گام به گامِ پروژه‌ی راهسازی

با استفاده از نرم‌افزار

AutoCAD Land Development and Civil Design

ویرایش

- انتقال سریع نقاط از نقشه‌ی توپوگرافی به نرم‌افزار
- طراحی دستی و کامپیوتری قوس‌های کلوتئید
- طراحی دستی و کامپیوتری قوس‌های قائم
- به‌کارگیری عوامل ایمنی در ایجاد دید کافی در قوس‌ها
- رسم پروفیل طولی و منحنی بروکنر
- انجام محاسبات عملیات خاکی
- محاسبه‌ی فاصله‌ی حمل متوسط
- براساس ویرایش ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۴ آشتو
- قابل استفاده برای نسخه‌های قدیم و جدید نرم‌افزار
- همراه با کلیه‌ی روابط لازم برای طراحی

و مثال حل شده

به نام آفریدگار هستی

سپاس خدای را برآن‌چه که از وجود مبارکش بر ما شناسانده،
و برآن‌چه از شکرش به ما الهام فرموده،
و برآن درهای دانش که به پروردگاریش بر ما گشوده.

تقدیم به همه‌ی علاقه‌مندان به راهسازی
به‌ویژه دانشجویان بخش مهندسی عمران
دانشگاه شهید باهنر کرمان

پیشگفتار

راهسازی که یکی از گرایش‌های رشته‌ی مهندسی عمران است، در ایران پیشینه‌ی زیادی داشته است. با وجود این‌که ما ایرانیان از پیشگامان راهسازی در دنیا بودیم، اما امروزه شاهد کمبود متخصصان این رشته در کشور هستیم. عدم توجه به گرایش راه و ترابری در سال‌های اخیر و حرکت بیشتر به سمت صنعت ساختمان، سبب شد که امروزه علاوه بر کمبود نیروی کارآمد، شاهد ورود نیروهای غیرفنی در این رشته باشیم. کسب درآمدهای هنگفت در این صنعت سبب شد گروهی از سرمایه‌گذاران کشور به سمت راهسازی سوق پیدا کنند. ولی متأسفانه بعد از ورود این سرمایه‌ها به دلایلی نیروهای علمی راهسازی از این صنعت کنار گذاشته شدند و راهسازی غیرعلمی و غیراستاندارد در ایران رواج پیدا کرد. آمار زیاد تلفات جاده‌ای، کوتاه بودن عمر آسفالت راه‌ها، عدم کنترل صحیح ترافیک شهری و جاده‌ای گواه این ادعا است. امید است در آینده با تلاش و همکاری بیشتر نیروهای فنی این رشته و یاری مسئولین کشور شاهد به‌کارگیری دانش فنی در این صنعت باشیم.

پیشرفت تکنولوژی در همه‌ی زمینه‌ها راهسازی را نیز بی‌نصیب نگذاشت. ورود ماشین آلات، آیین‌نامه‌ها و نرم‌افزارهای جدید این رشته را همانند سایر رشته‌های علمی، روزبه‌روز دگرگون می‌کند. در دنیای فنی و مهندسی امروز لازم است علاوه بر زمینه‌های تئوری، در زمینه‌ی استفاده از نرم‌افزارهای جدید نیز متخصص بود. یکی از نرم‌افزارهای مهم در زمینه‌ی راهسازی و نقشه‌برداری نرم‌افزار AutoCAD Land Development and Civil Design است که هرساله نسخه‌های جدید آن به بازار می‌آید. بعد از ورود این برنامه، کتاب‌هایی نیز در این زمینه نوشته شده که بسیار جامع و کاربردی هستند. اما چون این کتاب‌ها به صورت کتاب مرجع چاپ شده‌اند و گاه موارد ذکر شده در آن‌ها فقط برای کارهای خاص کاربرد دارد، برآن شدیم که راهنماهایی تهیه کنیم که علاوه بر آن‌که یک پروژه‌ی کاربردی را از ابتدا تا انتها انجام دهد، شامل تحلیل داده‌های کامپیوتر و ایجاد ارتباط بین طراحی دستی و نرم‌افزاری نیز باشد. راهنمای حاضر اولین نسخه‌ی این سری است که یک پروژه‌ی راهسازی را به صورت تئوری و گام به گام توضیح داده و با نرم‌افزار انجام می‌دهد. به همین دلیل سعی شده مطالب در قالب درس راهسازی دوره‌ی کارشناسی ارائه شده و از پرداختن به مطالب تخصصی خودداری شود.

