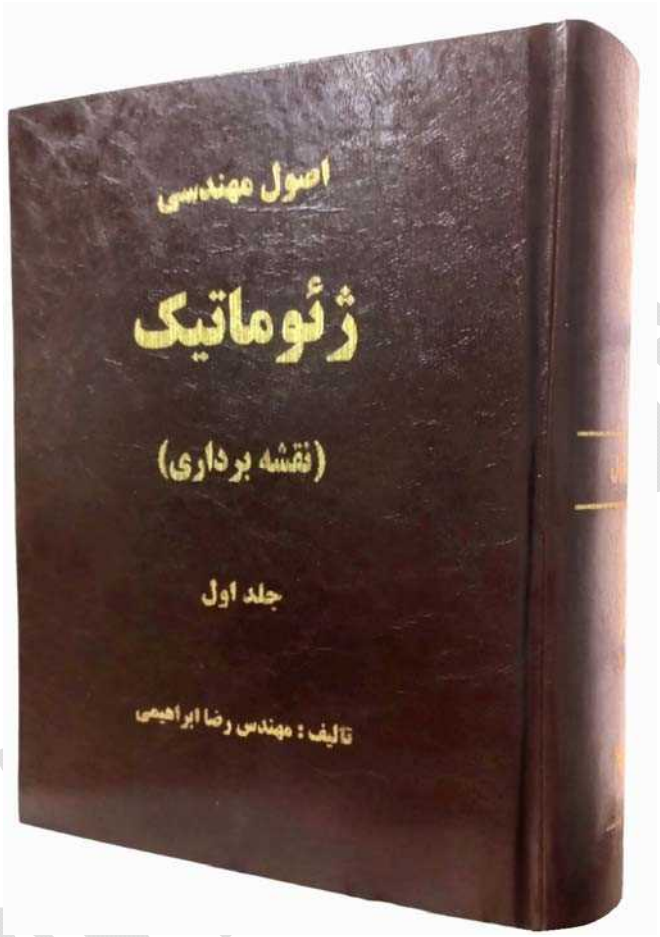
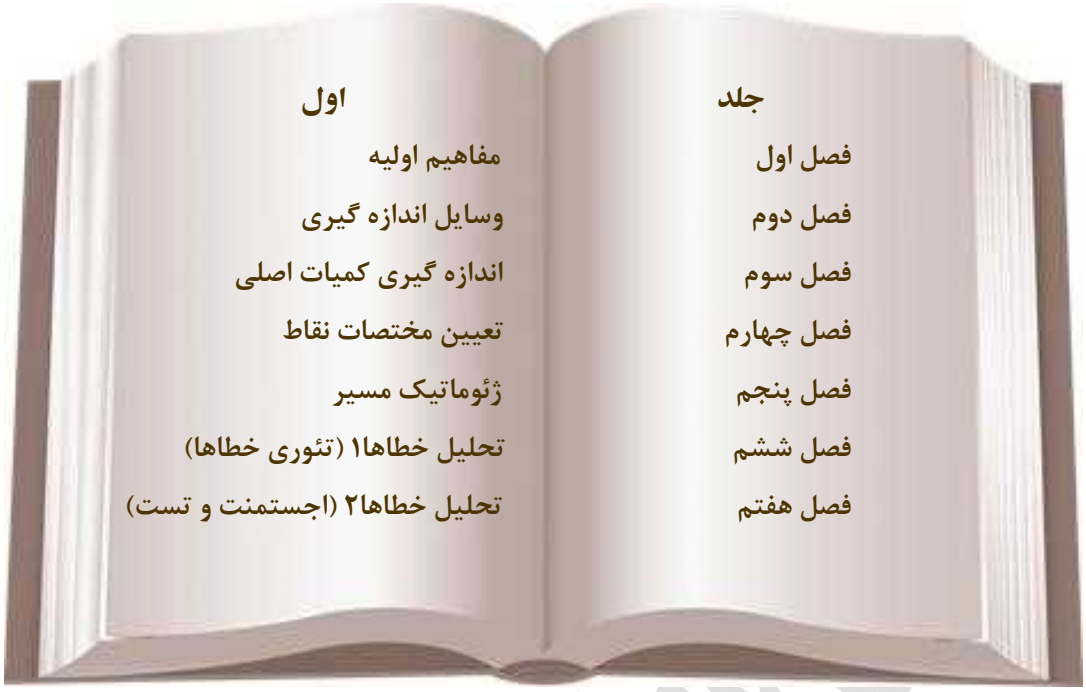
قابل توجه علاقمندان به رشته مهندسی نقشه برداری

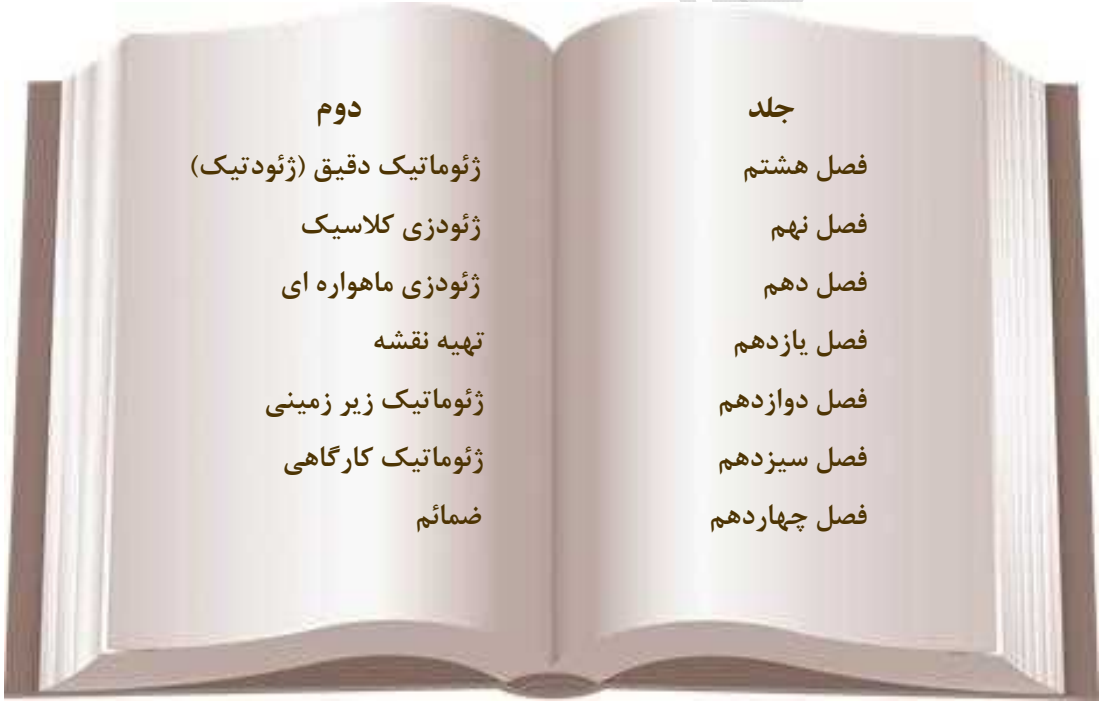
کتاب اصول مهندسی ژئوماتیک دردوجلد منتشر شد:



- قابل استفاده برای دانشجویان، مهندسین و اساتید رشته مهندسی نقشه برداری
- ناشر: نشردانشگاهی فرهمند
- تالیف : رضا ابراهیمی
- مرکز پخش: تهران- خیابان انقلاب- روبروی دانشگاه تهران- پاساژ فروزنده - طبقه اول- انتشارات فرهمند- تلفن : ۶۶۹۶۸۶۱۴ - ۶۶۴۱۰۶۸۸
- سفارش اینترنتی کتاب و دانلود فایل های ضمیمه : www.farbook.ir



جلد	اول
فصل اول	مفاهیم اولیه
فصل دوم	وسایل اندازه گیری
فصل سوم	اندازه گیری کمیات اصلی
فصل چهارم	تعیین مختصات نقاط
فصل پنجم	ژئوماتیک مسیر
فصل ششم	تحلیل خطاها۱ (تئوری خطاها)
فصل هفتم	تحلیل خطاها۲ (اجستمنت و تست)



جلد	دوم
فصل هشتم	ژئوماتیک دقیق (ژئودتیک)
فصل نهم	ژئودزی کلاسیک
فصل دهم	ژئودزی ماهواره ای
فصل یازدهم	تهیه نقشه
فصل دوازدهم	ژئوماتیک زیر زمینی
فصل سیزدهم	ژئوماتیک کارگاهی
فصل چهاردهم	ضمائم

اهم آنچه درجلد اول کتاب می خوانید:

- فصل۱- مفاهیم اولیه ژئوماتیک
- فصل۲- آموزش کار با توتال استیشن های لایکا سری TS
- فصل۳- اندازه گیری فاصله، زاویه، ترازیابی، و تعیین کلیماسیون نیوو
- فصل۴- پیمایش ها و سرشکنی آنها
- فصل۵- قوس ها، احجام خاکی، طراحی، راه سازی، و پیاده کردن مسیر
- فصل۶- انواع خطاها، قانون انتشارخطاها، خطای موقعیت، بیضی و پدال خطا
- فصل۷- اجستمنت و تست خطاها، به همراه مدل های کنسترینت: مینیمم ،اینر، وزنی و..

اهم آنچه درجلد دوم کتاب می خوانید:

- فصل۸- روش های اندازه گیری دقیق مشاهدات، اجستمنت پیمایش ها باروش کمترین مربعات، و طراحی شبکه های میکروژئودزی
- فصل۹- سیستم های مختصات و تحلیل سیستم های تصویر با محوریت UTM
- فصل۱۰- ژئودزی ماهواره ای
- فصل۱۱- تهیه نقشه های توپوگرافی و مقاطع
- فصل۱۲- ابنیه های زیر زمینی، اجستمنت پیمایش تونل ها، پیاده کردن خط کنتور، تعیین کسرحفاری، ایجاد سکشن های تونل، احجام حفاری، دستگاه های TBM
- فصل۱۳- روند اجرایی و پیاده کردن انواع سازه ها مانند ساختمان، سد، پل، سازه های صنعتی، و شرایط کاردر پروژه های اجرایی، به همراه محاسبات مهم UTM - Local

به همراه:

- اثبات فرمول ها و روابط مهم : مسیر، اجستمنت، ژئودتیک، ژئودزی و...
- مباحث و نکات مهم در پروژه های اجرایی
- بیش از ۴۲۰ مساله و تست تالیفی، ارشد و نظام مهندسی، همراه با حل کاملا تشریحی
- آموزش نرم افزارهای:

Leica flex office جهت داده های توتال استیشن

Leica geo office جهت داده های GPS

Cad tools جهت مقاطع و احجام مقاطع تونل

PPS جهت هدایت ماشین حفاری TBM

Maplesoft جهت برنامه نویسی مسائل اجسمنت

- فایل های ضمیمه شامل آیین نامه ها، نرم افزارها و مثال های حل شده کتاب

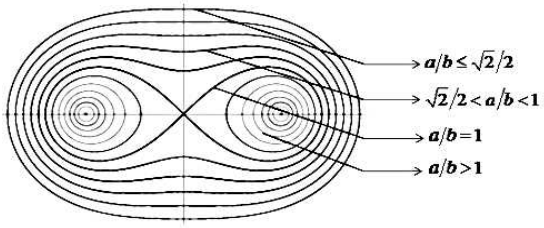
مشخصات کلی کتاب						
معادل واحد درسی	معادل درس دانشگاهی	تعداد مسائل حل شده	تعداد صفحات	عنوان فصل	فصل	جلد
-	-	-	۱۲	فهرست	۰	اول
۱	نقشه برداری ۱	۳۸	۸۸	مفاهیم اولیه	۱	
۲	دستگاه های پیشرفته	۰	۱۱۴	وسایل اندازه گیری	۲	
۲	نقشه برداری ۲	۵۴	۱۰۴	اندازه گیری کمیات اصلی	۳	
۱	نقشه برداری ۲	۱۱	۷۴	تعیین مختصات نقاط	۴	
۳	نقشه برداری مسیر+ راه سازی	۳۲	۲۳۶	ژئوماتیک مسیر	۵	
۲	تئوری خطاها (تئوری برآورد)	۷۵	۱۵۰	تحلیل خطاها (۱)	۶	
۳	اجستمنت (تئوری برآورد)	۸۴	۲۸۲	تحلیل خطاها (۲)	۷	
۱۴		**۲۹۴**	**۱۰۶۰**			**مجموع**

معادل واحد درسی	معادل درس دانشگاهی	تعداد مسائل حل شده	تعداد صفحات	عنوان فصل	فصل	جلد
-	-	-	۱۲	فهرست	-	دوم
۴	نقشه برداری ژئودتیک	۶۵	۲۷۴	ژئوماتیک دقیق	۸	
۳	ژئودزی ۲	۲۳	۲۶۶	ژئودزی کلاسیک	۹	
۲	ژئودزی ماهواره ای	۱۲	۱۲۲	ژئودزی ماهواره ای	۱۰	
۱	نقشه برداری ۲	۷	۲۸	تهیه نقشه	۱۱	
۳	نقشه برداری زیرزمینی	۱۰	۱۵۲	ژئوماتیک زیرزمینی	۱۲	
۲	جدید	۹	۱۴۶	ژئوماتیک کارگاهی	۱۳	
۱	-	۶	۶۰	ضمایم	۱۴	
۱۶		**۱۳۲**	**۱۰۶۰**			**مجموع**

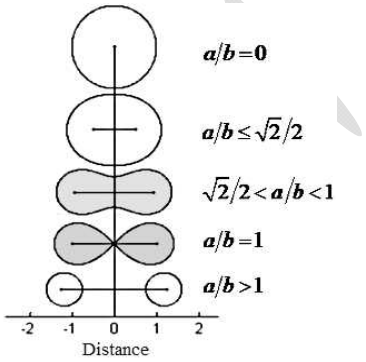
فصل۵- ژئوماتیک مسیر

منحنی لمنیسکات برنولی

در معادله کاسینی به ازای مقادیر خاص از a,b منحنی های دیگری نیز تولید می شود. درحالتی که خروج از مرکزیت یک باشد $(e = a/b = 1)$ یک منحنی به نام لمنیسکات برنولی ایجاد می شود که شکلی شبیه علامت ∞، پروانه یا دمبل دارد :



A Family of Cassini Ovals



با توضیح فوق $a = b$ را در رابطه کاسینی قرار می دهیم تا معادله دکارتی لمنیسکات حاصل شود:

$$(x^2 + y^2)^2 - 2a^2(x^2 - y^2) = b^4 - a^4 = 0 \Rightarrow (x^2 + y^2)^2 = 2a^2(x^2 - y^2)$$

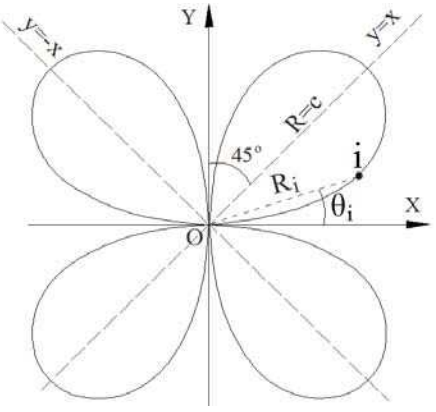
برای تعیین معادله قطبی لمنیسکات از معادله قطبی کاسینی استفاده می کنیم:

$$R^4 - 2a^2R^2\cos 2\theta = b^4 - a^4 = 0 \rightarrow R^4 = 2a^2R^2\cos 2\theta \rightarrow R^2 = 2a^2\cos 2\theta$$

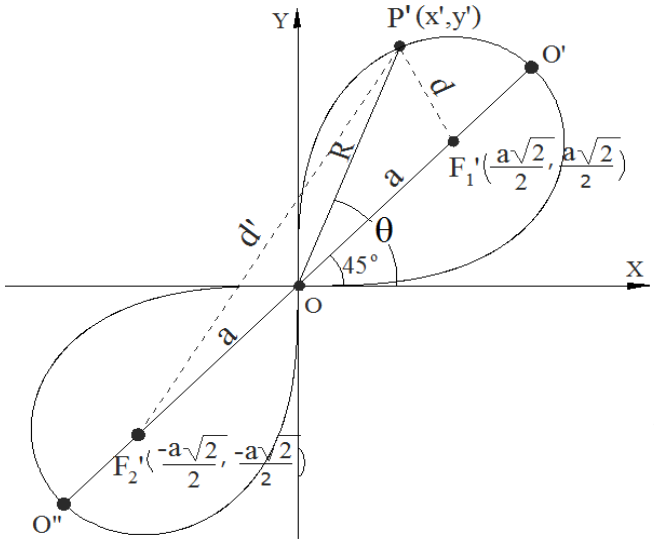
با فرض $c = a\sqrt{2}$:

$$R = c\sqrt{\cos 2\theta}$$

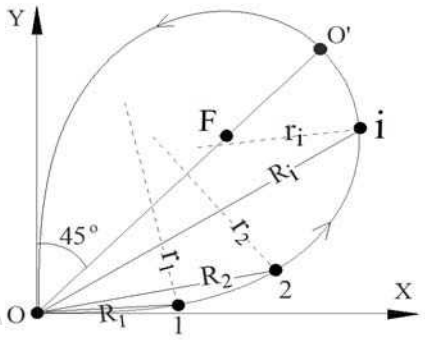
منحنی لمنیسکات برنولی دورانی (شبدری)- نوع دیگری از منحنی لمنیسکات با معادله ریاضی $R = c\sqrt{\sin 2\theta}$ نیز وجود دارد که فرم دوران یافته آن به اندازه ۴۵ درجه می باشد. این نـوع منحنی یکی از منحنی های رایج در طـراحی لوپ های تقاطع غیرهم سطح شهری یا مناطق مارپیچ کوهستانی است که در آن راننده مجبور به دورزدن کامل می باشد. ترسیم این منحنی متقارن شکلی شبیه برگ شبدر (Cloverleaf) ایجاد می کند، به نحوی که مطـابق شکل زیر به ازای $0 \le \theta \le \frac{\pi}{2}$ یک برگ شبدر در ناحیه اول، و به ازای $0 \le \theta \le 2\pi$ تمام چهار برگ شبدرترسیم می شوند:



برای اثبات $R = c\sqrt{\sin 2\theta}$ ابتدا مختصات نقاط کانونی دوران یافته را تعیین می کنیم، طبق شکل زیر با چرخش لمنیسکات به اندازه $\theta = 45^o$ در جهت پادساعتگرد، مختصات کانونی به F_1', F_2' تبدیل می شود:



تغییرات شعاع انحنا (r) - همان طورکه گفته شد منحنی لمنیسکات دارای شعاع انحنای متغیر است. مطابق شکل زیر در مبدا O حداکثر شعاع را داریم که هرچه به طرف نقطه O' می رویم به تدریج از آن کاسته شده و در O' که $\theta = 45^o$ می باشد به مینیمم خود می رسد. سپس با افزایش مقدار آن از 45^o به $\theta = 90^o$ به میزان شعاع افزوده می شود تا دوباره در نقطه O به ماکزیمم خود برگردد:



برای بررسی این که شعاع انحنا در O' مینیمم می شود، از آن مشتق گرفته و مساوی صفر قرار می دهیم:

$$r = \frac{c}{3\sqrt{\sin 2\theta}} \to r' = \frac{\partial r}{\partial \theta} = \frac{-c\dfrac{6\cos 2\theta}{2\sqrt{\sin 2\theta}}}{9\sin 2\theta} = 0 \to \frac{-c\cos 2\theta}{3\sin^{3/2} 2\theta} = 0 \to -c\cos 2\theta = 0$$

$$\to \cos 2\theta = 0 \to 2\theta = 90^o \Rightarrow \theta = 45^o$$

یعنی در زاویه 45^o مقدار r مینیمم می شود که با قراردادن این زاویه، مقدار آن نیز حاصل خواهد شد:

$$r_{\min} = r_{45} = \frac{c}{3\sqrt{\sin 90}} = \frac{c}{3}$$

بنابراین:

$$\begin{cases} \theta = \dfrac{\pi}{4} \to r_{\min} = r_{O'} = \dfrac{c}{3} \\ \theta = 0 \ \ or \ \ \pi \to r_{\max} = r_O = \dfrac{c}{3\sqrt{\sin 0}} = \infty \end{cases} \Rightarrow \frac{c}{3} \le r_i < \infty$$

🕮 پیاده کردن مسیر

به طورکلی امور ژئوماتیک مسیر در فاز ۳ یا اجرایی، طی سه مرحله زیر صورت می گیرد:

توجیه نقشه- ابتدا بایدکنترل کنیم پلان نقشه مسیر اصطلاحا توجیه شده یا در سیستم مختصات پروژه هست یا نه. بدین منظور فایل نقشه که معمولا یک فایل اتوکدی با پسوند dwg. می باشد را درنرم افزاری مانند Land یا Civil3D بازکرده و مختصات چند نقطه مهم آن مانند ابتدا و انتهای مسیر را استخراج می کنیم (اصطلاحا ID می گیریم). چنانچه این مختصات، با مختصات درج شده در نقشه که توسط طراح مسیر

نوشته شده یکسان باشد، نشان می دهد نقشه در سیستم مختصات پروژه قرار داشته و به اصطلاح توجیه شده است. درغیر این صورت باید با چرخش و دوران و احیانا تغییر مقیاس نقشه، مسیر را توجیه کنیم. برای این کار می توان از دستور اتوکدی Align استفاده نموده و اجزای پلان نقشه را به صورت دو بعدی توجیه کرد. توضیحات بیشتر در فصل ژئوماتیک کارگاهی آمده است.

