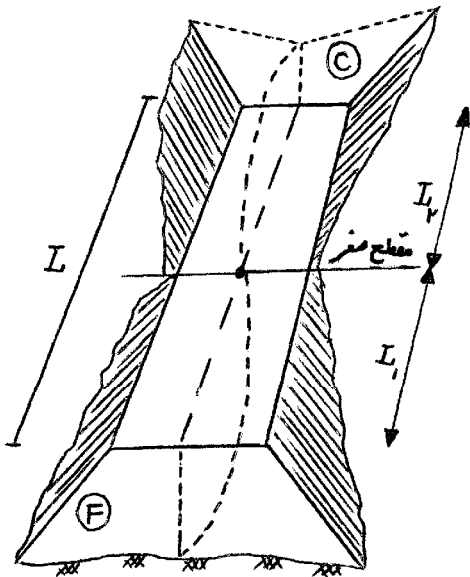


$$V_{Fill} = \frac{F_1 + F_2}{2} \times L$$



$$V_{cut} = \frac{C_1 + C_2}{2} \times L$$

ب- حالتی که دو نیم‌بخش عرضی متوالی یکی در خاکبرداری و دیگری در خاکریزی قرار دارد.



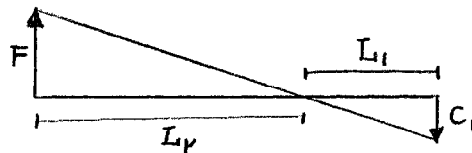
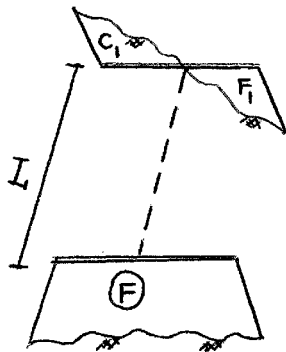
از تساوی:  $\frac{F}{C} = \frac{L_1}{L_r} \Rightarrow \frac{F}{F+C} = \frac{L_1}{L_1+L_r}$

در نتیجه:  $L_1 = \frac{F \cdot L}{F+C}$  و  $L_r = \frac{C \cdot L}{F+C}$

$$V_{Fill} = \frac{F+0}{\gamma} \times L_1 = \frac{F}{\gamma} \times L_1$$

$$V_{Cut} = \frac{C+0}{\gamma} \times L_r = \frac{C}{\gamma} \times L_r$$

ج- حالتی که از دو نیم‌بخش عرضی متوالی یکی به صورت کامل (خاکبرداری یا خاکریزی) و دیگری به صورت منقطع باشد.



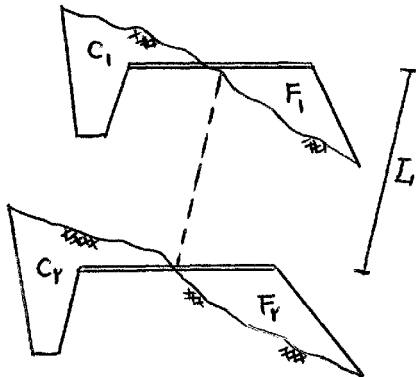
از تساوی:  $\frac{C_1}{F} = \frac{L_1}{L_r} \Rightarrow \frac{C_1}{C_1+F} = \frac{L_1}{L}$

در نتیجه:  $L_1 = \frac{C_1 \cdot L}{C_1+F}$

$$V_{Fill} = \frac{F+F_1}{\gamma} \times L$$

$$V_{Cut} = \frac{C_1+0}{\gamma} \times L_1 = \frac{C_1}{\gamma} \times L_1$$

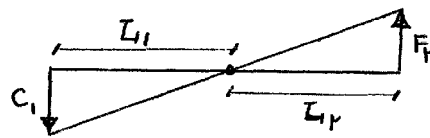
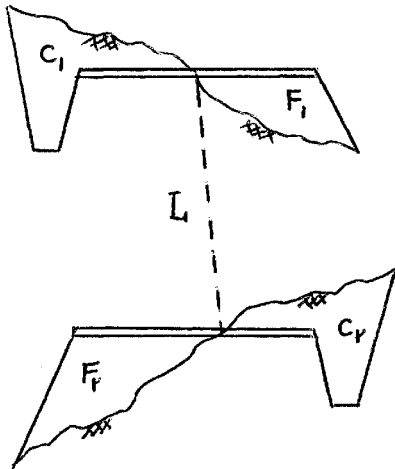
د- حالتی که دو نیمی عرضی متوالی هر دو به صورت مخلوط و متقابل هستند.



$$V_{Fill} = \frac{F_1 + F_2}{\gamma} \times L$$

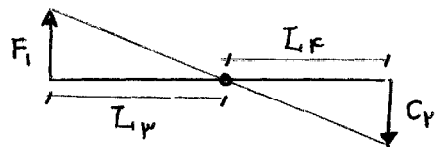
$$V_{Cut} = \frac{C_1 + C_2}{\gamma} \times L$$

ه- حالتی که دو نیمی عرضی متوالی هر دو به صورت مخلوط و غیر متقابل هستند.



مطابق حالات قبل:

$$L_1 = \frac{C_1 L}{C_1 + F_1} \quad \text{و} \quad L_2 = \frac{F_1 L}{C_1 + F_1}$$



بر همین روش:

$$L_3 = \frac{F_2 L}{F_2 + C_2} \quad \text{و} \quad L_4 = \frac{C_2 L}{F_2 + C_2}$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$V_{Fill} = \frac{F_2}{\gamma} \times L_3 + \frac{F_1}{\gamma} \times L_2$$

$$V_{Cut} = \frac{C_1}{\gamma} \times L_1 + \frac{C_2}{\gamma} \times L_4$$