امید است در نسخه‌های بعدی این راهنما مطالب تخصصی‌تری را از لحاظ علمی و نرم‌افزاری ارائه کنیم. در این‌جا لازم است از جمعی از دوستانم، آقایان احسان یعقوبی، جواد شیرازی‌پور، علی شیرازی‌پور و محمدصادق تیموری که در این زمینه مرا یاری کردند و نیز اساتید گرانقدرم، مهندس جلال‌کمالی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید باهنرکرمان) و پروفسور حمید بهبهانی(استاد دانشگاه علم و صنعت ایران) کمال تشکر و سپاس را داشته باشم.

احسان آزادروش
دانشجوی کارشناشی‌ارشد راه و ترابری- دانشگاه علم و صنعت ایران
ehsan_azadravesh142@yahoo.com
فروردین ۸۶

فهرست

ساخت پروژه در محیط نرم‌افزار ۵
معرفی نقاط نقشه‌ی توپوگرافی به نرم‌افزار ۵
تشکیل گروه نقاط ۹
ساخت سطح ۱۱
رسم مسیر و طراحی قوس‌های افقی ۱۳
معرفی مسیر به نرم‌افزار ۲۳
رسم کناره‌ی مسیر ۲۳
ایستگاه‌گذاری مسیر ۲۴
معرفی چند منوی مهم ۲۴
رسم ارتفاعات زمین و پروفیل طولی ۲۵
طراحی قوس‌های قائم ۲۹
برچسب زدن به قوس‌های قائم ۴۳
معرفی مسیر قائم(خط پروژه+قوس‌های قائم) به نرم‌افزار ۴۳
نمونه‌برداری از زمین برای مقاطع عرضی ۴۳
معرفی الگوی روسازی ۴۴
معرفی پارامترهای طراحی ۴۵
رسم منحنی بروکنر ۴۹
ویرایش خط پروژه ۴۹
تعیین فاصله‌ی متوسط حمل ۵۳
پرینت(چاپ) ۵۵
مراجع ۵۶

۱- ساخت پروژه در محیط نرم‌افزار

× در منوی File گزینه‌ی New را انتخاب کنید.

× صفحه‌ای با عنوان New Drawing: Project Based باز می‌شود.

× در قسمت Name، نامی برای Drawing تایپ کنید.

× گزینه‌ی Create Project را کلیک کنید.

× صفحه‌ای با عنوان Project Details باز می‌شود.

× در قسمت Prototype بجای Feet، گزینه‌ی Meters را انتخاب کنید.

× در قسمت Project Information، نام و توصیف و کلمه‌ی کلیدی را به دلخواه وارد کنید.

× در قسمت Drawing Path، گزینه‌ی Project "DWG" Folder به صورت پیش‌فرض تیک‌دار است، آن را تغییر ندهید

× Ok را کلیک کنید.

× در صفحه‌ی New Drawing: Project Based نیز Ok را کلیک کنید.

× صفحه‌ای با عنوان Create Point Database باز می‌شود که نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی موردنیاز برای نام و توصیف نقاط است. Use Point Names را تیک‌دار کرده و صفحه را Ok کنید.

× صفحه‌ای با عنوان Load Setting باز می‌شود. Next را کلیک کنید.

× در صفحه‌ی Units، در قسمت Linear Units،گزینه‌ی Meters و در قسمت Angle Display Style، گزینه‌ی North Azimuths را انتخاب کنید. در صورت مشاهده‌ی پیغام اخطار، آن را Ok کرده و صفحه را Next کنید.