استخراج مختصات نقاط- بعد از اطمینان از توجیه نقشه باید مختصات مورد نظر را از نقشه استخراج کنیم. معمولا می خواهیم مختصات محور مسیر و مختصات Catch point ها را استخراج کنیم که هر دو با نرم افزار انجام می گیرد. برای استخراج مختصات محور مسیر ابتدا مختصات (x,y) محور مسیر را از پلان نقشه مثلا برای هر $1m$ به $1m$ یا برای کیلومتراژهای روند استخراج می کنیم. سپس با استفاده از خط پروژه در پروفیل طولی یا مقاطع عرضی، ارتفاع نقاطی که مختصات آنها را به دست آورده ایم نیز استخراج می نماییم. در نهایت مختصات سه بعدی (x,y,h) تمام نقاط روی محور مسیر را به ازای هر $1m$ به صورت یک فایل متنی خواهیم داشت. پس از استخراج مختصات نقاط، آن را درحافظه دوربین و در یک جاب مشخص بارگذاری و ذخیره می کنیم.

مختصات Catch point ها نیز توسط نرم افزار قابل استخراج است. یادآور می شود مختصات استخراج شده از نقشه وقتی قابل اطمینان است که توپوگرافی و مقاطع نقشه، با زمین واقعی موجود مطابقت کند. به عبارتی نقشه توپوگرافی که مسیر بر روی آن طراحی شده باید به میزان قابل قبولی به واقعیت نزدیک باشد.

پیاده کردن نقاط- معمولا در مراحل مختلف خاکبرداری و خاکریزی بارها باید سرترانشه، پاشنه و محور مسیر را پیاده و کنترل کنیم. این کار توسط توتال استیشن و به روش مختصاتی انجام می گیرد. درکارهای با دقت عادی مانند دکوپاژ یا مراحل خاکبرداری که نیاز به دقت بالا نمی باشد، می توان دوربین را با برنامه ترفیع توجیه نمود. برای پیاده کردن نقاط نیز بهتر است از برنامه Reference line یا Stake out استفاده کرد.

پیاده کردن محورمسیر به روش مختصاتی

این روش بهترین و جامع ترین شیوه پیاده کردن نقاط یک مسیر با هر نوع قوس افقی و قائم می باشد. با این روش می توان هر نوع سازه و مسیر را پیاده نمود. با توجه به ابداع توتال استیشن و GPS این شیوه جایگزین روش های قدیمی شده و آنها را منسوخ کرده است. این روش بر مبنای استخراج مختصات نقاط (x,y,h) محور مسیر از روی پلان و پروفیل نقشه، و پیاده کردن آن با توتال استیشن (و بعضا GPS) بنا شده است. از مزایای این شیوه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف- سرعت بالا

ب- دقت بالا

پ- عدم نیاز به پیاده کردن نقاط رئوس (سومه) تانژانت ها

ت- وجود موانعی مانند خاکریز باعث اخلال درکار نمی شود، چرا که می توان ادامه مسیر را که در آن مانع وجود ندارد پیاده کرد، و بعد از رفع مانع اقدام به پیاده سازی آن قسمت نیز نمود.

ث- از آنجا که برای هر نقطه مختصات سه بعدی محور مسیر پیاده می شود، لذا منحنی های افقی و قائم همزمان پیاده می شوند.

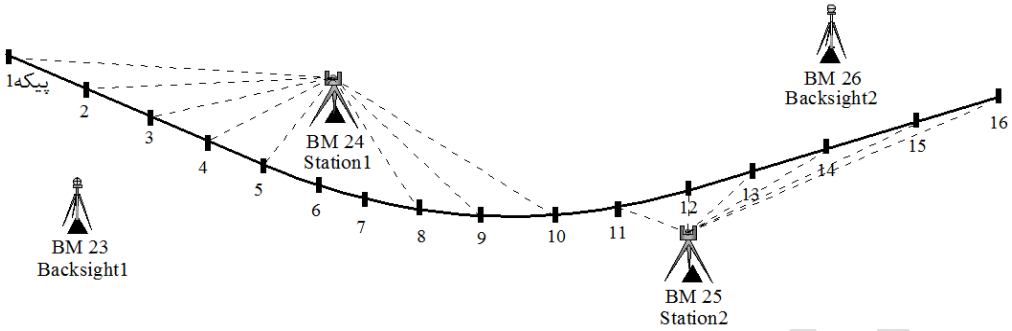
جهت استفاده از این روش مراحل زیر را پی می گیریم:

مرحله اول- استخراج مختصات محور مسیر- ابتدا همانند آنچه گفته شد مختصات سه بعدی مسیر را در محدوده کیلومتراژهای مورد نظر استخراج می کنیم.

مرحله دوم- پیاده کردن نقاط محور مسیر- در ادامه باید در طول مسیری که قرار است پیاده کنیم به تعداد کافی بنچ مارک داشته باشیم. درصورت نیاز نقاط را در اطراف مسیر توسط پیمایش با دوربین و یا GPS دو یا سه فرکانسهٔ دقیق ایجاد می کنیم. این نقاط باید به هم دید داشته و در فواصل مناسب از هم (مثلا $200m$) احداث شده و دسترسی به محل آنها نیز مشکل نباشد. نکته مهمی که باید توجه داشت این است که مختصات باید در همان سیستم مختصاتی باشد که نقشه توپوگرافی از آن تهیه و مسیر بر روی آن

طراحی شده است. به بیانی دیگر سیستم مختصاتی که نقشه توپوگرافی در آن تهیه و مسیر بر روی آن طراحی شده باید حتما با سیستم مختصاتی که پروژه پیاده می شود یکسان باشد.

اکنون دوربین را بر روی بنچ مارک سانتراژ و توجیه کرده و نقاط محور مسیر را پیاده کنیم. برای این کار بهتر است از برنامه های Stake out , Reference Line استفاده کنیم. درصورتی که به دقت بالا نیاز نباشد بدون نیاز به استقرار دوربین بر روی بنچ مارک، توسط برنامه ترفیع دوربین را توجیه کرده و بعد اقدام به پیاده کردن نقاط با برنامه های فوق می نماییم. درصورتی که احیانا برای ارتفاع نقاط نیاز به دقت بالاتر داشته باشیم می توانیم ارتفاع نقاط را با دوربین نیوو پیاده نماییم. در شکل زیر قسمتی از محور مسیری را که تنها با دو استقرار توتال استیشن پیاده شده است نشان می دهد:

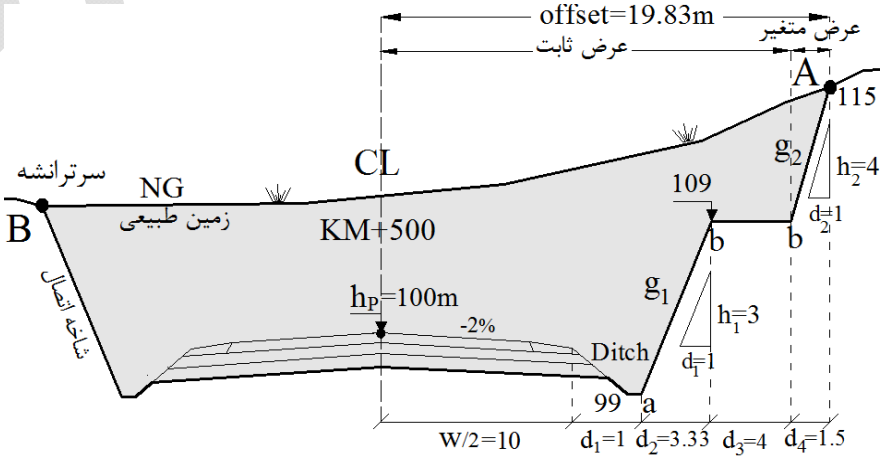


پیاده کردن سرترانشه و پاشنه کار به روش مختصاتی

علاوه برمحور مسیر، از مهمترین کارهای اجرایی واحد ژئوماتیک پیاده کردن نقاط برخورد شاخه های اتصال پروفیل تیپ با زمین موجود یا همان Catch points می باشد. از مشکلات رایجی که پیاده کردن سر ترانشه یا پاشنه ها رخ می دهد اختلاف زیاد بین زمین مقطع عرضی نقشه با زمین واقعی موجود است. علت اصلی این امر طراحی مسیر بر روی نقشه های توپوگرافی کم دقت است که قبلا توضیح داده شد. در صورت بروز چنین مشکلی از نظر حقوقی باید تناقضات زمین موجود با نقشه ها از طریق مکاتبات با نظارت و کارفرما مطرح و تعیین تکلیف شود. برای رفع عملی این مشکل نیز دو روش زیر پیشنهاد می شود:

روش اول- ابتدا محدوده کیلومتراژهای مورد نظر را با دقت لازم (مثلا مقیاس ۱:۱۰۰۰) برداشت توپوگرافی کرده، و یا به فواصل منظم (مثلا هر۱۰متر به۱۰متر) برداشت می کنیم. سپس در نرم افزارپلان مسیر را بر روی آن قرار داده و مقاطع را درکیلومتراژهای مورد نظر استخراج می کنیم. این روش زمان بر بوده و در واقع طراحی مجدد مسیر است، چرا که ناچاریم دوباره نقشه توپوگرافی، پروفیل طولی، خط پروژه، مقاطع عرضی و پروفیل تیپ را تهیه کنیم. اما درعوض عملیات اجرایی راحت تر خواهد شد. چنانچه اختلاف زمین واقعی موجود با زمین روی نقشه زیاد باشد (مثلا حدود ۳ متر) استفاده این روش بهتر است.

روش دوم- در این شیوه محل سرترانشه را مستقیما در پای کار پیاده می کنیم. بهتر است از مقاطعی که قرار است پیاده کنیم پرینت گرفته و به همراه ماشین حساب به محل ببریم. به طور مثال فرض کنید در مقطع خاکبرداری داده شده در $km+500$ می خواهیم سرترانشه سمت راست یعنی نقطه A را پیاده کنیم:



به طورکلی اگر در یک کیلومتراژ، افست یا فاصله افقی عرضی بین محور مسیر تا سرترانشه را با $offset$ نشان دهیم، این عرض شامل دو نوع عرض ثابت و متغیر می باشد. عرض ثابت از نقشه پروفیل تیپ فوق قابل استخراج است. به عنوان مثال برای نیمه سمت راست پروفیل تیپ، این عرض شامل نصف عرض سواره رو $(w/2)$، عرض دیچ (d_1)، عرض شاخه اتصال بین دیـچ و زمین (d_2)، و عرض برم (d_3) می باشد. عرض متغیر (d_4) نیز مربوط به شاخه اتصالی است که زمین موجود را قطع می کند. باید توجه داشت در مقاطع خاکبرداری هرچقدر ارتفاع زمین بالاتر باشد، شاخه اتصال زمین را در محل دورتری نسبت به محور مسیر قطع می کند و بالعکس، هرچه ارتفاع زمین کمتر باشد شاخه اتصال زمین را در فاصله نزدیکتری نسبت به محور قطع خواهد نمود. با این توضیح می توان رابطه ای را برای افست برحسب عرض های فوق به دست آورد. واضح است بسته به کیلومتراژ و نوع پروفیل تیپ، این عرض می توانند متفاوت باشند:

$$\begin{cases} offset = 0.5w + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \\ g_1 = \dfrac{d_1}{\Delta h_{ab}} = \dfrac{d_1}{h_b - h_a} \\ g_2 = \dfrac{d_3}{\Delta h_{bA}} = \dfrac{d_3}{h_A - h_b} \end{cases} \rightarrow offset = 0.5w + d_1 + g_1(h_b - h_a) + d_3 + g_2(h_A - h_b)$$

🕮 طراحی مسیر

مراحل کلی طراحی مسیر (فاز۲)		
تعیین پارامترهای اولیه		پارامترهای ورودی: مانند آزمایشات ژئوتکنیک، هیدرولوژی، زیست محیطی، جمعیتی، اقتصادی و ترافیکی
		پارامترهای اجباری و ترجیحی: مطابق آیین نامه ها و شرایط پیمان
		خودروی طرح: سواری ، اتوبوس نوع۱یا۲ ، کامیون نوع۱یا۲
		سرعت طرح
طراحی هندسی مسیر	طراحی مولفه های افقی	مسیریابی برای کشف بهترین مسیر (ترسیم خطوط شکسته یا تانژانت ها)
		طراحی قوس های افقی: ساده، مرکب، اتصال، سرپانتین
		طراحی دور در قوس های افقی
		طراحی تعریض در قوس های افقی
	طراحی مولفه های قائم	طراحی خط پروژه
		طراحی قوس های قائم: عموما سهمی درجه دو
	طراحی مسیرهای تکمیلی	طراحی تقاطع ها: مانند سه راهی ، چهار راهی ، میدان ، مسیر گردشی
		طراحی تبادل ها : مانند شبدری، لوزوی، روگذر و زیرگذر
		طراحی مسیرهای عبورکمکی مانند خطوط کمکی تغییر سرعت
	طراحی هندسی پروفیل تیپ	تعیین ابعاد و شیب سواره رو، شانه ها و پیاده رو، تعداد خطوط عبوری، شاخه های اتصال، برم (پله)، آبرو (دیچ) و غیره
طراحی ابنیه فنی راه		روسازی یا پروفیل تیپ: مانند جنس ، تراکم ، مصالح و ضخامت روسازی
		ابنیه عبوری: مانند پل، کالورت، زیرگذر
		ابنیه حفاظتی: مانند دیوار حائل
		ابنیه و تاسیسات کناری مسیر: مانند ایستگاه عوارضی، پمپ بنزین
طراحی تجهیزات و علائم		تجهیزات روشنایی، ایمنی و تهویه (درتونل ها)
		علائم راهنمایی و رانندگی: مانند خط کشی، تابلوهای راهنما
تهیه نقشه های نهایی		مانند: پلان، پروفیل طولی، مقاطع عرضی، جدول احجام و نقشه های سازه
متره و برآورد		متره مقادیر و برآورد مالی پروژه مطابق شرایط پیمان

فصل ۷- تحلیل خطاها(۲)

🕮 دیفکت درشبکه

دیفکت از نظر لغوی به معنای نقص می باشد، و منظور از آن در ژئوماتیک کمبود داده ها (مانند مختصات نقاط ثابت)، یا مشاهداتی اند که باعث می شوند تا نتوان برخی از مجهولات را به دست آورد:

انواع دیفکت:
- دیفکت دیتوم $(\text{Datum defect}, \text{defect}_d)$
- دیفکت شکل $(\text{Configuration defect}, \text{defect}_c)$
- دیفکت مریض $(\text{Ill Condition defect}, \text{defect}_i)$

دیفکت دیتوم- این نوع دیفکت مربوط به مشخص نبودن سیستم مختصات می باشد. می دانیم اگر در یک شبکه نقاط دو بعدی، مبدا وجهت، یا دو نقطه با مختصات معـلوم وجود نداشته باشد، سیستم مختصات برای این شبکه تعریف نمی شود. و یا اگر در یک شبکه ترازیابی ارتفاع یک نقطه معلوم در اختیار نباشد، شبکه از نظر ارتفاعی تعریف نخواهد شد.

دیفکت دیتوم درشبکه های یک بعدی $(0 \le def_d \le 1)$- به منظور تعریف سیستم مختصات درچنین شبکه هایی مانند شبکه های ترازیابی، کافی است یک نقطه را با ارتفاع معلوم داشته باشیم. به عبارتی این شبکه تنها یک نقص داشته و $def_d = 1$ خواهد بود. لذا یک معادله کنسترینت را به معادلات مشاهدات اضافه می کنیم.

دیفکت دیتوم در شبکه های دو بعدی $(0 \le def_d \le 4)$- باید ۴ پارامتر تعیین شود:

الف- تعیین مبدا- برای جلوگیری از انتقال (شیفت) دستگاه مختصات باید حداقل مختصات (x, y) یک نقطهٔ معلوم را داشته باشیم.

ب- تعیین یک دوران- برای توجیه جهت شمال دستگاه مختصات باید آزیموت یک امتداد را داشته باشیم.

پ- تعیین یک مقیاس- برای تعیین نسبت کوچک یا بزرگ شدن طول های شبکه باید یک طول افقی را داشته باشیم.

لازم به توضیح است به جای تعریف سه پارامتر فوق می توان با تعریف مختصات (x, y) مسطحاتی دونقطه از شبکه، تمام چهار نقص دیتوم مسطحاتی را یکجا را برطرف نمود.

با توجه به توضیحات فوق:

الف- اگر مختصات یک نقطه ثابت باشد، دو دیفکت انتقال (x, y) حذف می شوند.

ب- اگر حداقل یک آزیموت با دقت بالا مشاهده شده باشد، دیفکت دوران حذف می شود.

پ- اگر حداقل یک طول با دقت بالا مشاهده شده باشد، دیفکت مقیاس حذف می شود.

دیفکت دیتوم در شبکه های سه بعدی $(0 \le def_d \le 7)$- باید ۷ پارامتر را مشخص کنیم: سه انتقال درجهات x, y, z، سه دوران حول محورهای x, y, z، و یک مقیاس.

دیفکت شکل- هرگاه به دلیل انجام نشدن برخی از مشاهدات نتوان تعدادی از مجهولات را به دست آورد، شبکه دچار دیفکت شکل شده که می تواند همانند دیفکت دیتوم باعث کاهش مرتبهٔ ماتریس های A و N شود. برای رفع این مشکل یا باید مشاهدات لازم را انجام داد و یا مجهولات غیر قابل برآورد را از سرشکنی کنار گذاشت. از نظر محاسباتی برای به دست آوردن این نوع دیفکت، ابتدا به صورت فرضی نقص های دیتوم را با اضافه کردن پارامترهای دلخواه برطرف کرده، و سپس به بررسی وجود دیفکت شکل می پردازیم. تعداد پارامترهای دلخواه اضافه شده، همان تعداد دیفکت شکل است.

دیفکت مریض- هرشبکه ای که دارای ساختار هندسی ضعیف باشد، ممکن است دچار دیفکت مریض شود. به طورمثال اگر یکی از زوایای مثلث بسیارکوچک (مثلا۱۰درجه) و زاویه ای دیگر بسیار بزرگ (مثلا ۱۶۰درجه) باشد، این مشکل را خواهیم داشت. این دیفکت مرتبه ماتریس A را کاهش نمی دهد، لیکن به دلیل هندسهٔ ضعیف شبکه، دترمینان ماتریس N را نزدیک به صفرخواهدکرد، به عبارتی ماتریس دقت

مجهولات یعنی $\Sigma_{\hat{X}}$ بزرگ می شود. ضمنا دیفکت مریض تاثیری بر روی درجه آزادی ندارد. برای تشخیص این نوع دیفکت دو معیار وجود دارد:

الف- استفاده از عدد شرط $(\mathrm{CN}, \text{Condition number})$- مطابق تعریف عدد شرط برابر است با نسبت مجذور بزرگترین نیم قطر اطول بیضی خطای نقاط شبکه، به مجذورکوچکترین نیم قطرکوچک بیضی خطای نقاط شبکه، که از ماتریس واریانس کواریانس مجهولات برآورد شده استخراج می شود:

$$\mathrm{CN} = \frac{a^2}{b^2} \quad , \quad 1 \le \mathrm{CN} < +\infty$$

هرچه نسبت فوق بزرگتر باشد بیضی خطا کشیده تر شده و شکل شبکه نامناسب تر خواهد شد و بالعکس. در حالت ایده ال $\mathrm{CN} = 1$ می باشد.

ب- استفاده از رقّت دقت- $(\mathrm{DOP}, \text{Dilution of precision})$- هرچقدر میزان DOP کمتر باشد، استحکام هندسی شکل شبکه بیشتر خواهد شد و بالعکس: $\mathrm{DOP} = \sqrt{\mathrm{trace}(A^T A)^{-1}}$

درجه آزای درشبکه- با درنظرگرفتن تاثیردیفکت، رابطه کلی درجه آزادی بدین صورت است:

$$df = n + (def_d + def_c + n_c) - u$$

n و u تعداد مشاهدات و تعداد مجهولات- def_d تعداد دیفکت دیتوم- def_c تعداد دیفکت شکل n_c تعداد معادلات کنسترینت اضافی که علاوه برکنسترینت های رفع دیفکت می توان نوشت. مثلا در برخی از مسائل ممکن است نقاطی از شبکه بر روی یک خط یا منحنی مانند دایره و بیضی واقع باشند. در چنین حالاتی برای هر نقطه از شبکه با این ویژگی می توان یک معادله کنسترینت اضافه نمود، چرا که مختصات نقطه مجهول در معادله آن خط یا منحنی صدق خواهد کرد.

برای حل مسائل مرتبط با دیفکت در شبکه های دو بعدی به ترتیب زیر عمل می کنیم:

مرحله۱- ابتدا تعداد مشاهدات انجام شده را تعیین می کنیم. مختصات نقاط بنچ مارک های معلوم (ثابت، فیکس) جزو مشاهدات محسوب نمی شوند.

مرحله۲- تعداد مجهولات لازم را نیز تعیین می کنیم که اغلب مختصات نقاط هستند. هر نقطه دو مؤلفه مجهول (x, y) مسطحاتی دارد. ضمنا اگر امتدادها نیز قرائت شده باشند، به ازای هر ایستگاه، قرائت یک صفر لمب را به تعداد مجهولات اضافه می کنیم.

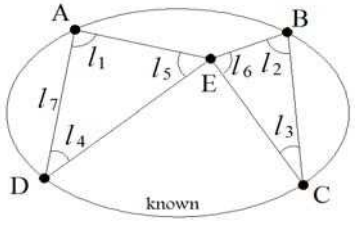
مرحله۳- تعداد دیفکت های احتمالی دیتوم را به دست می آوریم. شبکه ای دیفکت دیتوم ندارد که یا مختصات دو نقطه از آن معلوم است، و یا یک نقطه به همراه ژیزمان مرتبط با آن نقطه معلوم باشد.

مرحله۴- در ادامه تعداد دیفکت های احتمالی شکل را نیز محاسبه می کنیم. بدین منظور ابتدا به طور فرضی دیفکت دیتوم را حل می کنیم، یعنی به دلخواه دو نقطه از شبکه را ثابت فرض می کنیم تا دستگاه مختصات تعریف شود. حال اگر بتوانیم با این فرض و با روش های ریاضی مانند تقاطع یا مثلثات، مختصات سایر نقاط مجهول را به دست آوریم دیفکت شکل نداریم. در غیر این صورت به ازای هر مشاهده ای که کم داریم، یک دیفکت شکل اضافه می کنیم.

مرحله۵- در نهایت تعداد معادلات کنسترینت اضافی احتمالی که می توان نوشت را نیز تعیین می کنیم.

مثال۴۹- در شبکه های زیر در صورتی که مجهولات مختصات نقاط باشند، درجه آزادی کدام گزینه است؟

5)



$\begin{cases} 1)\,2 \\ 2)\,3 \\ 3)\,6 \\ 4)\,7 \end{cases}$

حل۵- گزینه ۳ صحیح است:

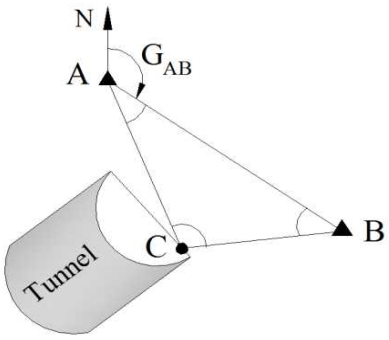
الف- چون طول قرائت شده دیفکت مقیاس نداریم، ولی دیفکت های انتقال و دوران را داریم.

ب- برای تعیین دیفکت شکل ابتدا فرض می کنیم مختصات A,D معلوم است، لذا مختصات نقطه E به روش تقاطع قابل محاسبه است، لیکن برای رسیدن به مختصات B به طولEB و زاویه E نیاز داریم، لذا دو دیفکت شکل وجود دارد. اگر این دیفکت حل شود مختصات C نیز بدون نیاز به مشاهده ای دیگر قابل محاسبه خواهد بود.

پ- چهار نقطه شبکه روی یک بیضی با معادله معین واقع هستند، لذا باید مختصات آنها درمعادله بیضی صدق کند، بنابراین چهار معادله کنسترینت نیز اضافه می شود:

$$df = n + (def_d + def_c + n_c) - u = 7 + (3+2+4) - (2\times 5) = 16 - 10 = 6$$

مثال۴۶- اجستمنت غیرخطی در شبکه- مطابق شکل زیر جهت تعیین مختصات نقطه C واقع در دهانه ورودی یک تونل، از مختصات نقاط ثابت A,B که در سیستم تصویر UTM هستند، پس از اعمال اسکیل فاکتور سیستم تصویر، استفاده شده و مشاهدات زمینی زیر انجام گرفته است:



$$\begin{cases} A^{fix}(x = 529648.389m, y = 3999034.057m) \\ B^{fix}(x = 529757.317m, y = 3998948.285m) \\ D_{AB}^{fix} = 138.644m \ , \ G_{AB}^{fix} = 142.463972^{gr} \\ A = 41.7455^{gr} \pm 6", D_{AC} = 98.053 \pm 0.003m \\ B = 49.3960^{gr} \pm 7", D_{BC} = 85.365 \pm 0.005m \\ C = 108.8599^{gr} \pm 10" \end{cases}$$

الف- مختصات نقطه C را به روش پارامتریک با دقت کمتر از $0.1mm$ به دست آورید.

ب- مختصات نقطه C را به روش شرطی به دست آورید.

پ- مختصات نقطه C را به روش ترکیبی به دست آورید.

ت- جواب ها را با هم مقایسه کنید.

🕮 انواع کنسترینت ها

انواع کنسترینت:
- تابعی:
  - تابعی عادی (Normal functional constraints)
  - اورکنسترینت (Over constraints)
  - مینیمم کنسترینت (Minimum constraints)
  - اینرکنسترینت (Free network adjustment, Inner constraints)
- وزندار (Weighted constraints)

🕮 کنسرینت های تابعی

کنسرینت تابعی عادی- درکنسترینت تابعی عادی یا نرمال، بین مجهولات یک یا چند رابطه ریاضی نوشته می شود. از آنجا که کنسترینت یک مدل شرطی بوده که در آن فقط مجهولات و ثوابت احتمالی مساله وجود دارند، مدل را به صورت همگن می نویسیم: $G(\hat{X}) = 0$

مدل اصلی نیز می تواند ترکیبی یا پارامتریک باشد که فرض می کنیم دچار دیفکت شکل و دیتوم نیست. با فرض این که مدل اصلی ترکیبی است تجمیع این دو مدل را به صورت زیر می نویسیم:

$$\begin{cases} F(\hat{L}_{n1}, \hat{X}_{u1}) = 0 \rightarrow & \text{مدل اصلی با } r \text{ معادله مستقل از هم} \\ G(\hat{X}_{u1}) = 0 \rightarrow & \text{مدل کنسترینت با } s \text{ معادله مستقل از هم} \end{cases}$$

طبق روال معمول ابتدا تابع اول را حول (L, X_o) خطی می کنیم: $A\Delta\hat{X} + B\hat{V} + W = 0$

مدل کنسترینت را نیز با فرض غیرخطی بودن آن حول نقطه X_o خطی می کنیم:

$$G(\hat{X})=0 \rightarrow \underbrace{G(X_o)}_{W_C}+\underbrace{\left.\frac{\partial G}{\partial \hat{X}}\right|_{\hat{X}=X_o}}_{C}\underbrace{(\hat{X}-X_o)}_{\Delta\hat{X}}+\ldots=0 \rightarrow C\Delta\hat{X}+W_C=0$$

در نتیجه به دستگاه زیر می رسیم:

$$\begin{cases} F(\hat{L},\hat{X})=0 \\ G(\hat{X})=0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} A\Delta\hat{X}+B\hat{V}+W=0 \\ C\Delta\hat{X}+W_C=0 \end{cases}$$

C ماتریس ساختار، ضرایب یا دیتوم کنسترینت است که ممکن است خطی یا غیرخطی باشد.

$W_C=G(X_o)$ بردار اختلاف بست کنسترینت به ازای مجهولات تقریبی می باشد.

معادله اول همچنان شامل r و معادله دوم شامل s معادله می باشد، لذا دستگاه تجمیع شدهٔ این دو تعداد $(r+s)$ معادله و $(r+s+n+u)$ مجهول خواهد داشت. این دستگاه فرو معین و دارای بی نهایت جواب است، زیرا تعداد معادلات کمتر از تعداد مجهولات آن می باشد. برای حل این دستگاه نیزهمانند روال قبل با اعمال شرط مینیمم شدن نرم بردار L_2 به یک جواب بهینه می رسیم:

$$\text{norm } L_2 : \left\|\hat{V}\right\|_{L_2}^2=\hat{V}^T P\hat{V} \Rightarrow \min$$

برای مینیمم کردن $\hat{V}^T P\hat{V}$ نیز از تابع لاگرانژ استفاده می کنیم. با این تفاوت که چون دو دسته معادله داریم، تابع لاگرانژِ تعمیم یافته شامل دو دسته بردار ضریب لاگرانژ K_C, K را به فرم زیر می نویسیم:

$$\phi=\hat{V}^T P\hat{V}+2K^T(A\Delta\hat{X}+B\hat{V}+W-0)+2K_C^T(C\Delta\hat{X}+W_C-0)=0$$

برای تعیین اکسترمم تابع فوق باید دستگاه معادلات پایه زیر را به طور همزمان حل کنیم:

$$\begin{cases} 1)\ \dfrac{\partial\phi}{\partial\hat{V}}=0 \\ 2)\ \dfrac{\partial\phi}{\partial\hat{X}}=0 \\ 3)\ \dfrac{\partial\phi}{\partial K}=0 \\ 4)\ \dfrac{\partial\phi}{\partial K_C}=0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2\hat{V}^T P+2K^T B=0 \\ 2K^T A+2K_C^T C=0 \\ 2(A\Delta\hat{X}+B\hat{V}+W)^T=0 \\ 2(C\Delta\hat{X}+W_C)^T=0 \end{cases} \xrightarrow{\text{trans}} \begin{cases} \text{معادله} & \underset{n1}{\hat{V}}=-\underset{nn}{P^{-1}}\underset{nr}{B^T}\underset{r1}{K} & \rightarrow n \\ \text{معادله} & \underset{ur}{A^T}\underset{r1}{K}+\underset{us}{C^T}\underset{s1}{K_C}=0 & \rightarrow u \\ \text{معادله} & \underset{ru}{A}\underset{u1}{\Delta\hat{X}}+\underset{rn}{B}\underset{n1}{\hat{V}}+\underset{r1}{W}=0 & \rightarrow r \\ \text{معادله} & \underset{su}{C}\underset{u1}{\Delta\hat{X}}+\underset{s1}{W_C}=0 & \rightarrow s \end{cases}$$

همان طورکه دیده می شود دستگاه معادلات خطی فوق درمجموع $(n+u+r+s)$ معادله، و به همین تعداد مجهول دارد، لذا به یک دستگاه معین تبدیل شده که برای هر مجهول تنها یک جواب خواهد داشت.

چون شبکه دچار دیفکت نیست ماتریس ضرایب A کمبود مرتبه ستونی ندلشته و به عبارتی مرتبه کامل است. بنابراین ماتریس نرمال N نیز وارون پذیر بوده و دستگاه فوق با هر یک از روش های موجود قابل حل می باشد، لیکن اگر شبکه دچار دیفکت باشد N وارون پذیر نبوده و دستگاه را باید از پارتیشن بندی نوع

جمع بندی روابط کنسترینت تابعی عادی

$$\begin{cases} \text{rank}(A)=u\ ,\ N\ is\ Invertible\ ,\ s>def \\ W=F(L,X_o)\ ,\ W_C=G(X_o)\ ,\ N=A^T M^{-1}A\ ,\ U=A^T M^{-1}W \\ \begin{bmatrix}\Delta\hat{X}_{FC}\\ K_C\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}N & C^T\\ C & 0\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}-U\\ -W_C\end{bmatrix}\ \ or\ \ \Delta\hat{X}_{FC}=-N^{-1}(U+C^T K_C) \\ K_C=(CN^{-1}C^T)^{-1}(W_C-CN^{-1}U)\ \ ,\ \ \hat{X}_{FC}=X_o+\Delta\hat{X}_{FC} \\ \Sigma_{\hat{X}}=\sigma_0^2[N^{-1}-N^{-1}C^T(CN^{-1}C^T)^{-1}CN^{-1}]\ ,\ \hat{L}=L+\hat{V} \\ \hat{V}=-P^{-1}B^T M^{-1}(A\Delta\hat{X}_{FC}+W)\ \ ,\ \ df=r+s-u \\ \begin{cases}\text{Special case:} \\ \Delta\hat{X}_{FC}=(A^T PA)^{-1}(A^T P\Delta L-C^T K_C)\ ,\ \hat{V}=A\Delta\hat{X}_{FC}-\Delta L\end{cases} \end{cases}$$

مروری برجلد دوم

فصل ۷- ژئوماتیک دقیق

پری آنالیز شبکه

در هر دو روش طراحی برای این که بدانیم شبکه طراحی شده تا چه اندازه ای بهینه است، باید یک آنالیز اولیه یا آنالیز استحکام (Robustness analysis ,Strength analysis) را در قالب چهار مورد زیر انجام دهیم. بین معیارهای زیر استفاده از بیضی خطای مطلق، قابلیت های اطمینان، و قابلیت آشکار سازی رایج تر است. چنانچه پس از انجام پری آنالیز به نتایج مورد نظر برسیم طراحی به اتمام رسیده و نقاط را طبق نقشه احداث می کنیم. لیکن اگر به این نتیجه رسیدیم که شبکه طراحی شده خواسته های مورد نظر را تامین نمی کند باید با روش هایی چون افزایش تعداد و دقت مشاهدات شبکه را بهینه نماییم:

- معیارهای بهینگی طراحی شبکه (Network design criteria)
  - دقت شبکه
    - معیارهای موضعی
      - بیضی خطای مطلق
      - بیضی خطای نسبی
      - منحنی پدال
      - ماتریس محک
    - معیارهای کلی (توابع اسکالر)
      - بهینگی دامنه
      - بهینگی طیف
      - بهینگی مقدار ویژه
      - بهینگی نرم
      - بهینگی دترمینان
  - قابلیت اطمینان یا اعتماد شبکه
    - قابلیت اطمینان داخلی
    - قابلیت اطمینان خارجی
  - قابلیت آشکارسازی یا حساسیت شبکه
  - هزینه و زمان

آنالیز جابه جایی شبکه

بعد از محاسبات اجستمنت و تست، نوبت به آنالیز تغییر شکل (Deformation analysis) می رسد تا میزان جابه جایی احتمالی نقاط تعیین شود. بدین منظور باید حداقل دو سری قرائت داشته باشیم:

الف- اپک اول (سری اول، Epoch 1 - که به عنوان قرائت مبنا انتخاب می شود، و باید اجستمنت و تست نیز شده باشد.

ب- اپک دوم (سری دوم، Epoch 2 - که به عنوان قرائت مقایسه ای انتخاب می شود، و باید اجستمنت و تست نیز شده باشد.

در نهایت با مقایسه سری دوم با سری اول، و لحاظ یک سری تحلیلات آماری که در ادامه بیان می شود، میزان جابه جایی نقاط شبکه های اصلی و تارگت به دست خواهد آمد.

انواع شبکه ها از نظر جابه جایی

شبکه جابه جایی مطلق- درشبکه های مطلق فرض می شود همه یا تعدادی از نـقاط شبکه اصلی در فاصله زمانی بین دو اپک ثابت مانده و یا حرکات قابل اغماضی دارند. لذا می توان با اتکا به آنهاجابه

جایی (Displacement) نقاط تارگت را محاسبه نمود. البته چون ممکن است نقاط شبکه اصلی به دلایل مختلف جابه جا شده باشند، ابتدا باید نقاط پایدار و ناپایدار این شبکه را مشخص نمود.

شبکه جابه جایی نسبی- در این نـوع جابه جایی نسبی بین نقاط تارگت یا شبکه (Deformation) بررسی می شود، لذا نیازی به وجود نقاط پایدار نخواهد بود.

آنالیز جابه جایی مطلق شبکه

هدف از آنالیز جابه جایی مطلق، پیدا کردن نقاط احتمالی جابه جا شده یا ناپایدار نسبت به نقاط پایدار در شبکه است. بدین منظور بررسی های زیادی توسط محققین انجام گرفته که منجربه ارائه روش های مختلف شده است. بین این شیوه ها دو روش تست ثبات کلی و مینیمم نرم اول رایج تر است. در پروسه تعیین جابه جایی مطلق ابتدا نقاط پایدار در شبکه اصلی شناسایی شده، و سپس بر اساس آن میزان جابه جایی نقاط تارگت روی سازه تعیین می شود.

- روش های آنالیز جابه جایی مطلق
  - تست ثبات (Congruency test)
  - انتقال متشابه وزنی تکراری (IWST)
    - مینیمم کردن نرم اول بردار جابه‌جایی (LAS – L1)
    - مینیمم کردن نرم دوم بردار جابه‌جایی (LAS – L2)
  - آنالیز زیر شبکه
    - آنالیز زیر شبکه با روش تست ثبات کلی
    - آنالیز زیر شبکه با روش مینیمم کردن نرم اول
  - سایر روش ها

روش تست ثبات- این روش قدیمی ترین و رایج ترین شیوه است که توسط هانس پلزر آلمانی ارائه شد. در این شیوه مراحل مفصل زیر طی می شود:

مرحله۱- سرشکنی دو اپک- فرض کنید برای شبکه اصلی دو سری مشاهدات در اپک اول و اپک دوم داریم که با روش اینرکنسترینت، اجستمنت و تست شده اند:

$$\begin{cases} \text{Epoch 1}: \; L_1 \,,\, df_1 \,,\, \hat{\sigma}_{0_1}^2 \,,\, \hat{X}_1 = (A_1^T P A_1)^+ (A_1^T P \Delta L_1) \,,\, \Sigma_{\hat{X}_1} = (A_1^T P A_1)^+ \\ \text{Epoch 2}: \; L_2 \,,\, df_2 \,,\, \hat{\sigma}_{0_2}^2 \,,\, \hat{X}_2 = (A_2^T P A_2)^+ (A_2^T P \Delta L_2) \,,\, \Sigma_{\hat{X}_2} = (A_2^T P A_2)^+ \end{cases}$$

مرحله۲- تعیین اولیه میزان جابه جایی نقاط- درگام دوم بردار جابه جایی اولیه، d، را برای هر دو اپک به دست می آوریم. البته چون هنوز نمی دانیم کدام یک از جابه جایی های نقاط واقـعی هستند، لذا جابه جایی را مجازی فرض می کنیم:

$$d = \hat{X}_2 - \hat{X}_1 = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{x_1} \\ d_{y_1} \\ \vdots \\ d_{x_n} \\ d_{y_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1^{(2)} - \hat{x}_1^{(1)} \\ \hat{y}_1^{(2)} - \hat{y}_1^{(1)} \\ \vdots \\ \hat{x}_n^{(2)} - \hat{x}_n^{(1)} \\ \hat{y}_n^{(2)} - \hat{y}_n^{(1)} \end{bmatrix}_{2n\times 1}$$

$\hat{x}_1^{(2)} - \hat{x}_1^{(1)}$ تفاضل $\hat{x}$ نقطه1 در دو اپک سرشکن شده را نشان می دهد.