× در صفحه‌ی Scale، گزینه‌ی Custom را برای مقیاس افقی و قائم در قسمت Drawing Scale انتخاب کنید. حال مقیاس افقی نقشه‌ی توپوگرافی و در نتیجه ۱۰ برابر آن را برای مقیاس قائم درنظرگرفته و مطابق مثال وارد کنید. مثال: فرض کنید مقیاس افقی ۱:۵۰۰۰ است. در کادر Horizontal عدد ۵۰۰۰ و برای مقیاس قائم که ۱:۵۰۰ محسوب می‌شود در کادر Vertical عدد ۵۰۰ را وارد کنید. صفحه را Next کنید.

× در صفحه‌ی Zone از منوی Categories، ناحیه‌ی ایران را انتخاب و صفحه را Next کنید.

× صفحه‌ی Orientation را Next کنید.

× در صفحه‌ی Text Style، در منوی Style Set Name، گزینه‌ی milli.stp را انتخاب و سپس 5MM را انتخاب و صفحه را Next کنید.

× صفحه‌ی Border را Next کنید.

× در صفحه‌ی Save Setting، نامی برای فایل اطلاعات وارد شده انتخاب کرده و گزینه‌ی Save را کلیک کنید. به این ترتیب اگر دوباره مایل بودید پروژه‌ای با همین مشخصات بسازید، در همان ابتدای مراحل ساخت که در بالا ذکر شد، در صفحه‌ی Load Setting روی همان نام کلیک کرده و گزینه‌ی Load را فشار دهید. در پایان Finish را کلیک کنید و بعد از چک‌کردن پیغام ظاهر شده، آن را Ok کنید. حال در صفحه‌ی اصلی منوی File> Save قرار بگیرید تا اطلاعات ذخیره شود. با این عملیات محیط پروژه‌ی ما در محیط نرم‌افزار ساخته شد.

۲- معرفی نقاط نقشه‌ی توپوگرافی به نرم‌افزار

برای این کار روش‌های متعددی مثل وارد کردن دستی نقاط در محیط نرم‌افزار Land یا در محیط برنامه‌های Excel و Access، استفاده از برنامه‌های تبدیل تصویر اسکن شده به بردار و روش اسکن مستقیم وجود دارد که در این‌جا روش

اسکن مستقیم آمده است. ابتدا قسمتی از نقشه‌ی توپوگرافی شامل نقاط اجباری و محدوده‌ی اطراف آن را اسکن می‌کنیم. بهتر ابتدا این محدوده را با یک مستطیل روی نقشه مشخص کرده و سپس همین محدوده را اسکن کنید. لازم به ذکر است هرچه محدوده‌ی اسکن شده بزرگتر باشد، در مسیریابی دست کاربر بازتر است. در صورتی‌که صفحه‌ی اسکنر کوچکتر از محدوده‌ی نقشه باشد، می‌توان با دوبار اسکن کل محدوده را پوشش داد.

× حال تصویر یا تصویرهای اسکن شده را در محیط پروژه‌ی ساخته شده باز می‌کنیم:

× ابتدا از منوی Projects،گزینه‌ی Menu Palettes را انتخاب و در صفحه‌ی باز شده، Land Desktop Complete را انتخاب کرده و گزینه‌ی Load را کلیک کنید.

× در منوی Insert گزینه‌ی Raster Image را انتخاب کنید. سپس فایل نقشه‌ی اسکن شده را انتخاب و Open کنید.

× پنجره‌ای مطابق شکل۲-۱ باز می‌شود. در این پنجره گزینه‌ی Details در گوشه‌ی سمت چپ شکل۲-۱ را فشار دهید. یک قسمت در زیر پنجره اضافه می‌شود. در بخش Image size in units، عرض(Width) و ارتفاع(Height) صفحه‌ی اسکن شده را یادداشت کنید. کنترل کنید که در قسمت Current AutoCAD unit سیستم بر حسب متر(Meters) باشد.