ماتریس دقت یا واریانس کواریانس جابه جایی ها را نیز از روابط زیر به دست می آوریم:

$$\Sigma_d = \Sigma_{\hat{X}_1} + \Sigma_{\hat{X}_2} \quad or \quad Q_d = Q_{\hat{X}_1} + Q_{\hat{X}_2}$$

یا برحسب ماتریس وزن P_d که هر یک از عناصر روی قطر اصلی خود یک ماتریس 2×2 هستند:

$$P_d = Q_d^+ = \sigma_0^2 \Sigma_d^+ = \begin{bmatrix} P_{d_1 d_1} & P_{d_1 d_2} & \cdots & P_{d_1 d_n} \\ P_{d_2 d_1} & P_{d_2 d_2} & \cdots & P_{d_2 d_n} \\ \cdots & & & \\ P_{d_n d_1} & P_{d_n d_2} & \cdots & P_{d_n d_n} \end{bmatrix}_{2n\times 2n}$$

مرحله۳- بررسی وجود نقاط ناپایدار (تست ثبات کلی)- اکنون توسط تست ثبات کلی جابه جایی نقاط را در شبکه اصلی بررسی می کنیم. فرض صفر این است که جابه جایی رخ نداده، و فرض مخالف این است که جابه جایی رخ داده است:

$$\begin{cases} H_0 = E(d) = 0 \\ H_1 = E(d) \neq 0 \end{cases}$$

در ادامه آماره تست ثبات کلی را از رابطه زیر به دست می آوریم که ازتابع توزیع فیشر تبعیت می کند:

$$\omega = \frac{\Omega}{\hat{\sigma}_0^2 h} = \frac{d^T P_d d}{\hat{\sigma}_0^2 h} \approx F_{h,df,\alpha} \qquad (1)$$

$\alpha = 0.05$ مقدار ریسک رایج

n تعداد نقاط شبکه

$u = 2n$ تعداد مجهولات که همان تعداد مختصات (x, y) نقاط است.

$\Omega = d^T P_d d = d^T \Sigma_d^+ d = d^T Q_d^+ d$ حاصل ضرب مربعی یا کوادراتیک بردار d

$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{\sigma}_{01}^2 df_1 + \hat{\sigma}_{02}^2 df_2}{df_1 + df_2}$ واریانس فاکتورثانویه کلی یا مشترک که با ω رابطه معکوس دارد.

$df = df_1 + df_2$ درجه آزادی کل و df_1 , df_2 درجه آزادی اپک های اول و دوم هستند.

$h = \text{rank}(\Sigma_d) = u - def_d$ مرتبه یا رنک ماتریس Σ_d است. درشبکه دو بعدی $h = 2n - 4$ و در شبکه سه بعدی $h = 2n - 7$ است. def_d نیز تعداد دیفکت دیتوم می باشد.

در ادامه پس از تشکیل آماره ω، مقدار F را از جدول تابع فیشر استخراج می کنیم:

الف- اگر $\omega < F$ باشد، فرض صفر پذیرفته شده و نشان می دهد نقطه ای نقاط جابه جا نشده است. در این حالت می توانیم مستقیما به مرحله ۵ (روش دوم) رفته و مقدار نهایی جابه جایی ها را تعیین کنیم.

ب- اگر $\omega \geq F$ باشد، فرض صفر رد شده و نشان می دهدکه حداقل یک نقطه درفاصله بین قرائت های بین دو اپک واقعا به شکل محسوس جابه جا شده است.

مرحله۴- کشف نقاط پایدار و ناپایدار (تست ثبات جزیی)- اگر تست مردود شد باید بدانیم کدام یک از نقاط درشبکه اصلی جابه جا شده اند. بدین منظور ابتدا مقدار عددی سهم تک تک نقاط شبکه اصلی در جابه جایی را از رابطه زیر به دست می آوریم:

$$\Omega_e = d_e'^T P_e d_e' \quad , \quad e = 1, 2, \ldots, n \qquad (2)$$

عناصر رابطه فوق به طریق زیر تعیین می شوند:

d_e' برابر است با: $d_e' = \begin{bmatrix} d_{x_e}' \\ d_{y_e}' \end{bmatrix}_{2\times 1} = d_e + P_e^{-1} P_{er} d_r$

d_e بردار جابه جایی نقطه e می باشد: $d_e = \begin{bmatrix} d_{x_e} \\ d_{y_e} \end{bmatrix}_{2\times 1}$

d_r نیز همان بردار d است که عناصر بردار d_e فوق از آن حذف شده اند:

$$d_r = \begin{bmatrix} d_{x_1} & d_{y_1} & \ldots & d_{x_{e-1}} & d_{y_{e-1}} & d_{x_{e+1}} & d_{y_{e+1}} & \ldots & d_{x_n} & d_{y_n} \end{bmatrix}^T_{(2n-2)\times 1}$$

(در حالت سه بعدی درایه d_{z_e} نیز به بردارهای فوق اضافه می شود).

P_e , P_{er} زیرماتریس هایی هستندکه ازماتریس P_d استخراج می شوند. اندیس e (Eliminate) نشان دهنده نقطه ای است که فعلا به عنوان نقطه مشکوک به جابه جایی شناخته شده و پتانسیل حذف شدن از سیستم مختصات را دارد. اندیس r (Retain) نیز بیانگر سایر نقاطی اند که فعلا ثابت مانده و ممکن است بعدا در سیستم مختصات باقی بمانند (مثال ۱۹ را ببینید).

لازم به توضیح است گاهی جهت استخراج ماتریس های P_e , P_{er} ، ابتدا ماتریس P_d را برحسب چهار زیر ماتریس P_r , P_e , P_{re} , P_{er} به صورت زیرتفکیک می کنند:

$$P_d = \begin{bmatrix} \overset{P_{r_1}}{\underset{P_{er_1}}{\boxed{\begin{matrix} P_{d_1 d_1} & P_{d_1 d_2} & \cdots \\ P_{d_e d_1} & P_{d_e d_2} & \cdots \\ \cdots & & \end{matrix}}}} & \overset{P_{r_1 e}}{\underset{P_e}{\boxed{\begin{matrix} P_{d_1 d_e} \\ P_{d_e d_e} \\ \cdots \end{matrix}}}} & \overset{P_{r_1 r_2}}{\underset{P_{er_2}}{\boxed{\begin{matrix} \cdots P_{d_1 d_n} \\ \cdots P_{d_e d_n} \\ \cdots \end{matrix}}}} \\ \underset{P_{r_2 r_1}}{\boxed{\begin{matrix} \cdots & & \\ P_{d_n d_1} & P_{d_n d_2} & \cdots \end{matrix}}} & \underset{P_{r_2 e}}{\boxed{\begin{matrix} \cdots \\ P_{d_n d_e} \end{matrix}}} & \underset{P_{r_2}}{\boxed{\begin{matrix} \cdots \\ \cdots P_{d_n d_n} \end{matrix}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{P_{r_1}} & \underline{\underline{P_{r_1 e}}} & \underline{P_{r_1 r_2}} \\ \underline{\underline{P_{er_1}}} & \underline{\underline{P_e}} & \underline{\underline{P_{er_2}}} \\ \underline{P_{r_2 r_1}} & \underline{\underline{P_{r_2 e}}} & \underline{P_{r_2}} \end{bmatrix}$$

میکروژئودزی سدها

درکشور ایران عمدهٔ پروژه های مانیتورینگ بر روی سدهای بتنی و خاکی بزرگ صورت می گیرد. از آنجا که سدها دارای سازه های وابسته نیز می باشند بهتر است مانیتورینگ برای آنها نیز انجام شود.

طراحی شبکه- معمولا ابتدا شبکه اصلی پیلارها در اطراف بدنه سد و بعد شبکه تارگت یا فرعی روی بدنه به یکی از دو روش تحلیلی یا سعی و خطا طراحی می شود. به عنوان مثال در روش سعی و خطا مراحل زیر را پی می گیریم:

مرحله۱- تعیین میزان آشکارسازی لازم- ابتدا معیار دقت خواسته شده پروژه را تعیین می کنیم. به طور مثال مطابق جدول A آیین نامه، حداکثر نیم قطر بزرگ بیضی خطای بردار جابه جایی نقاط در فاصله اطمینان ۹۵٪ برای شبکه مسطحاتی $2.5mm$ و ارتفاعی $2mm$ در نظرگرفته می شود.

مرحله۲- انتخاب شبکه اولیه- توسط بازدید از پروژه و با کمک فایل نقشه ها، محل و مختصات نقاطی که قرار است احداث شوند را تعیین می کنیم، تا یک نقشه از تعداد و محل تقریبی نقاط داشته باشیم.

مرحله۳- انتخاب شبکه نهایی- برای انتخاب یک شبکه بهینه ابتدا بر اساس دقت دوربین هایی که امکان تهیه آنها را داریم ماتریس وزن را تعریف می کنیم. حال بر اساس مختصات تقریبی نقاط، ماتریس دقت مختصات نقاط شبکه اصلی را حساب می کنیم. اگر بخواهیم برای سرشکنی بعد از انجام مشاهدات از روش اینرکنسترینت استفاده کنیم رابطه زیر را به کار می بریم: $\Sigma_{\hat{X}} = \sigma_0^2 N^+$

حال مختصات تقریبی تمام نقاط اصلی شبکه را ثابت فرض کرده، و به روش اورکنسترینت (یا کنسترینت وزندار) ماتریس دقت نقاط تارگت روی سازه را نیز حساب می کنیم: $\Sigma_{\hat{X}} = \sigma_0^2 B_{11}$

مرحله۴-پری آنالیز شبکه مسطحاتی- اصول پری آنالیز در روش های تحلیلی و سعی وخطا کم و بیش مشابه هم می باشد. در اینجا برای تمام مشاهدات آتی قابلیت های اطمینان داخلی و خارجی را یک بار برای شبکه اصلی، و یک بار برای شبکه تارگت حساب می کنیم:

الف- محاسبه ابعاد بیضی خطای نقاط شبکه- ابتدا برای هر دو حالت فوق ابعاد بیضی خطای مطلق نقاط شبکه های اصلی و تارگت را در سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه می کنیم. در اینجا باید نیم قطر اطول بیضی خطای تک تک نقاط از $a_{\max,95\%} = 2.5mm$ کوچکتر باشد، درغیر این صورت تا حد امکان با افزایش تعداد نقاط شبکه، تغییر شکل شبکه و یا افزایش دقت مشاهدات، روند فوق را تکرار می کنیم. در اینجا نیز باید به قابل حصول بودن عملی دقت ها توجه داشت، لذا توصیه می شود درطراحی از دقت اجرایی دوربین استفاده شود.

ب- محاسبه قابلیت اطمینان داخلی شبکه- بزرگترین خطای سیستماتیک غیر قابل کشف را از رابطه زیر به دست می آوریم. هرچقدر عدد ∇l_i کوچکتر باشد اعتماد پذیری داخلی و استحکام شبکه بهتر است:

$$\nabla l_i = \frac{\lambda_0 \sigma_{l_i}}{\sqrt{r_i}}$$

پ- محاسبه قابلیت اطمینان خارجی شبکه- در اینجا نیز هرچه عدد $\lambda_{0,i}$ کمتر باشد، قابلیت اطمینان خارجی بهتر خواهد بود:

$$\lambda_{0,i} = \frac{\lambda_0 (1 - r_i)}{r_i}$$

ت- محاسبه قابلیت آشکارسازی شبکه- میزان حساسیت شبکه را برای ضعیف ترین نقطه شبکه که دارای بزرگترین بیضی خطا می باشد از رابطه زیر به دست می آوریم:

$$M_{d_{\max}} \geq \sqrt{2}\, a_{\max} \rightarrow 2.5mm \geq \sqrt{2}\, a_{\max}$$

مرحله۵- پری آنالیز شبکه ارتفاعی- به طورکلی طراحی شبکه ارتفاعی ساده تر است. بدین طریق که از یک یا چند نقطه رفرنس با ارتفاع ثابت استفاده کرده و مسیرهای رفت و برگشت را انتخاب می کنیم. این مسیر از نقطه رفرنس شروع شده در ادامه به نقاط تارگت روی سازه می رسد و از آنجا دوباره به نقطه رفرنس قبلی باز می گردد. مسیر انتخاب شده باید تا حد امکان کم شیب و کوتاه بوده و امکان تردد در آن فراهم باشد:

الف- محاسبه خطای تعیین ارتفاع نقاط شبکه ارتفاعی- برای محاسبه $\Sigma_{\hat{X}}$ با ثابت فرض کردن یکی از نقاط ارتفاعی معلوم، از روش مینیمم کنسترینت استفاده می کنیم. باید توجه داشت چون شبکه ارتفاعی یک بعدی است نمی توان برای آن بیضی خطا تعریف کرد، لذا به جای آن مقدار خطای تعیین ارتفاعی را از ماتریس $\Sigma_{\hat{X}}$ استخراج می کنیم. این خطا نباید از میزان خواسته شده بیشتر باشد.

ب- محاسبه قابلیت اطمینان- قابلیت اطمینان داخلی را برای شبکه ارتفاعی به دست می آوریم.

پ- محاسبه قابلیت آشکارسازی- آشکارسازی را برای ضعیف ترین پیلار ارتفاعی نیز حساب می کنیم:

$$M_{z_{\max}} \geq \sqrt{2}\, \Delta M_{z_{\max}} \rightarrow 2mm \geq \sqrt{2}\, \Delta M_{z_{\max}}$$

در نهایت چنانچه قابلیت های اطمینان داخلی، خارجی و آشکارسازی برای شبکه های مسطحاتی و ارتفاعی قابل قبول باشد طراحی شبکه پذیرفته می شود، درغیر این صورت باید با افزایش تعداد نقاط شبکه اصلی، تعداد مشاهدات، و یا دقت عملی دوربین، با سعی و خطا به شبکه مطلوب برسیم.

🕮 نمونه پروژه اجرا شده

- جهت آشنایی بیشتر، به عنوان نمونه شبکه میکروژئودزی در پروژه سد و نیروگاه رودبار لرستان را که به روش سعی و خطا طراحی شده مرور می کنیم:

الف- بدنه سد از نوع سنگریزه ای با هسته مایل رسی (ECRD)

ب- طول تاج ۱۸۵ متر، عرض تاج ۱۵ متر، و ارتفاع از پی ۱۵۵ متر

پ- حجم خاکریزی بدنه حدود ۴/۵ میلیون متر مکعب

ت- نیروگاه برق آبی- دارای دو توربین با ظرفیت تولید کل ۴۵۰ مگاوات

۱-۶-۴-۷) شبکه های طراحی شده- به طور کلی سدهای برق آبی دارای سه قسمت اصلی بدنه سد، آبراهه و نیروگاه هستند که هریک نیز دارای سازه های جانبی نظیر تونل و گالری می باشند. پروسه تولید برق بدین صورت است که آب جمع شده در مخزن پشت سد از طریق آبراهه (Penstock) به صورت لوله یا تونل به نیروگاه می رسد. سپس این آب تحت فشار زیاد پرّه های ژنراتور توربین را به چرخش در آورده و باعث تولید برق می شود.

فصل۸- ژئودزی کلاسیک

روابط ریاضی سیستم تصویرمرکاتور معکوس(TM)

روابطی که در این بخش محاسبه خواهند شد به ترتیب زیر هستند که در واقع پایه و اساس روابط UTM را تشکیل می دهند:

محاسبه مختصات دکارتی سیستم تصویر (x,y) برحسب مختصات ژئودتیک (φ,λ)
محاسبه مختصات ژئودتیک (φ,λ) برحسب مختصات دکارتی سیستم تصویر (x,y)
محاسبه زاویه تقارب نصف النهارات (γ)
محاسبه ضریب مقیاس نقطه ای (k)
محاسبه ضریب مقیاس خطی یا طولی (k_L)
محاسبه تصحیح انحنا به وتر (CG)

محاسبه مختصات دکارتی برحسب مختصات ژئودتیک- چنانچه مختصات ژئودتیک نقطه ای دلخواه بر روی بیضوی (φ,λ)و مختصات دکارتی تصویر همان نقطه در $(x,y)_{TM}$ باشد. تبدیل بین این دومختصات به صورت دو فرآیند مستقیم و معکوس به طورجداگانه انجام می گیرد. می دانیم برای تبدیل بین این دو مختصات نیاز به توابع مختلط داریم به نحوی که تابعی مانند f بتواند مختصات نقطه مورد نظر را از روی بیضوی به روی سیستم تصویر منتقل نماید. همین طور در روندی معکوس تابع g بتواند مختصات نقطه را از سیستم تصویر به روی بیضوی بازگرداند:

الف- محاسبه (x,y) با داشتن (φ,λ): $(x+iy)=f(\varphi+i\lambda)$

ب- محاسبه (φ,λ) با داشتن (x,y): $(\varphi+i\lambda)=g(x+iy)$

برای محاسبه مختصات دکارتی TM توسط مختصات ژئودتیک بیضوی مراحل مفصل زیر را پی می گیریم:

$$(\varphi,\lambda)_{\text{Ellipsoid}} \xrightarrow{?} (x,y)_{TM}$$

مرحله۱- داشتیم: $(x+iy)=f(\varphi+i\lambda)$

با کمک صفحهٔ واسط ایزومتریک: $(x+iy)=f(\varphi+i\lambda)=f(\lambda+iq)$

طبق خواص توابع مختلط دو طرف حقیقی و موهومی معادله فوق با هم برابرند:

$$\begin{cases} x=\lambda \\ iy=f(iq)=i\,f(q) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} x=\lambda \\ y=f(q) \end{cases}$$

در نصف النهار مرکزی مورد نظر در سیستم تصویر $x=0$ است:

$$\begin{cases} x=0 \\ y=f(q) \end{cases} \qquad (1)$$

مرحله۲- از طرفی در TM ضریب مقیاس بر روی امتداد نصف النهار مرکزی یعنی محل مماس استوانه با زمین برابر با یک می باشد، لذا مقدار y هر نقطه در سیستم تصویر برابر با طول کمان نصف النهاری از استوا تا محل آن نقطه خواهد بود:

$$y=S_\varphi=S(\varphi)=\int_0^\varphi M d\varphi$$

در مبحث ایزومتریک داشتیم $Md\varphi=N\cos\varphi\,dq$، لذا:

$$y=S_q=\int_0^\varphi N\cos\varphi\,dq \xrightarrow{(1)} y=f(q)=\int_0^\varphi N\cos\varphi\,dq$$

مرحله۳- از رابطه فوق می توان y نقاط واقع بر روی نصف النهار مرکزی را محاسبه نمود. لیکن محاسبات برای نقاط خارج از آن به راحتی فوق نمی باشد، زیرا بایستی مختصات را برای نقاط تا محدودهٔ حدود سه درجه دورتر از نصف النهار مرکزی نیز محاسبه کنیم که در آنجا نه $x=0$ است و نه y برابر با طول نصف النهار نظیر آن می باشد. ازطرفی چون تکنیک محاسباتی استفاده از بسط تیلور بوده و این بسط تنها برای

ضریب مقیاس نقطه ای برحسب مختصات دکارتی (رابطه ردفارن- توماس)

این رابطه ابتدا توسط J.C.B Redfearn (1948) و سپس Paul D.Thomas (1952) محاسبه شد:

$$k = 1 + \frac{x^2}{2N^2}(1+\eta^2) + \frac{x^4}{24N^4}(1+6\eta^2+9\eta^4+4\eta^6-24t^2\eta^4-24t^2\eta^6) + \frac{x^6}{720N^6}$$

مرحله۱- داشتیم:

$$(2): k = \frac{1}{N\cos\varphi}\frac{\partial x}{\partial \lambda}\sqrt{1+\tan^2\gamma} \rightarrow \frac{1}{k} = N\cos\varphi\frac{\partial \lambda}{\partial x}\sqrt{1+\tan^2\gamma} \qquad (5)$$

در ادامه عبارات فوق را محاسبه و جایگذاری می کنیم.

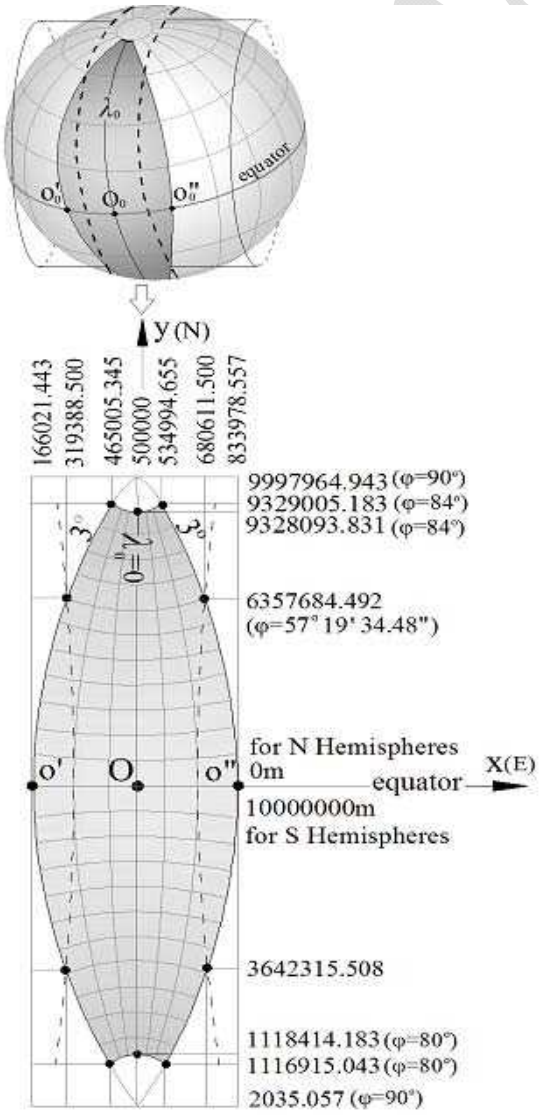
مرحله۲- ابتدا مشتق λ یعنی $\partial\lambda/\partial x$ حول عرض ژئودتیک نقطه مبنا (φ_1) محاسبه می کنیم. U,V,W ضرایب عبارات داخل پرانتز هستند:

$$\frac{d\lambda}{dx} = \frac{1}{N_1\cos\varphi_1}[1-\frac{1}{2}U(\frac{x}{N_1})^2+\frac{1}{24}V(\frac{x}{N_1})^4-\frac{1}{720}W(\frac{x}{N_1})^6] \qquad (6)$$

مرحله۳- بسط تیلور عبارت $f(\varphi) = N\cos\varphi$ را حول نقطه φ_1 می نویسیم:

$$f(\varphi) = N\cos\varphi = f[\varphi_1 + (\varphi-\varphi_1)] =$$

$$f(\varphi_1) + \frac{(\varphi-\varphi_1)}{1!}f'(\varphi_1) + \frac{(\varphi-\varphi_1)^2}{2!}f''(\varphi_1) + \frac{(\varphi-\varphi_1)^3}{3!}f'''(\varphi_1) + \ldots \qquad (7)$$



فصل۹- ژئوماتیک زیرزمینی

روش های انجام حفاری

روش های حفاری ایستگاه های مترو

روش حفر و پوش (ترانشه باز، Cut & Cover)
روش پوش و حفر (ترانشه بسته، بالا به پایین، Cover & Cut, Top Down)
روش اتریشی پیشرفته (مرحله ای، NATM, New Austrian Tunneling Method)
روش های مکانیزه : استفاده از رُدهدر، تی بی ام، تی بی ام چند مقطعی
روش چتری (پیش لوله گذاری، Forepooling)
روش ریب و شمع (تاق بتنی، روسی، Concrete Arc, Rib, Caps)

انواع ایستگاه های مترو:
- کم عمق : عمق ریل تا سطح زمین کمتر از ۱۳ متر
- نیمه عمیق : عمق ریل تا سطح زمین ۲۰ - ۱۳ متر
- عمیق : عمق ریل تا سطح زمین بیشتر از ۲۰ متر

روش حفر و پوش(ترانشه باز)- در این شیوه ابتدا تونل ایستگاه تا عمق نهایی به طور کامل حفاری شده و سپس سازه تونل احداث می شود. این روش را می توان به دو مرحلهٔ کلی ساخت تونل به صورت گودال حفاری و مهاربندی شده (Cut)، و خاکریزی نهایی (Cover) خلاصه نمود. از این شیوه در احداث خطوط فاضلاب، تونل وسایل نقلیه و ایستگاه های متروی کم عمق استفاده می شود.

از خصوصیات این روش:

الف- نسبت به سایر شیوه ها ساده تر و ارزان تر بوده و در ایران زیاد رواج دارد.

ب- احتمال تداخل با تاسیسات زیر زمینی شهری مانند کابل، کانال و لوله زیاد است.

پ- در محل هایی قابل اجرا می باشد که بتوان ترافیک محل پروژه را متوقف کرد یا منحرف نمود.

ت- پایدارسازی گود حفاری شده ممکن است هزینه زیادی داشته باشد.

ث- اجرای آن در محیط های شهری غیر اقتصادی و دشوار است.

ج- بارندگی بر روی راندمان کار تاثیر منفی می گذارد.

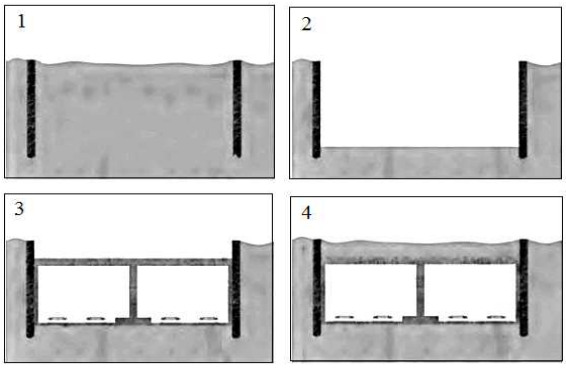
مراحل کار به ترتیب زیر است:

مرحله۱- ابتدا شمع های کناری نگهبان در دو طرف راست و چپ تونل به عنوان دیوار حائل اجرا می شود. عمق این شمع ها تا تراز کف تونل ادامه می یابد. منظور از سازه شمع، یک شفت حفاری شده در زمین است که درون آن شبکه آرماتور (قفسه، Cage) کارگذاشته شده و بعد با بتن پر می شود.

مرحله۲- حال ترانشه را با یکی از انواع سازه نگهبان مانند تیرفشاری افقی نگهدارنده یا استرات (Strut) پایدار می کنند.

مرحله۳- سازه تونل شامل دیوار و دال های سقف را از پایین به بالا احداث می کنند.

مرحله۴- در نهایت روسازی روی دال را تا رسیدن به تراز کف خیابان انجام می دهند.



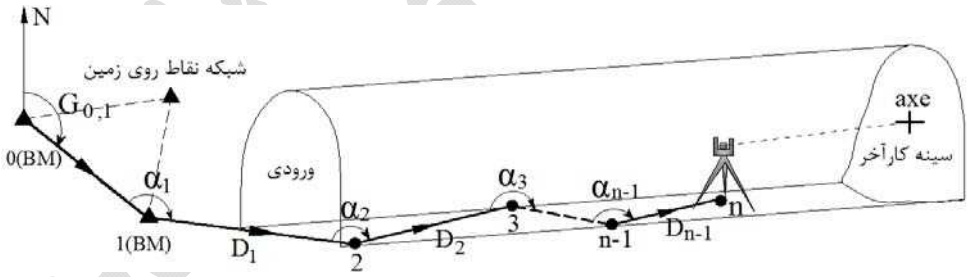
پری آنالیز تونل ها

مراحل کارهای ژئوماتیک در پروژه های تونل سازی به روش انفجار(فاز۲,۳)	
پری آنالیز	تعیین دقت نقاط رفرنس+ دقت مشاهدات + نوع دوربین
تهیه نقشه توپوگرافی	احداث نقاط رفرنس بر روی زمین + برداشت توپوگرافی دقیق+ ترسیم نقشه
انتقال نقاط رفرنس به زیر زمین	انجام پیمایش زیرزمینی قابل کنترل (با حفرشفت، رفت و برگشت و غیره)
پیاده کردن سینه کارقبل ازحفاری	پیاده کردن خط کنتور
کنترل حفاری انجام شده	برداشت مقاطع عرضی برای : تعیین محل اضافه و میزان کسری حفاری + کنترل مختصاتی محور سینه کار
پیاده کردن ابنیه های زیر زمینی	جانمایی آرماتور و قالب بندی لاینینگ + سازه های جانبی داخل تونل
محاسبه احجام حفاری شده	احجام داخل طرح + خارج طرح + کسری حفاری+ بتن پرکننده + شاتکریت

پری آنالیز پیمایش داخل تونل

در فصول قبلی نحوه انجام پری آنالیز در شبکه های ساده و میکروژئودزی بیان شد. از آنجا که در داخل تونل گسترش نقاط رفرنس عموما با پیمایش انجام می شود، لذا پری آنالیز آن نیز به روش ساده صورت می گیرد. همان طورکه می دانیم در پری آنالیز که نوعی مهندسی معکوس به شمار می رود می خواهیم بدانیم قبل از شروع عملیات اجرایی پروژه و با دانستن دقت مجاز موقعیت نقطه مجهول، مشاهدات را با چه دقتی انجام دهیم تا در نهایت پس از اتمام پروژه به دقت مورد نظر برسیم. در این قسمت مساله را برحسب این که حفاری تونل از یک طرف یا دو طرف باشد تحلیل می کنیم:

پری آنالیز درحفاری های یکطرفه- درحفاری های یک طرفه عملیات اجرایی از یک جبهه شروع شده و تا انتهای حفر تونل ادامه می یابد. مطابق شکل زیر یک پیمایش آنتنی که از دو نقطهٔ رفرنس ثابت $0,1$ در دهانه ورودی تونل شروع شده، و تا نقطه n درحوالی آخرین سینه کار ادامه یافته را در نظر می گیریم. این نقطه در واقع بنچ مارکی است که دوربین با استقرار بر روی آن قصد دارد تا محور سینه کار آخر حفاری را پیاده نماید:



اگر محور آخرین سینه کار را با axe نشان دهیم، واریانس موقعیت مسطحاتی آن مجموع دو واریانس دیگر می باشد:

$$\sigma^2_{p_{axe}} = \sigma^2_{p_n} + \sigma^2_{p_{n,axe}}$$

σ_{p_n} خطای مختصات مسطحاتی نقطه n ام پیمایش است که دوربین بر روی آن سانتراژ شده است.

$\sigma_{p_{n,axe}}$ خطای مختصات مسطحاتی سینه کار است که صرفا ناشی از پیاده کردن با دوربین می باشد:

$$\sigma^2_{p_{n,axe}} = \sigma^2_{x_{n,axe}} + \sigma^2_{y_{n,axe}} = \sigma^2_{D_{n,axe}} + D^2_{n,axe}\sigma^2_{G_{n,axe}}$$

در ادامه جهت سهولت فرضیات زیر را درنظر می گیریم:

الف- برای کنترل پیمایش از روش هایی مانند پیمایش رفت و برگشت، ژیروسکوپ، و یا احداث شفت استفاده خواهد شد، لیکن اگر از ابتدا ندانیم کدام یک از روش های فوق را قرار است به کار ببریم، فرض می کنیم پیمایش به صورت آنتنی باز انجام گرفته و همه خطاهای اتفاقی در نقطهٔ آخر تجمیع شده اند.

ب- از آنجا که معمولا فاصله استقرار دوربین تا سینه کار زیاد نیست (مثلا حدود۲۰ متر است)، تاثیر آن را نادیده می گیریم:

$$If : \sigma^2_{p_{n,axe}} = 0 \rightarrow \sigma^2_{p_{axe}} \simeq \sigma^2_{p_n}$$

یعنی خطای نقطه آخرپیمایش را همان خطای نقطه آخرسینه حفاری فرض می کنیم، و یا این که طراحی پیمایش را طوری انجام می دهیم که نقطه n در نزدیکی نقطه axe قرارداشته باشد.

پ- زوایای پیمایش را تقریبا برابر ۱۸۰ درجه و طول ها را تقریبا با هم برابر فرض می کنیم.

ت- خطاهای زاویه ای را برابر با هم، و خطاهای طولی را نیز برابر با هم فرض می کنیم.

ث- خطاهای سیستماتیک را قابل اغماض درنظر می گیریم.

ج- نقاط رفرنس $0,1$ را که خود جزیی از شبکه نقاط رفرنس بیرون تونل هستند ثابت درنظرگرفته، و خطای آنها را صفر فرض می کنیم. (درحفاری دو طرفه بایدخطای نقاط رفرنس بیرون را لحاظ کنیم).

با این فرضیات خطای مجاز موقعیت نقطه آخر پیمایش از رابطه زیر حاصل می شود:

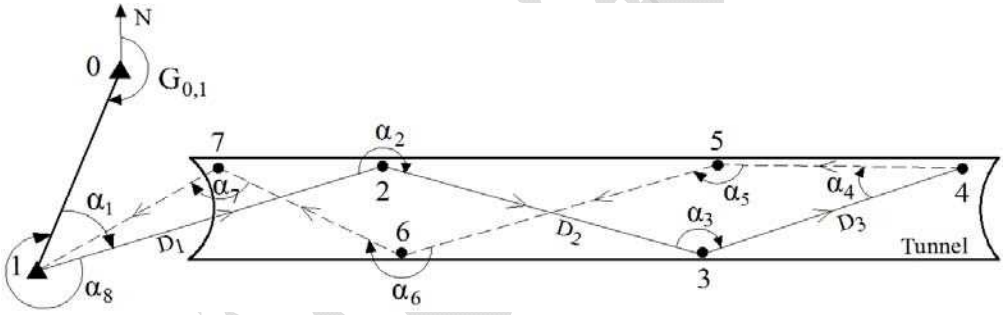
$$\sigma^2_{p_n} = \sum_{i=1}^{n-1} R^2_{i,n}\,\sigma^2_{\alpha_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \sigma^2_{D_i} \qquad (1)$$

در اینجا تعداد $n-1$ طول افقی و $n-1$ زاویه افقی قرائت خواهد شد. برای ساده کردن رابطه فوق اگر تعداد اضلاع پیمایش را کمتر از ۸ فرض کنیم به رابطه زیر می رسیم. (درپری آنالیز های دقیقتر باید از همان رابطه ۱ استفاده کنیم):

$$\sigma^2_{p_n} = \frac{1}{6} n(n-1)(2n-1)D^2\sigma^2_{\alpha} + (n-1)\sigma^2_{D}$$

اجستمنت پیمایش های زیرزمینی

مثال۲- مطابق شکل زیر در داخل یک تونل پیمایش رفت و برگشت انجام گرفته است. مختصات سرشکن شده نقاط پیمایش را به دو روش بودیچ وکمترین مربعات به دست آورید:



$$\begin{cases} 0(5000m,5000m) \\ 1(4943.364m,4933.631m) \\ D_{0,1} = 87.249531m \\ G_{0,1} = 244.973101^{gr} \\ \sigma_{\alpha} = 0.003^{gr} \\ \sigma_{D} = 0.003m \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = \angle 0,1,2 = 45.2329^{gr} \\ \alpha_2 = 219.0601 \\ \alpha_3 = 180.0588 \\ \alpha_4 = 11.3081 \\ \alpha_5 = 190.0539 \\ \alpha_6 = 225.2170 \\ \alpha_7 = 165.8161 \\ \alpha_8 = \angle 7,1,0 = 363.2492 \end{cases}$$

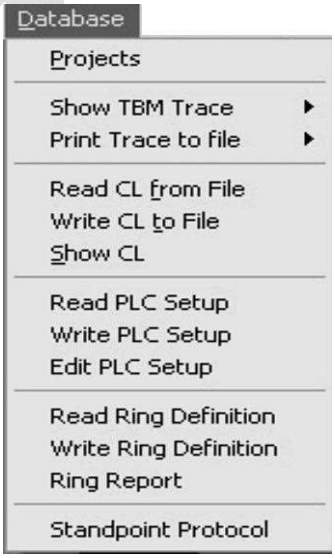
$$\begin{cases} D_1 = 155.684m \\ D_2 = 142.850 \\ D_3 = 117.675 \\ D_4 = 108.652 \\ D_5 = 142.120 \\ D_6 = 83.753 \\ D_7 = 84.246 \end{cases}$$

مراحل هدایت پیشروی TBM

به موازات پیشرفت تکنولوژی، سخت افزار و نرم افزارهایی ابداع شده که هر چه بهتر مسیر پیشروی ماشین تی بی ام را کنترل می کنند. به مجموعه سخت افزار و نرم افزار هدایت و کنترل مختصاتی مسیر دستگاه، سیستم ژئوماتیک هدایت تی بی ام می گوییم. بخش سخت افزاری شامل سیستم ارسال اطلاعات (کابل یا مودم وایرلس)، توتال استیشن رباتیک (موتورایزر)، منشورها (رباتیک وعادی)، ویدئو تارگت، و انحراف سنج های الکترونیکی می باشد. بخش نرم افزار نیز شامل نرم افزار پردازش و تعیین مختصات سه بعدی محور دستگاه، محاسبه انحرافات، مدیریت رینگ ها و تعیین ابعاد مقطع حفاری می باشد. روال کلی بدین صورت است که ابتدا دو نقطهٔ کنترلی ثابت در پشت تی بی ام بر روی دیواره یا سقف تونل نصب و مختصات دار می شوند. سپس یک توتال استیشن رباتیک که بر روی یکی از این نقاط نصب شده به منشوری که بر روی

نقطه دیگرکنترلی مستقر است به طورخودکار قراولروی نموده و خود را توجیه می کند. در ادامه تلسکوپ توتال استیشن به طورخودکار چرخیده و منشورها یا ویدئو تارگت های نصب شده بر روی تی بی ام را قرائت می کند. درنهایت نرم افزار مربوطه مختصات محوردستگاه و میزان انحراف آن نسبت به محورمسیر طراحی شده (DTA , Alignment) را محاسبه کرده و مسیر را اصلاح می کند.

۸-۱۱) آموزش نرم افزار PPS



- ایجاد و مدیریت پروژه های نرم افزار PPS
- نمایش مسیر حرکت دستگاه
- گرفتن پرینت خروجی از مسیر حرکت دستگاه
- خواندن مختصات یک متر به یک متر محور تونل از فایل متنی
- گرفتن خروجی فایل متنی از مختصات محور تونل
- نمایش محور مسیر در یک پنجره نمایش
- بازخوانی یک پارامتر مشخص در نرم افزار
- گرفتن خروجی فایل متنی از یک پارامتر مشخص
- ویرایش یک پارامتر معین مانند پارامتر ارتباطی
- خواندن پارامترهای سگمنت های رینگ از فایل متنی (اختیاری)
- ویرایش پارامترهای سگمنت های رینگ (اختیاری)
- گرفتن گزارش تصویری از پارامترهای رینگ (اختیاری)
- گرفتن گزارش از ایستگاه توتال استیشن و تنظیمات مربوطه

ایجاد یک پروژه جدید- نرم افزار باید بر روی یک کامپیوترقوی نصب شود. بعد از نصب آن (مثلا در مسیر C:\PPS\) از دستور زیر یک پروژه جدید تعریف می کنیم:

Database → Projects → New Project

واردکردن فایل متنی- فایل متنی (.txt) داده های ورودی را در محل نصب نرم افزار (مثلا C:\PPS\data) ذخیره می کنیم. این فایل شامل مختصات محور تونل و اطلاعات رینگ های سگمنت ها می باشد. فرمت این فایل باید طبق فرمت قابل قبول نرم افزار PPS باشد. فایل مختصات محور مسیر تونل که در واقع محور دستگاه نیز می باشد را می توان از فایل نقشه مسیرتوجیه مختصاتی شده برای هر یک متر به یک متر توسط نرم افزارهایی مانند لند استخراج نمود. تاکید می شود سیستم کلی مختصات نقشه مسیر باید با سیستم مختصات شبکه نقاط روی زمین و پیمایش زیرزمین یکپارچه و یکسان باشد.

فصل ۱۳- ژئوماتیک کارگاهی

پیاده کردن سدها

انواع سدها از نظرجنس بدنه:
- سد خاکی: هسته رسی- هسته سنگریز- هسته آسفالتی- سد همگن
- سد بتنی: بتنی وزنی- بتنی قوسی- بتن غلتکی
- سد لاستیکی: سد کوچک با ارتفاع کمتر از ۶ متر و کاربری محدود

انواع سدها از نظرعملکرد:
- سد مخزنی: ذخیره آب برای شرب، کشاورزی ، برق رسانی و غیره
- سد تاخیری: برای مهار دبی آب رودخانه و سیلاب
- سد انحرافی: برای انحراف آب به مسیری مانند زمین کشاورزی
- سد تفریحی: شنا، قایقرانی و غیره
- سد تبخیری یا حوضچه تبخیری: برای ممانعت از ورود آب های نامطلوب به سایر منابع آب
- سد زیرزمینی: یک المان آب بند در داخل خاک برای ذخیره و مهار آبهای زیر زمینی
- سد رسوب گیر یا باطله: برای انباشت پسماندهای صنعتی

مراحل اجرای سدهای خاکی

بسترسازی ساختگاه سد- قبل از شروع عملیات خاکی ابتدا اکیپ ژئوماتیک اقدام به پیاده کردن و علامت گذاری محدوده جانمایی بدنه بر روی زمین می کند. باید توجه داشت خاکریزی بدنه بر روی بستر طبیعی زمین انجام نمی شود، زیرا سطح زمین پوشیده از گیاهان و خاک های نباتی و هوازده است، لذا ابتدا باید اقدام به پاکسازی زمین کرد تا به یک بستر مناسب رسید. همین طور در صورت نیاز باید جناحین تکیه گاه های سد را نیز پاکسازی نمود. پاکسازی جناحین به موازات پیشرفت خاکریزی و بالا آمدن تراز سد، به صورت نواری توسط بیل مکانیکی یا پیکور انجام می شود. به این عمل اصطلاحا استریپ کردن (Strip) می گویند. ارتفاع استریپ به طول بازوی ماشین آلات بستگی داشته و حدود ۵ متر است.

شروع عملیات خاکریزی- بعد ازآماده سازی بستر، اکیپ اجرایی اقدام به ریختن و پخش کردن لایه های خاکریز هسته و پوسته می کند. با توجه به وسعت زیاد محدوده خاکریزی محوطه آن را به ناحیه یا زون های مختلف تقسیم بندی می کنند. ضخامت و تراکم لایه های خاکریز هسته متفاوت بوده و معمولا ۱۵ الی ۲۰ سانتی متر و با تراکم بالای ۹۸ درصد است. ضخامت و تراکم لایه های پوسته نیز بستگی به جنس ابعاد آنها دارد. با توجه به خاصیت انبساطی مصالح می توان ارتفاع اولیه لایه را اندکی بیشتر از حالت متراکم شده آن در نظرگرفت. مثلا برای لایه رس ۱۵سانتی متری می توان ضخامت لایه کوبیده نشده را حدود۲۰ سانتی متر اجرا کرد. اطلاعات میزان ضریب انبساط را می توان از آزمایشگاه مکانیک خاک مطالبه نمود و یا با اجرای یکی دولایه، میزان آن را متوجه شد.

بعد از پخش و تراکم لایه ها اکیپ ژئوماتیک (همانند لایه های راه سازی) اقدام به کنترل مختصاتی لایه ها با توتال استیشن می نماید. برای کنترل مسطحاتی بعد از توجیه دوربین وارد برنامه رفرنس لاین می شویم، سپس مختصات محور سد را به عنوان خط مبنا معرفی کرده و با قرائت پاشنه های خاکریز میزان افست و اختلاف ارتفاع اجرا شده را از روی نقشه کنترل می کنیم. برای کنترل ارتفاعی نیز از همان توتال استیشن استفاده می کنیم. درنهایت پس از رعایت شدن مختصات جانمایی و کدهای ارتفاعی لایه، و همین طور تایید تراکم و دانه بندی توسط آزمایشگاه، لایه بعدی اجرا می شود.

مراحل پیاده کردن سدهای خاکی

پس از آشنایی با مراحل اجرای سدخاکی، پیاده کردن آن را نیز مرور می کنیم. مهمترین قسمت کار پیاده کردن پاشنه های پایین دست و بالادست بدنه می باشد، به نحوی که اگر کار صحیح باشد پس از اتمام خاکریزی به عرض تاج خواسته شده در نقشه می رسیم. پیاده کردن سایر اجزا نیز همانند تونل های سرریز مشابه سازه های دیگر می باشد. همان طورکه گفته شد اولین لایه خاکریز بعد از آماده سازی بستر اجرا می

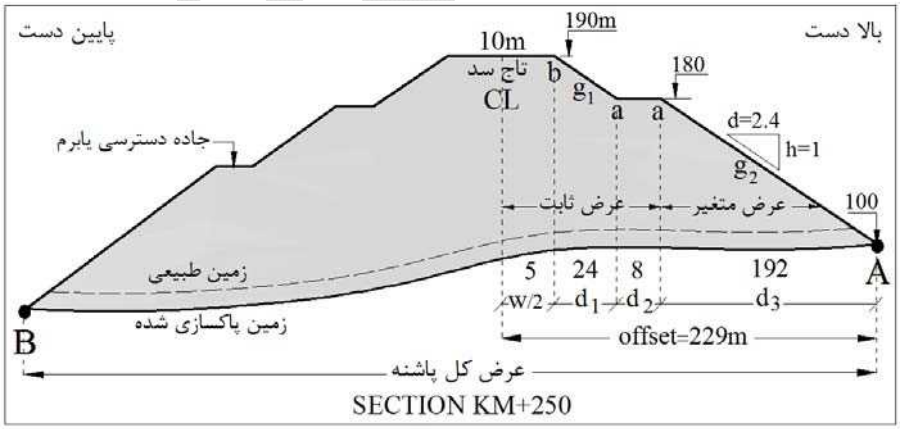
شود، لذا باید ابتدا محدوده ساختگاه سد را بر روی زمین طبیعی پیاده کنیم تا واحد اجـرایی شروع به پاکسازی بستر نماید. پس از اتمام پاکسازی، دوباره زمین را برداشت کرده و نقشه توپوگرافی آن را تهیه می کنیم. این توپوگرافی در واقع محل ساختگاه اصلی سد را نشان می دهد که خاکریزی بر روی آن انجام می گیرد. در پیاده کردن ساختگاه سد باید نکات زیر را در نظرگرفت:

الف- تعیین دقیق محل ساختگاه سد یا پاشنه های کار بر روی زمین بسیار مهم است. پیاده کردن اشتباه ممکن است باعث صدمات سنگینی به پروژه شود، زیرا اگرعرض بین پاشنه های بالا و پایین دست کمتر از میزان لازم باشد، بعد از اتمام خاکریزی عرض تاج اجرا شده ازعرض تاج نقشه کمترخواهد شد. همین طور اگر فاصله پاشنه ها بیشتر باشد، عرض تاج نیز بیشتر می شود که درهردو حالت به ویژه حالت اول، کاربری سد را دچار مشکل می کند. توصیه می شود جهت احتیاط با هماهنگی دستگاه نظارت وکارفرما، محدوده ساختگاه مقداری (مثلاحدود یک متر) عریض تر پیاده شود.

ب- مشکل دیگری که ممکن است با آن مواجه شویم این است که همانند پروژه های راه سازی، پلان بدنه سد به جای نقشه های توپوگرافی واقعی، بر روی نقشه های غیردقیق که از عکس های هوایی تهیه شده اند طراحی شده باشد. به طورکلی توصیه می شود قبل از پیاده کردن جانمایی سد وضعیت توپوگرافی موجود محدوده ساختگاه را کنترل نموده و درصورت مغایرت زیاد (مثلا بیشتر از۱۰سانتی متر)، توسط یکی از دو روش زیر اقدام به رفع مشکل نمایید:

روش اول- ابتدا اقدام به برداشت توپوگرافی کل محدوده کرده و نقشه را از طریق مراجع ذیربط به طراح می دهیم تا مجددا سد را این بار بر روی نقشه واقعی طراحی کند. و یا این که خودمان مدل سه بعدی سد را در لند یا سیویل تری دی ساخته و سپس آن را بر روی توپوگرافی سوار کنیم. ساختگاه سد در واقع محل برخورد منحنی میزان های زمین طبیعی با مدل سه بعدی می باشد. لازم به توضیح است نرم افزار لند قادر است ساختگاه سد را به طور اتوماتیک ایجاد نماید. درصورتی که اختلاف زمین موجود با نقشه خیلی زیاد باشد (مثلا حدود ۳ متر) بهتر است از همین روش استفاده کنیم.

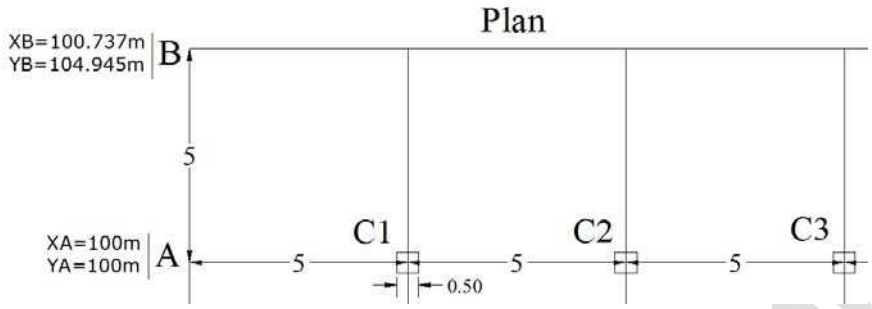
روش دوم- در این شیوه هر بارکه پای کار می رویم خودمان محل صحیح پاشنه را محاسبه کرده و پیاده می کنیم. روش کار مشابه پاشنه خاکریزی در راه سازی می باشد. جهت سهولت در محاسبات در پای کار از ماشین حساب نیز استفاده می کنیم. به عنوان مثال فرض کنید مطابق شکل زیر قصد داریم نقطه A واقع را در مقطع $km+250$ که یکی از نقاط پاشنه بالا دست می باشد پیاده کنیم:



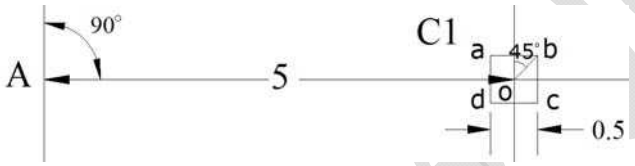
پیاده کردن ستون ها

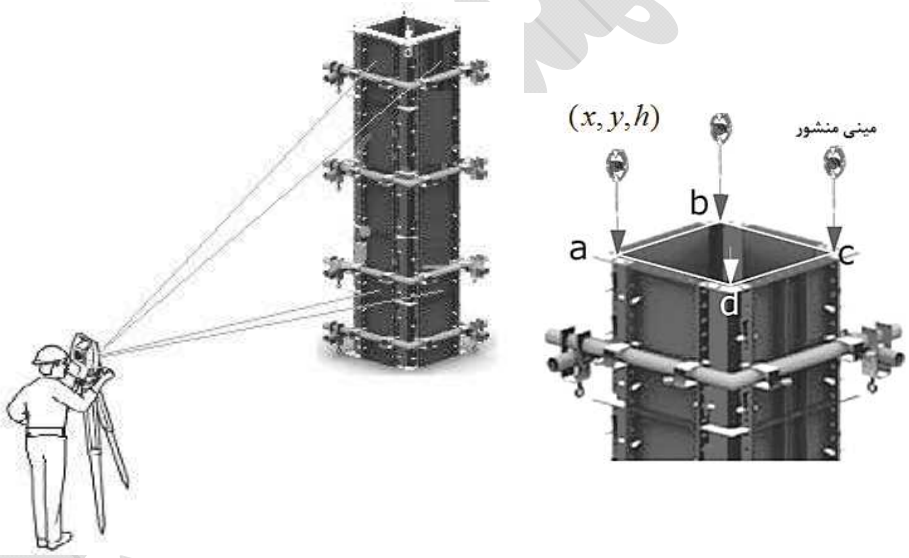
پیاده کردن ستون های بتنی- پس از اتمام کار فونداسیون، آرماتور و قالب بندی ستون ها انجام می شود. ارتفاع هر قالب بستگی به نظر طراح و آیین نامه دارد، لیکن ارتفاع هر پارت (قسمت) قالب بندی حدود ۳ متر است. در ابتدا قالب بند، قالب های دیوار را با شاغول ترازکرده و بعد با دوربین کنترل نهایی انجام می گیرد. برای این کار شیوه های مختلفی وجود داردکه بهترین آن مختصاتی است. اگر مختصات چهارگوشه بالا و پایین قالب صحیح باشد، می توان گفت محل جانمایی ستون صحیح بوده و ستون پیچش و ناشاغولی ندارد. در این شیوه ابتدا مختصات (x, y) چهارگوشه ستون که همان گوشه های لبه های

داخلی قالب هستند را از پلان نقشه و ارتفاع را از نقشه سکشن ستون ها استخراج می کنیم. سپس با یکی از برنامه های دوربین جانمایی ستون را کنترل می نماییم. برای مثال نقشه زیر را در نظر بگیرید که قسمتی از پلان و مقطع ستون گذاری طبقه ای از یک ساختمان بوده و قصد داریم ستون C1 را پیاده کنیم. برای این که با استخراج مختصات از روی نقشه نیز آشنا شویم فرض می کنیم فایل اتوکدی آن را در اختیار نداشته و تنها شیت کاغذی آن را داریم:



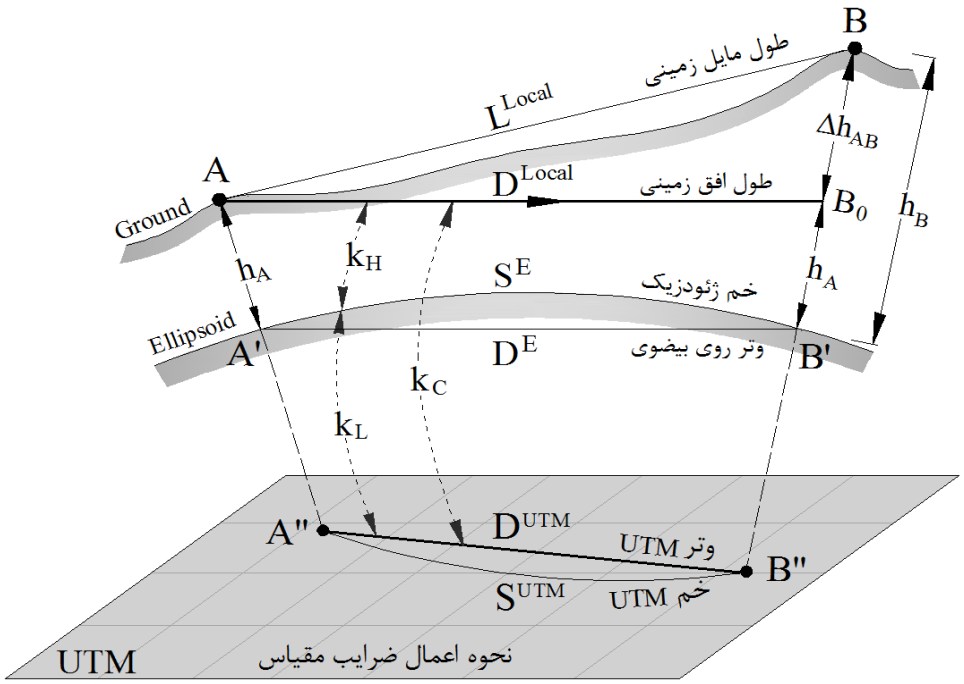
مرحله۱- طبق آنچه گفته شد باید مختصات چهارگوشه قالب ستون را با ماشین حساب به دست آوریم. برای این کار از مختصات نقاط A,B استفاده می کنیم. ابتدا مختصات نقاط مرکز و چهار گوشه ستون C1 را حساب می کنیم:





تحلیل محاسبات UTM در پروژه ها

از چالش های فنی مهم و رایج در پروژه ها نحوه کار با مختصات نقاط و نقشه های UTM می باشد. این مشکل بیشتر در پروژه های خطی مانند تونل ها، پروژه های بزرگ مانند سدها، و پروژه های صنعتی نظیر نیروگاه ها دیده می شود. از این رو پس از آشنایی با مباحث تئوریک UTM که درفصل ژئودزی بیان شد، نگاهی تحلیلی بر نحوه کار با این مختصات در پروژه ها خواهیم انداخت.



سایت کالیبراسیون در UTM

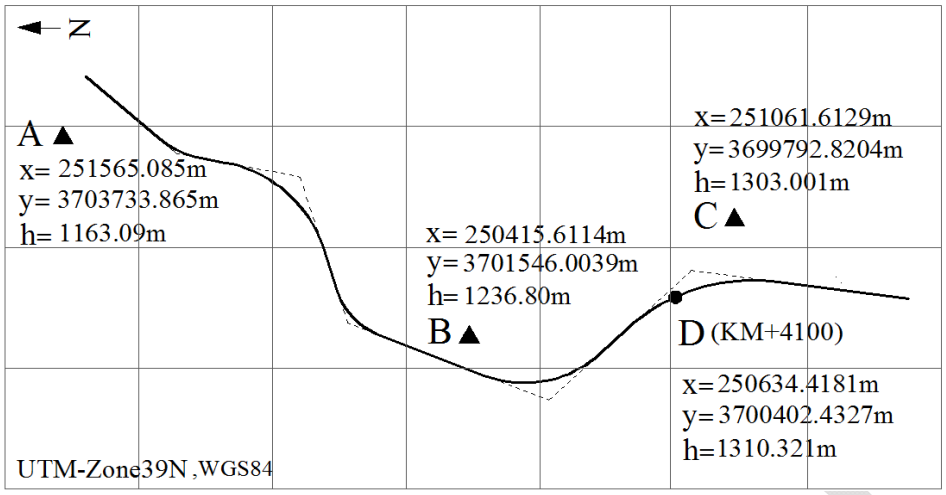
پس از آشنایی با اصول کلی تبدیلات UTM و Local، نوبت به نحوه اعمال آن در پروژه ها می رسد که گاهی از آن با عنوان سایت کالیبراسیون یا تنظیم پروژه (Site calibration) نام برده می شود. هدف از این کار تدقیق مختصات بنچ مارک و سازه های روی نقشه جهت پیاده کردن آنها بر روی زمین می باشد. بسته به شرایط پروژه حالات مختلفی روی می دهد که سه حالت رایج را مرور می کنیم:

حالت اول- نقشه ها در UTM + سازه ها در UTM
حالت دوم- نقشه ها در UTM + سازه ها در UTM
حالت سوم- نقشه ها در Local + سازه ها در Local

حالت اول- نقشه ها و سازه ها در UTM- در این حالت نقشه توپوگرافی و سازه های روی آن هردو در UTM (غیر واقعی) بوده، و قصد داریم سازه ها را با ابعاد لوکال (واقعی) پیاده کنیم.
بدین منظور چند روش وجود دارد که برای کارهای دقیق روش های سوم و چهارم پیشنهاد می شود:

مثال۳- تبدیل UTM به Local - شکل زیر پلان یک نقشه راه سازی به همراه سه بنچ مارک A,B,C که نسبت به هم دید دارند را در UTM نشان می دهد. چنانچه نقاط A,B به عنوان مبنا انتخاب شده و نقطه D تنها به C دید داشته باشد:

الف- مختصات لوکال نقطه D واقع در محور مسیرکه درکیلومتراژ 4100+ واقع است را به دست آورید.
ب- روش اجرایی پیشنهادی برای کنترل محاسبات را توضیح دهید.
پ- روش اجرایی برای پیاده کردن نقطه D را از روی نقطه C و با لوکال کردن نقشه بیان کنید.
ت- مراحل اجرایی پیاده کردن نقطه D را از روی نقطه C و بدون لوکال کردن نقشه بیان کنید.
ث- آیا استفاده از روش قسمت ت، تغییری در محل پیاده شدن نقطه ایجاد خواهد نمود؟

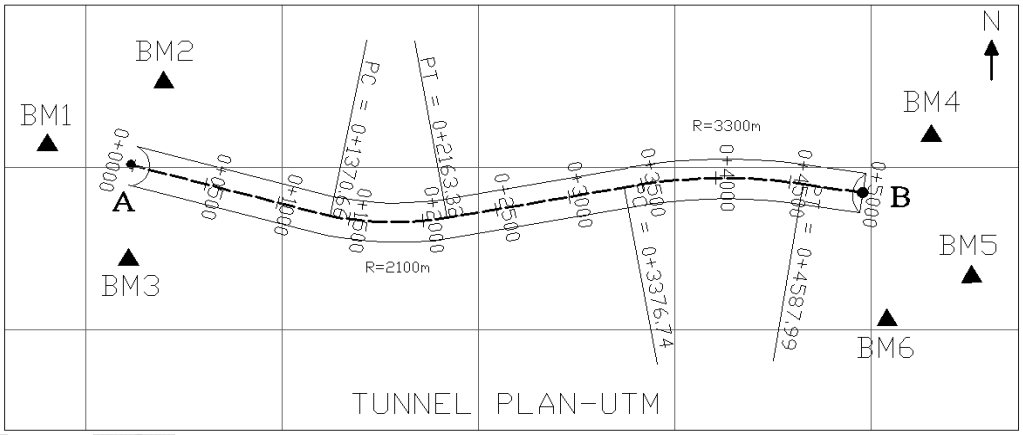


حل الف- مساله مربوط به تبدیل UTM به Local در پروژه خطی است که بهتر است با روش پیمایشی لوکال شود. برای حل ابتدا مختصات لوکال نقطه C را به دست می آورده، سپس مختصات لوکال D را نسبت به مختصات لوکال (و نه UTM) C حساب می کنیم:

مرحله۱

$$\begin{cases} x_B^{\text{UTM}} = x_B^{\text{Local}} \,,\; y_B^{\text{UTM}} = y_B^{\text{Local}} \\ G_{AB}^{\text{UTM}} = G_{AB}^{\text{Local}} \end{cases}$$

مثال۴- تبدیل UTM به Local - تصویر زیر پلان نقشه یک تونل را در UTM نشان می دهد که قرار است از نقطه A تا B به طول ۵ کیلومتر حفاری شود. درصورتی که مختصات UTM بنچ مارک های $BM1, BM2, BM3$ در دهانه غربی و $BM4, BM5, BM6$ دردهانه شرقی داده شده باشد، مراحل پیشنهادی خود را برای پیاده کردن تونل تشریح نمایید:



و....

فهرست مطالب جلد اول

فصل اول — مفاهیم اولیه

۱- تعریف ژئوماتیک (نقشه برداری) ..... صفحه ۱۴
۲- تاریخچه علم ژئوماتیک ۱۵
۳- شاخه ها وکاربردهای مهندسی ژئوماتیک ۱۹
۴- نقاط رفرنس ۲۳
۵- نقشه و انواع آن ۲۶
۶- شکل کره زمین ۲۹
۷- مقیاس ۳۷
۸- طول ۴۳
۹- شیب ۴۴
۱۰- زاویه ۴۸
۱۱- امتداد ۵۶
۱۲- دستگاه مختصات ۷۰
۱۳- نمایش ارتفاعات در نقشه ۷۹
۱۴- تاثیر کرویت زمین بر مشاهدات ۹۳
۱۵- مفاهیم اولیه خطاها ۹۷

فصل دوم — وسایل اندازه گیری

۱- مقدمه ۱۰۲
۲- وسایل ساده ۱۰۳
۳- وسایل تخصصی ۱۱۶
۳-۱) مقدمه ۱۱۶
۳-۲) منشور ۱۱۶
۳-۳) ترازهای دوربین ۱۲۰
۳-۴) تراز لیزری ۱۲۴
۳-۵) دوربین ترازیاب (نیوو) ۱۲۵
۳-۶) دوربین زاویه یاب (تئودلیت) ۱۳۰
۳-۷) دوربین طولیاب الکترونیکی (دیستومات) ۱۳۳
۳-۸) گیرنده ماهواره ای (GPS) ۱۳۳
۳-۹) لیزر اسکنر ۱۳۵
۳-۱۰) پهپاد ۱۳۷
۳-۱۱) دستگاه های چند منظوره ۱۴۰
۴- دوربین توتال استیشن ۱۴۱
۴-۱) تعریف توتال استیشن ۱۴۱

۲-۴) اصول کلی کار با توتال استیشن ها ۱۴۴
۳-۴) آموزش کار با توتال استیشن لایکا ۱۵۰
۵- آموزش نرم افزار Leica Office ۱۹۴
۱-۵) تخلیه اطلاعات از دوربین به کامپیوتر ۱۹۴
۲-۵) تخلیه اطلاعات از دوربین به فلش مموری ۱۹۸
۳-۵) تخلیه اطلاعات از کامپیوتر به دوربین ۱۹۹
۴-۵) ساختن فرمت دلخواه در دوربین ۲۰۷

فصل سوم — اندازه گیری کمیات اصلی

بخش اول ..... اندازه گیری طول
۱- مقدمه ۲۱۶
۲- اندازه گیری طول با وسایل مکانیکی ۲۱۷
۱-۲) مترکشی و خطاهای آن ۲۱۷
۲-۲) مساحی ۲۳۱
۳- اندازه گیری طول با وسایل اپتیکی ۲۳۵
۱-۳) اندازه گیری فاصله به روش استادیمتری ۲۳۵
۲-۳) اندازه گیری فاصله به روش پارالاکتیک ۲۳۸
بخش دوم ..... اندازه گیری زاویه
۱- مقدمه ۲۴۱
۲- ساختار دوربین زاویه یاب ۲۴۲
۱-۲) ساختار فیزیکی تئودلیت ۲۴۲
۲-۲) ساختار هندسی تئودلیت ۲۴۳
۳- نحوه اندازه گیری زاویه ۲۴۵
۱-۳) اصول اندازه گیری زاویه ۲۴۵
۲-۳) وسایل لازم برای اندازه گیری زاویه ۲۴۷
۳-۳) اندازه گیری زاویه افقی ۲۴۷
۴-۳) اندازه گیری زاویه قائم ۲۴۹
۵-۳) روش های اندازه گیری زاویه افقی ۲۵۱
بخش سوم ..... اندازه گیری ارتفاع
۱- مقدمه ۲۶۰
۲- تاریخچه ترازیابی در ایران ۲۶۲
۳- روش های انجام ترازیابی ۲۶۵
۱-۳) ترازیابی با وسایل ساده ۲۶۵
۲-۳) ترازیابی به روش فشارسنجی ۲۶۷
۳-۳) ترازیابی به روش استادیمتری ۲۶۸
۴-۳) ترازیابی به روش مستقیم یا هندسی ۲۶۸
۵-۳) ترازیابی به روش مثلثاتی ۲۶۸
۴- ترازیابی مستقیم ۲۷۴
۱-۴) اصول ترازیابی مستقیم ۲۷۴

۲-۴) وسایل لازم برای ترازیابی ۲۷۴
۳-۴) مراحل انجام ترازیابی ۲۷۴
۵- روش های انجام ترازیابی مستقیم ۲۸۰
۱-۵) ترازیابی ساده ۲۸۰
۲-۵) ترازیابی تدریجی ۲۸۰
۳-۵) ترازیابی شعاعی ۲۸۲
۴-۵) ترازیابی متقابل ۲۸۳
۵-۵) ترازیابی معکوس ۲۸۴
۶-۵) ترازیابی مختلط ۲۸۴
۶- کنترل عملیات ترازیابی ۲۹۰
۱-۶) روش های کنترل عملیات ترازیابی ۲۹۰
۲-۶) روش های سرشکنی خطای عملیات ترازیابی ۲۹۱
۷- خطاها در ترازیابی ۳۰۰
۱-۷) منابع خطا در ترازیابی ۳۰۰
۲-۷) خطای کرویت زمین ۳۰۰
۳-۷) خطای انکسار نور ۳۰۱
۴-۷) خطای تراز کردن شاخص ۳۰۸
۵-۷) خطای حساسیت تراز دوربین ۳۰۹
۶-۷) خطای کلیماسیون ترازیاب ۳۱۱

فصل چهارم — تعیین مختصات نقاط

۱- مقدمه ۳۲۰
۲- روش ساده یا قطبی ۳۲۱
۳- روش کوپل یا دو قطبی ۳۲۳
۴- روش تقاطع ۳۲۴
۵- روش ترفیع ۳۲۶
۶- روش مثلث بندی ۳۳۱
۱-۶) تعریف مثلث بندی ۳۳۱
۲-۶) روش چهارضلعی با دو قطر ۳۳۱
۳-۶) روش چند ضلعی با نقطه مرکزی ۳۴۰
۴-۶) روش مثلث بندی زنجیره ای ۳۴۷
۷- پیمایش ۳۴۹
۱-۷) تعریف پیمایش ۳۴۹
۲-۷) انواع پیمایش ها از نظر شکل هندسی ۳۴۹
۳-۷) مراحل کلی انجام یک پیمایش ۳۵۱
۴-۷) سرشکنی خطای پیمایش به روش ساده ۳۵۴
۵-۷) یافتن مشاهدات اشتباه در پیمایش ۳۸۵
۶-۷) یافتن پارامترهای مجهول در پیمایش ۳۸۶

فصل پنجم ژئوماتیک مسیر

۱- مقدمه ۳۹۴
۲- مشخصات کلی مسیرها ۳۹۵
۳- مراحل انجام یک پروژه راه سازی ۴۰۶
۴- منحنی های افقی در مسیر ۴۱۰
۴-۱) مقدمه ۴۱۰
۴-۲) روابط هندسی در دایره ۴۱۰
۴-۳) قوس دایره ای ساده ۴۱۳
۴-۴) قوس دایره ای مرکب مستقیم ۴۲۵
۴-۵) قوس دایره ای مرکب معکوس ۴۲۹
۴-۶) قوس سرپانتین ۴۳۳
۴-۷) دوِر ۴۳۷
۴-۸) منحنی های اتصال ۴۴۱
۵- منحنی های قائم در مسیر ۴۸۲
۶- احجام عملیات خاکی ۴۹۳
۶-۱) مقدمه ۴۹۳
۶-۲) روش های محاسبه مساحت مقاطع عرضی ۴۹۳
۶-۳) روش های محاسبه احجام مقاطع عرضی ۴۹۸
۶-۴) محاسبه احجام مسیر توسط مقاطع عرضی ۵۰۳
۶-۵) محاسبه حجم کل عملیات خاکی ۵۰۶
۶-۶) محاسبه حجم توسط منحنی میزان ها ۵۰۶
۶-۷) تحلیل محاسبه احجام ۵۰۷
۶-۸) منحنی بروکنر ۵۱۲
۷- طراحی مسیر ۵۲۶
۷-۱) مقدمه ۵۲۷
۷-۲) تعیین پارامترهای اولیه ۵۲۷
۷-۳) طراحی هندسی مسیر ۵۳۳
۸- متره و برآورد مالی مسیر ۵۸۳
۹- عملیات اجرایی راه سازی ۵۸۶
۹-۱) مقدمه ۵۸۷
۹-۲) ماشین آلات و دستگاه ها ی راه سازی ۵۸۷
۹-۳) برخی اصطلاحات راه سازی ۵۸۸
۹-۴) مروری بر مکانیک خاک و آزمایش مصالح ۵۹۰
۹-۵) اقدامات اولیه در عملیات اجرایی ۵۹۵
۹-۶) زیرسازی راه ۵۹۶
۹-۷) احداث ابنیه فنی ۶۰۳
۹-۸) روسازی راه ۶۰۴
۱۰- پیاده کردن مسیر ۶۲۰
۱۰-۱) مقدمه ۶۲۰
۱۰-۲) مراحل کلی پیاده کردن مسیر ۶۲۰

۳-۱۰) پیاده کردن محور مسیر به روش مختصاتی ۶۲۲
۴-۱۰) پیاده کردن سرترانشه و پاشنه کار به روش مختصاتی ۶۲۳

فصل ششم — تحلیل خطاها (۱)

۱- مقدمه ۶۳۰
۲- مروری بر آمار و احتمالات ۶۳۱
۲-۱) تعریف آمار ۶۳۱
۲-۲) جامعه آماری ۶۳۱
۲-۳) داده های آماری ۶۳۱
۲-۴) انواع آمار ۶۳۲
۲-۵) مراحل انجام کارهای آماری ۶۳۳
۲-۶) فراوانی یا وزن ۶۳۳
۲-۷) فراوانی نسبی ۶۳۳
۲-۸) فراوانی تجمعی ۶۳۴
۲-۹) پارامترهای آماری داده ها ۶۳۴
۲-۱۰) استاندارد سازی داده ها ۶۴۲
۲-۱۱) احتمال ۶۴۴
۲-۱۲) جداول و نمودارهای آماری ۶۴۷
۲-۱۳) متغیر تصادفی ۶۵۵
۲-۱۴) تابع احتمال ۶۵۶
۲-۱۵) امید ریاضی ۶۶۰
۲-۱۶) تابع مولد گشتاور ۶۶۱
۲-۱۷) کواریانس ۶۶۲
۲-۱۸) ضریب همبستگی ۶۶۳
۲-۱۹) برآوردگر ۶۶۴
۲-۲۰) انواع توابع چگالی احتمال ۶۶۷
۳- خطای مستقیم کمیات ۶۹۷
۳-۱) مقدمه ۶۹۷
۳-۲) کمیّت ۶۹۷
۳-۳) مشاهده ۶۹۷
۳-۴) درجه آزادی ۶۹۷
۳-۵) تعریف خطا ۶۹۷
۳-۶) انواع خطاها ۶۹۸
۳-۷) منابع خطاها ۷۰۰
۳-۸) انواع خطاهای اتفاقی ۷۰۱
۳-۹) خطای نسبی ۷۰۴
۳-۱۰) خطای کل ۷۰۴
۳-۱۱) دقت ۷۰۴
۳-۱۲) صحت یا درستی ۷۰۵
۳-۱۳) فاصله اطمینان ۷۰۶
۳-۱۴) تست سه سیگما ۷۰۷

۴- خطای غیر مستقیم کمیات ۷۰۹
۴-۱) قانون انتشار خطاهای اتفاقی ۷۰۹
۴-۲) حالات خاص در قانون انتشار خطاها ۷۱۲
۴-۳) قانون انتشار کواریانس ها ۷۱۳
۴-۴) قانون انتشار خطاهای سیستماتیک ۷۲۱
۵- وزن در ژئوماتیک ۷۲۹
۵-۱) وزن و معیارهای سنجش آن ۷۲۹
۵-۲) واریانس فاکتور اولیه ۷۲۹
۵-۳) کوفاکتور ۷۳۲
۵-۴) خطای مشاهدات وزندار ۷۳۳
۵-۵) خطای میانگین مشاهدات وزندار ۷۳۳
۶- خطای موقعیت نقاط ۷۳۸
۶-۱) مقدمه ۷۳۸
۶-۲) خطای مختصاتی ۷۳۸
۶-۳) خطای طولی ۷۴۲
۶-۴) خطای ژیزمانی ۷۴۳
۷- بیضی و پدال خطاها ۷۴۵
۷-۱) مقدمه ۷۴۵
۷-۲) تابع چگالی نرمال چند متغیره ۷۴۵
۷-۳) معادله کلی بیضی خطا ۷۴۶
۷-۴) ابعاد بیضی خطا ۷۴۹
۷-۵) آزیموت نیم قطر اطول بیضی خطا ۷۵۴
۷-۶) زاویه مثلثاتی نیم قطر اطول بیضی خطا ۷۵۶
۷-۷) منحنی پدال خطا ۷۵۷
۷-۸) بیضی خطای نسبی ۷۶۰
۷-۹) رابطه بیضی خطا و مقادیر ویژه ماتریسی ۷۶۲
۷-۱۰) برآیند خطا در راستاهای مختلف ۷۶۵
۷-۱۱) جمع بندی خطای موقعیت یک نقطه ۷۶۹

فصل هفتم — تحلیل خطاها (۲)

بخش اول ..... اجستمنت
۱- مقدمه ۷۸۰
۲- بردارها ۷۸۱
۳- جبر ماتریسی ۷۹۹
۴- بهینه سازی توابع ۸۳۰
۵- اجستمنت و انواع آن ۸۳۴
۶- اجستمنت با روش ساده ۸۳۸
۶-۱) اجستمنت ساده چند کمیت با اوزان یکسان ۸۳۸
۶-۲) اجستمنت ساده یک کمیت با اوزان مختلف ۸۳۸
۶-۳) اجستمنت ساده چند کمیت با اوزان مختلف ۸۳۹

۷- اجستمنت با روش کمترین مربعات ۸۴۲
۷-۱) مقدمه ۸۴۲
۷-۲) مفهوم کمترین مربعات ۸۴۲
۷-۳) ویژگی های کمترین مربعات ۸۴۸
۷-۴) مدل های ریاضی در اجستمنت ۸۵۲
۸- اجستمنت با مدل پارامتریک ۸۵۶
۸-۱) مقدمه ۸۵۶
۸-۲) اجستمنت مدل های خطی در روش پارامتریک ۸۵۷
۸-۳) اجستمنت مدل های غیرخطی در روش پارامتریک ۸۶۰
۸-۴) ویژگی های کمیات برآورد شده ۸۶۲
۸-۵) درجه آزادی ۸۶۳
۸-۶) ماتریس آزادی ۸۶۳
۸-۷) واریانس فاکتور ثانویه ۸۶۷
۸-۸) وزن در اجستمنت ۸۷۴
۸-۹) خلاصه مراحل روش پارامتریک ۸۷۵
۸-۱۰) اجستمنت یک مشاهده تکراری ۸۷۶
۹- اجستمنت با مدل شرطی ۸۹۴
۹-۱) مقدمه ۸۹۴
۹-۲) اجستمنت مدل های خطی در روش شرطی ۸۹۴
۹-۳) اجستمنت مدل های غیرخطی در روش شرطی ۸۹۷
۹-۴) درجه آزادی و تعداد معادلات شرط ۸۹۸
۱۰- اجستمنت با مدل ترکیبی ۹۰۸
۱۰-۱) مقدمه ۹۰۸
۱۰-۲) مجهولات برآورد شده ۹۰۸
۱۰-۳) دقت کمیات برآورد شده ۹۱۰
۱۰-۴) درجه آزادی ۹۱۲
۱۰-۵) واریانس فاکتور ثانویه ۹۱۳
۱۰-۶) مرتبه ماتریس ها در روش ترکیبی ۹۱۳
۱۰-۷) محاسبات ایترویشن در روش ترکیبی ۹۱۴
۱۰-۸) جمع بندی روابط در روش ترکیبی ۹۱۶
۱۱- اجستمنت با مدل کنسترینت ۹۳۱
۱۱-۱) انواع پارامترها در شبکه ۹۳۱
۱۱-۲) دیفکت در شبکه ۹۳۲
۱۱-۳) کنسترینت و انواع آن ۹۴۱
۱۱-۴) کنسترینت های تابعی ۹۴۲
۱۱-۴-۱) کنسرینت تابعی عادی ۹۴۲
۱۱-۴-۲) اورکنسرینت ۹۵۱
۱۱-۴-۳) مینیمم کنسترینت ۹۵۵
۱۱-۴-۴) اینرکنسترینت ۹۶۱
۱۱-۵) کنسترینت وزندار ۹۷۴
۱۲- اجستمنت با داده های اضافی ۹۸۴
۱۲-۱) مدل با مجهولات اضافی ۹۸۴
۱۲-۲) مدل با مشاهدات اضافی ۹۸۶
۱۳- مروری بر اجستمنت پیشرفته ۹۸۹

۱-۱۳) مقدمه ۹۸۹
۲-۱۳) بلوک بندی هلمرت ۹۸۹
۳-۱۳) فیلترینگ کالمن ۹۹۱
۴-۱۳) پایدارسازی ۹۹۱
بخش دوم ..... تست و ارزیابی داده ها
۱- مقدمه ۱۰۳۱
۲- برآورد کردن ۱۰۳۲
۱-۲) روش های برآورد ۱۰۳۲
۲-۲) برآورد نقطه ای ۱۰۳۲
۳-۲) برآورد فاصله ای ۱۰۳۵
۳- آزمون فرض ها ۱۰۴۲
۱-۳) فرض آماری ۱۰۴۲
۲-۳) خطاهای آزمون فرض ۱۰۴۲
۳-۳) انواع فرض ها ۱۰۴۳
۴-۳) نواحی بحرانی و جهت آزمون ۱۰۴۴
۵-۳) مراحل تصمیم گیری در آزمون ۱۰۴۴
۶-۳) انواع آزمون های فرض ۱۰۴۴
۷-۳) آزمون های فرض در اجستمنت ۱۰۴۶

فصل هشتم — ژئوماتیک دقیق

بخش اول ..... اندازه گیری دقیق کمیات اصلی

۱- مقدمه ..... صفحه ۱۴

۲- اندازه گیری دقیق طول ۱۵

۲-۱) مقدمه ۱۵

۲-۲) مفاهیم اولیه امواج در فیزیک ۱۵

۲-۳) انواع طولیاب های الکترونیکی ۲۱

۲-۴) روش های اندازه گیری طول با وسایل الکترونیکی ۲۴

۲-۵) تحلیل خطاهای اندازه گیری طول با وسایل الکترونیکی ۲۷

۲-۶) کالیبراسیون طولیاب های الکترونیکی ۳۸

۲-۷) دقت اندازه گیری طول با وسایل الکترونیکی ۴۲

۲-۸) تصحیحات اندازه گیری طول با دیستومات ۴۴

۲-۹) تصحیحات اندازه گیری طول با توتال استیشن ۵۰

۳- اندازه گیری دقیق زاویه ۵۴

۳-۱) مقدمه ۵۴

۳-۲) سیستم های اندازه گیری زاویه درزاویه یاب ها ۵۴

۳-۳) روش های اندازه گیری زاویه ۶۱

۳-۴) تحلیل خطاهای اندازه گیری زاویه ۸۱

۳-۵) خارج از ایستگاهی زاویه ۱۱۸

۴- اندازه گیری دقیق ارتفاع (ترازیابی دقیق) ۱۲۶

۴-۱) مقدمه ۱۲۶

۴-۲) تعریف ترازیابی دقیق ۱۲۶

۴-۳) تئوری ارتفاعات ۱۲۶

۴-۴) وسایل ترازیابی دقیق ۱۳۵

۴-۵) مراحل انجام ترازیابی دقیق ۱۳۷

بخش دوم ..... تعیین دقیق مختصات نقاط

۱- مقدمه ۱۵۰

۲- تحلیل خطا در پیمایش ها ۱۵۱

۲-۱) مقدمه ۱۵۱

۲-۲) اجستمنت پیمایش ها به روش ساده ۱۵۱

۲-۳) خطای زاویه ای در پیمایش ها ۱۵۶

۲-۴) خطای طولی در پیمایش ها ۱۵۶

۲-۵) خطای مختصاتی در پیمایش ها ۱۵۶

۲-۶) اجستمنت پیمایش ها به روش کمترین مربعات ۱۷۹

بخش سوم ..... میکروژئودزی

۱- مقدمه ۱۹۴

۲- روش های انجام مانیتورینگ ۱۹۶

۲-۱) روش ژئودتیکی (میکروژئودزی) ۱۹۶

۲-۲) روش ژئوتکنیکی (ابزار دقیق) ۱۹۷
۳- مراحل کلی انجام پروژه میکروژئودزی ۱۹۸
۴- طراحی شبکه ۲۰۳
۴-۱) روش های طراحی شبکه ۲۰۳
۴-۲) پری آنالیز شبکه ۲۰۹
۵- انجام مشاهدات شبکه ۲۲۳
۵-۱) انتخاب دستگاه ها ۲۲۳
۵-۲) نحوه انجام مشاهدات ۲۲۴
۵-۳) کنترل مشاهدات ۲۲۵
۶- اجستمنت و تست شبکه ۲۲۷
۶-۱) اجستمنت شبکه اصلی ۲۲۷
۶-۲) اجستمنت شبکه تارگت ۲۲۷
۶-۳) تست و ارزیابی های بعد از اجستمنت ۲۲۸
۷- آنالیز جابه جایی شبکه ۲۳۰
۷-۱) مقدمه ۲۳۰
۷-۲) انواع شبکه ها از نظر جابه جایی ۲۳۰
۷-۳) آنالیز جابه جایی مطلق شبکه ۲۳۰
۷-۴) میکروژئودزی سدها ۲۴۶
۷-۵) میکروژئودزی برج ها ۲۵۸
۷-۶) آنالیز جابه جایی نسبی شبکه ۲۶۳
۸- روش های نوین در میکروژئودزی ۲۷۰
۸-۱) میکروژئودزی با GPS ۲۷۰
۸-۲) میکروژئودزی با لیزر اسکنر ۲۷۲
۸-۳) میکروژئودزی با توتال استیشن رباتیک ۲۷۳
۹- پری آنالیز ساده ۲۸۲
۹-۱) تعریف پری آنالیز ساده ۲۸۲
۹-۲) پری آنالیز ساده در پیمایش ها ۲۸۴

فصل نهم — ژئودزی کلاسیک

۱- مقدمه ۲۸۸
۲- مفاهیم اولیه در ژئودزی ۲۸۹
۲-۱) تعریف ژئودزی ۲۸۹
۲-۲) شاخه ها و اهداف ژئودزی ۲۸۹
۲-۳) تاریخچه ژئودزی ۲۹۰
۲-۴) مطالعه اجمالی کره زمین ۲۹۷
۲-۵) سطوح مبنای ارتفاعی زمین ۳۰۸
۲-۶) روند انجام پروژه های ژئودزی کلاسیک ۳۱۹
۳- محاسبات بر روی بیضوی زمین ۳۲۴
۳-۱) مقدمه ۳۲۴
۳-۲) پارامترهای اولیه بیضوی زمین ۳۲۵

۳-۳) شعاع های انحنا در بیضوی زمین ۳۳۲
۳-۴) منحنی های سطحی بیضوی زمین ۳۴۲
۳-۵) مختصات کارتزین و ژئودتیک بیضوی زمین ۳۵۴
۳-۶) تبدیل مشاهدات زمینی به کمیات روی بیضوی زمین ۳۵۹
۳-۷) تبدیل کمیات روی بیضوی به مختصات نقاط روی بیضوی ۳۷۶
۳-۸) اجستمنت شبکه های ژئودزی کلاسیک ۳۹۲
۴- سیستم های مختصات در ژئودزی ۳۹۹
۴-۱) مقدمه ۳۹۹
۴-۲) پارامترهای تعریف سیستم مختصات در ژئودزی ۳۹۹
۴-۳) انواع سیستم های مختصات در ژئودزی ۴۰۰
۴-۴) تبدیل سیستم های مختصات در ژئودزی ۴۱۲
۴-۵) ایجاد یک دیتم در ژئودزی ۴۲۳
۵- سیستم های تصویر در ژئودزی ۴۲۸
۵-۱) مقدمه ۴۲۸
۵-۲) تعریف سیستم تصویر و اجزای آن ۴۳۰
۵-۳) مفهوم تصویرکردن عوارض ۴۳۰
۵-۴) مفهوم ضریب مقیاس در سیستم تصویر ۴۳۱
۵-۵) بیضی اعوجاج تیسوت ۴۳۱
۵-۶) انواع سیستم های تصویر ۴۳۲
۵-۷) سیستم تصویر معکوس مرکاتور جهانی (UTM) ۴۴۵
۵-۸) تحلیل ریاضی سیستم های تصویر متشابه ۴۶۳
۵-۹) محاسبه روابط ریاضی در سیستم های تصویر متشابه ۴۹۳

فصل دهم — ژئودزی ماهواره ای

۱- مقدمه ۵۵۴
۲- مفاهیم اولیه در ژئودزی ماهواره ای ۵۵۵
۲-۱) تاریخچه سامانه های ماهواره ای ۵۵۵
۲-۲) آشنایی با سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GPS ۵۵۶
۲-۳) کاربردهای تعیین موقعیت ماهواره ای ۵۵۸
۲-۴) ویژگی های تعیین موقعیت ماهواره ای ۵۵۹
۳- سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای ۵۶۰
۳-۱) سامانه تعیین موقعیت داپلر یا ترانزیت (NSS) ۵۶۰
۳-۲) سامانه فاصله یابی لیزری ماهواره ای (SLR) ۵۶۱
۳-۳) سامانه فاصله یابی لیزری با ماه (LLR) ۵۶۱
۳-۴) سامانه فاصله یابی با امواج رادیویی (VLBI) ۵۶۲
۳-۵) سامانه مدارنگاری داپلر (DORIS) ۵۶۳
۳-۶) سامانه تجهیزات فاصله و نرخ فاصله دقیق (PRARE) ۵۶۴
۳-۷) سامانه تعیین موقعیت جهانی GPS ۵۶۴
۴- اجزای سامانه GPS ۵۶۵
۴-۱) بخش فضایی ۵۶۵
۴-۲) بخش کنترل زمینی ۵۶۸

۳-۴) بخش کاربران ۵۶۹
۵- سامانه تعیین موقعیت GNSS ۵۷۲
۶- سامانه های تعیین موقعیت در ایران ۵۷۳
۶-۱) مقدمه ۵۷۳
۶-۲) انواع سامانه ها در ایران ۵۷۳
۷- سیستم های مختصات و زمان در GPS ۵۷۵
۷-۱) سیستم های مختصات در ژئودزی ماهواره‌ای ۵۷۵
۷-۲) سیستم های زمان در ژئودزی ماهواره‌ای ۵۷۹
۸- ماهواره ها در GPS ۵۸۳
۸-۱) مقدمه ۵۸۳
۸-۲) قوانین کپلر ۵۸۳
۸-۳) بررسی حرکت ماهواره بر اساس قوانین کپلر ۵۸۶
۸-۴) تئوری مدارات نرمال ۵۹۰
۸-۵) اغتشاشات و نیروهای موثر برحرکت ماهواره ۵۹۳
۹- سیگنال ها در GPS ۵۹۵
۹-۱) ساختارکلی امواج ارسالی از ماهواره های GPS ۵۹۵
۹-۲) افمریز ۵۹۶
۹-۳) انواع امواج ارسالی از ماهواره های GPS ۵۹۶
۱۰- خطاها در GPS ۵۹۹
۱۰-۱) مقدمه ۵۹۹
۱۰-۲) خطاهای ماهواره ۵۹۹
۱۰-۳) خطاهای گیرنده ۶۰۰
۱۰-۴) خطاهای مشاهدات ۶۰۱
۱۱- مشاهدات در GPS ۶۰۸
۱۱-۱) انواع مشاهدات در GPS ۶۰۸
۱۱-۲) شبه فاصله ۶۰۸
۱۱-۳) فاز موج حامل ۶۰۹
۱۱-۴) نرخ فاز موج حامل ۶۰۹
۱۲- تعیین موقعیت در GPS ۶۱۰
۱۲-۱) انواع تعیین موقعیت توسط گیرنده ها ۶۱۰
۱۲-۲) مدل های ریاضی تعیین موقعیت ۶۱۱
۱۲-۳) روش های عملی تعیین موقعیت نسبی در GPS ۶۱۷
۱۲-۴) مراحل عملی تعیین موقعیت نسبی در GPS ۶۲۲
۱۳- اجستمنت در GPS ۶۲۸
۱۳-۱) مقدمه ۶۲۸
۱۳-۲) پردازش داده ها ۶۲۸
۱۳-۳) اجستمنت مشاهدات ماهواره ای ۶۳۰
۱۳-۴) ضریب تعدیل دقت (DOP) ۶۳۳
۱۴- آموزش نرم افزار LEICA Geo Office ۶۳۸
۱۴-۱) مقدمه ۶۳۸
۱۴-۲) آشنایی کلی با نرم افزار LGO ۶۳۹
۱۴-۳) مراحل کار با نرم افزار LGO ۶۴۰

فصل یازدهم — تهیه نقشه

۱- مقدمه ۶۷۶
۲- عوارض و انواع آن ۶۷۷
۳- روش های تهیه نقشه ۶۷۹
۴- مشخصات نقشه ها ۶۸۱
۵- تهیه نقشه های توپوگرافی ۶۹۰
۶- تهیه نقشه های برشی (پروفیل و مقطع) ۶۹۵
۷- تهیه نقشه های کاداستر ۷۰۰

فصل دوازدهم — ژئوماتیک زیرزمینی

۱- مقدمه ۷۰۴
۲- مراحل انجام پروژه های زیر زمینی ۷۰۵
۱-۲) مراحل کلی انجام پروژه های زیر زمینی ۷۰۵
۲-۲) مراحل کاری ژئوماتیک در پروژه های زیر زمینی ۷۰۶
۳- مفاهیم اولیه در پروژه های زیر زمینی ۷۰۸
۱-۳) اصطلاحات کلی ۷۰۸
۲-۳) اصطلاحات معدنی ۷۱۳
۳-۳) انواع تونل ها از نظر کاربرد ۷۱۴
۴-۳) محور و مقاطع تونل ۷۱۶
۵-۳) تحکیم اولیه ۷۱۸
۶-۳) تحکیم نهایی ۷۲۱
۷-۳) شرایط کار در زیر زمین ۷۲۳
۴- وسایل کار در زیر زمین ۷۲۶
۵- روش های انجام حفاری ۷۳۳
۱-۵) روش های حفاری تونل های مترو ۷۳۳
۲-۵) روش های حفاری ایستگاه های مترو ۷۳۳
۳-۵) روش های روسازی خطوط ریلی درتونل ها ۷۴۰
۶- پری آنالیز تونل ها ۷۴۳
۱-۶) مقدمه ۷۴۳
۲-۶) پری آنالیز پیمایش داخل تونل ۷۴۳
۷- ایجاد نقاط رفرنس ۷۵۰
۱-۷) مقدمه ۷۵۰
۲-۷) ایجاد نقاط رفرنس بر روی زمین ۷۵۰
۳-۷) ایجاد نقاط رفرنس در زیر زمین ۷۵۴
۴-۷) اجستمنت پیمایش های زیر زمینی ۷۶۰
۵-۷) تعیین ارتفاع نقاط در زیر زمین ۷۷۰

۸- تعیین امتداد در زیرزمین ۷۷۳
۸-۱) مقدمه ۷۷۳
۸-۲) انتقال امتداد به زیر زمین ۷۷۳
۸-۳) تعیین امتداد در زیر زمین ۷۷۹
۹- هدایت و کنترل حفاری تونل ۷۹۰
۹-۱) مقدمه ۷۹۰
۹-۲) پیاده کردن خط کنتور ۷۹۱
۹-۳) کنترل مقاطع حفاری شده ۷۹۲
۹-۴) پیاده کردن لاینینگ تونل ۷۹۷
۹-۵) کنترل محور سینه کار حفاری شده ۷۹۹
۹-۶) پیاده کردن ابنیه های زیر زمینی ۸۰۴
۱۰- محاسبه احجام حفاری تونل ۸۰۸
۱۰-۱) مقدمه ۸۰۸
۱۰-۲) ترسیم مقاطع حفاری ۸۰۸
۱۰-۳) محاسبه احجام حفاری ۸۱۴
۱۰-۴) انواع احجام حفاری ۸۱۶
۱۱- ماشین حفاری تونل (TBM) ۸۱۸
۱۱-۱) مقدمه ۸۱۸
۱۱-۲) ویژگی های TBM ۸۱۸
۱۱-۳) اجزای کلی TBM ۸۱۹
۱۱-۴) انواع TBM ۸۲۱
۱۱-۵) مراحل انجام حفاری با TBM ۸۲۳
۱۱-۶) مراحل هدایت پیشروی TBM ۸۲۶
۱۱-۷) نرم افزارهای هدایت پیشروی TBM ۸۳۰
۱۱-۸) آموزش نرم افزار PPS ۸۳۴

فصل سیزدهم — ژئوماتیک کارگاهی

۱- مقدمه ۸۵۶
۲- انواع پروژه ها ۸۵۷
۲-۱) تقسیم بندی کلی پروژه ها ۸۵۷
۲-۲) تقسیم بندی پروژه ها از منظر ژئوماتیک ۸۵۸
۳- مراحل انجام پروژه ها ۸۵۹
۳-۱) مراحل کلی انجام پروژه ها ۸۵۹
۳-۲) مراحل کلی پیاده کردن سازه ها ۸۶۰
۳-۳) مراحل کلی اجرای سازه ها ۸۶۱
۴- نقشه خوانی در پروژه ها ۸۶۲
۴-۱) مقدمه ۸۶۲
۴-۲) انواع نقشه ها ۸۶۲
۴-۳) اجزای نقشه ها ۸۶۳
۴-۴) کنترل نقشه ها ۸۶۳

۵- پیاده کردن ساختمان ها ۸۶۸
۵-۱) مراحل اجرای ساختمان ها ۸۶۸
۵-۲) مراحل پیاده کردن ساختمان ها ۸۷۷
۶- پیاده کردن پل ها ۸۸۵
۶-۱) انواع پل ها ۸۸۵
۶-۲) اجزای پل های بتنی ۸۸۶
۶-۳) مراحل اجرا و پیاده کردن پل های بتنی ۸۸۷
۷- پیاده کردن سد ها ۸۹۳
۷-۱) انواع سدها ۸۹۳
۷-۲) مراحل اجرای سدهای خاکی ۸۹۶
۷-۳) مراحل پیاده کردن سدهای خاکی ۸۹۷
۸- پیاده کردن برج ها ۹۰۲
۸-۱) مقدمه ۹۰۲
۸-۲) پیاده کردن نمای ساختمان ۹۰۴
۹- پیاده کردن خطوط لوله ۹۰۸
۹-۱) انواع خطوط لوله ۹۰۸
۹-۲) مراحل اجرا و پیاده کردن خط لوله نفت ۹۰۹
۱۰- پیاده کردن سازه های صنعتی ۹۱۱
۱۰-۱) مراحل کلی اجرای سازه های صنعتی ۹۱۱
۱۰-۲) روش های نصب تجهیزات ۹۱۱
۱۰-۳) مراحل پیاده کردن سازه های اتصال ۹۱۲
۱۰-۴) ترازیابی دقیق در سازه های صنعتی ۹۱۴
۱۰-۵) مراحل پیاده کردن تجهیزات بزرگ ۹۱۵
۱۰-۶) مراحل پیاده کردن قالب لغزنده ۹۱۸
۱۱- پیمایش لوکال ۹۲۳
۱۱-۱) دستگاه مختصات لوکال ۹۲۳
۱۱-۲) مراحل ایجاد دستگاه مختصات لوکال ۹۲۳
۱۲- تحلیل محاسبات UTM در پروژه ها ۹۲۵
۱۲-۱) مقدمه ۹۲۵
۱۲-۲) اصول کلی تبدیلات UTM و Local ۹۲۵
۱۲-۳) سایت کالیبراسیون در UTM ۹۳۷
۱۳- تحلیل دقت درپیاده کردن سازه ها ۹۵۸
۱۳-۱) مقدمه ۹۵۸
۱۳-۲) دقت پیاده کردن یک سازه ۹۵۸
۱۳-۳) رابطه بین دقت های فاصله و زاویه ۹۶۲
۱۳-۴) رابطه بین دقت پیاده کردن سازه و توابع مثلثاتی ۹۶۴
۱۳-۵) رابطه بین دقت پیاده کردن سازه و تعداد بنچ مارک ها ۹۶۵
۱۳-۶) روش های عملی افزایش دقت پیاده کردن سازه ها ۹۶۶
۱۴- آشنایی با شرایط کاری درپروژه ها ۹۷۲
۱۴-۱) مقدمه ۹۷۲
۱۴-۲) پروژه و عوامل حقوقی آن ۹۷۲
۱۴-۳) انواع پیمان ها ۹۷۴
۱۴-۴) پرداخت های مالی ۹۷۷
۱۴-۵) مروری بر قوانین بیمه وکار ۹۸۳

۱۴-۶) حیطه کاری واحد ژئوماتیک ۹۸۵
۱۴-۷) چالش های فنی ژئوماتیک ۹۸۹
۱۴-۸) چالش های کلی ژئوماتیک ۹۹۲
۱۴-۹) سازمان های مرتبط با مهندسی ژئوماتیک ۹۹۵
۱۴-۱۰) گرایش های تحصیلی مرتبط با مهندسی ژئوماتیک ۹۹۶
۱۵- جمع بندی مطالب فصل ۹۹۷

فصل چهاردهم ضمایم

۱- واحدهای اندازه گیری ۱۰۰۲
۲- ابعاد شیت های استاندارد ۱۰۰۴
۳- حروف الفبای یونانی ۱۰۰۵
۴- نماد سیگما ۱۰۰۶
۵- اتحادهای جبری ۱۰۰۷
۶- مساحت و حجم اشکال هندسی ۱۰۰۸
۷- مثلثات درصفحه ۱۰۱۰
۸- مثلثات کروی ۱۰۱۸
۹- مشتق توابع ۱۰۲۷
۱۰- انتگرال نامعین توابع ۱۰۳۲
۱۱- بسط توابع ۱۰۳۴
۱۲- خطی سازی توابع ۱۰۳۶
۱۳- تبدیلات خطی توسط ماتریس ها ۱۰۳۸
۱۴- مروری بر نرم افزار Maple ۱۰۴۳
۱۵- واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۴۶
۱۶- فهرست مراجع ۱۰۵۴