× حال عرض و ارتفاع محدوده‌ای را که اسکن کرده‌اید از روی نقشه‌ی توپوگرافی با خط‌کش اندازه گرفته و بعد از تبدیل به واحد متر یادداشت کنید. دقت کنید که این اندازه‌گیری باید دقیقا براساس محدوده‌ی اسکن شده باشد. برای دقت بیشتر می‌توانید تصویر اسکن شده را در برنامه‌ی Microsoft Office Word اندازه‌گیری کنید. برای این کار بعد از باز کردن برنامه‌ی Word، در مسیر Tools> Options قرار گرفته و در قسمت General از جعبه‌ی کشویی Measurement Units گزینه‌ی Centimeters را انتخاب کنید. حال منوی Insert> Picture> From File را اجرا کرده و تصویر اسکن شده را انتخاب کرده و Insert را کلیک کنید. سپس روی تصویر راست کلیک کرده و قسمت Format Picture را انتخاب کنید. در صفحه‌ی باز شده Size را انتخاب کنید. در قسمت پایین پنجره‌ی باز شده در بخش Original Size، اندازه‌های دقیق تصویر برحسب سانتی‌متر آمده است. آن‌ها را یادداشت کنید.

× پنجره‌ی شکل ۲-۱ را OK کنید.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Specify insertion point <0,0>:
```

× با کلیک کردن بر روی صفحه، نقطه‌ای برای ورود تصویر انتخاب کنید.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Specify scale factor <1>:
```

× حال اعداد عرض و ارتفاع یادداشت شده را با هم مقایسه کنید. اگر عرض و ارتفاع اندازه‌گیری شده با خط‌کش روی نقشه‌ی توپوگرافی یا برنامه‌ی Word بعد از تبدیل به واحد متر با عرض و ارتفاع نوشته شده در قسمت Image size in units پنجره‌ی شکل ۲-۱ مساوی بودند، در جواب Specify scale factor <1>: کافی است Enter کنید تا عدد ۱ پذیرفته شود. ولی اگر این اعداد متفاوت بودند باید عدد عرض به دست آمده از راه اندازه‌گیری با خط‌کش یا برنامه‌ی Word را بعد از تبدیل به واحد متر بر عدد عرض یادداشت شده از پنجره‌ی شکل۲-۱ تقسیم کنید و در جواب پیغام Specify scale factor <1>: عدد حاصل از تقسیم را وارد نمایید. مثلا در بعضی حالات ممکن است عدد عرض در پنجره‌ی شکل۲-۱، عدد ۱(یک) باشد و عرض اندازه‌گیری شده با خط‌کش یا برنامه‌ی Word ۲۰سانتی‌متر یا ۰/۲متر باشد. در این حالت کافی است ۰/۲(برحسب متر) را بر ۱ تقسیم کنید که حاصل همان ۰/۲ می‌شود و این عدد را در جواب پیغام Specify scale factor <1>: در خط فرمان وارد و Enter کنید.

× به این ترتیب تصویر اسکن شده وارد محیط نرم‌افزار می‌شود. روی آن زوم کنید.

× حال از نوار ابزار AutoCAD، ابزار Polyline را انتخاب کنید.

× با دقت و با استفاده از زوم‌کردن روی تصویر، برروی منحنی‌های میزان تصویر اسکن شده و در محدوده‌ای که مسیرهای انتخابی شما برای طراحی راه عبور می‌کنند، Polyline بکشید. هرچه دقت این کار بیشتر باشد تعداد نقطه‌های خوانده شده در مراحل بعدی توسط نرم‌افزار بیشتر می‌شود.

× پس از آن‌که روی منحنی‌های میزان موردنظر تصویر اسکن شده Polyline رسم شد، تصویر اسکن را پاک کنید.

× حال کل Polylineها را Select کرده و سپس دستور Scale را اجرا کنید. برای این کار می‌توانید از آیکن Scale استفاده کنید و یا این‌که کلمه‌ی Scale را در خط فرمان تایپ کرده و Enter کنید.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Specify base point:
```

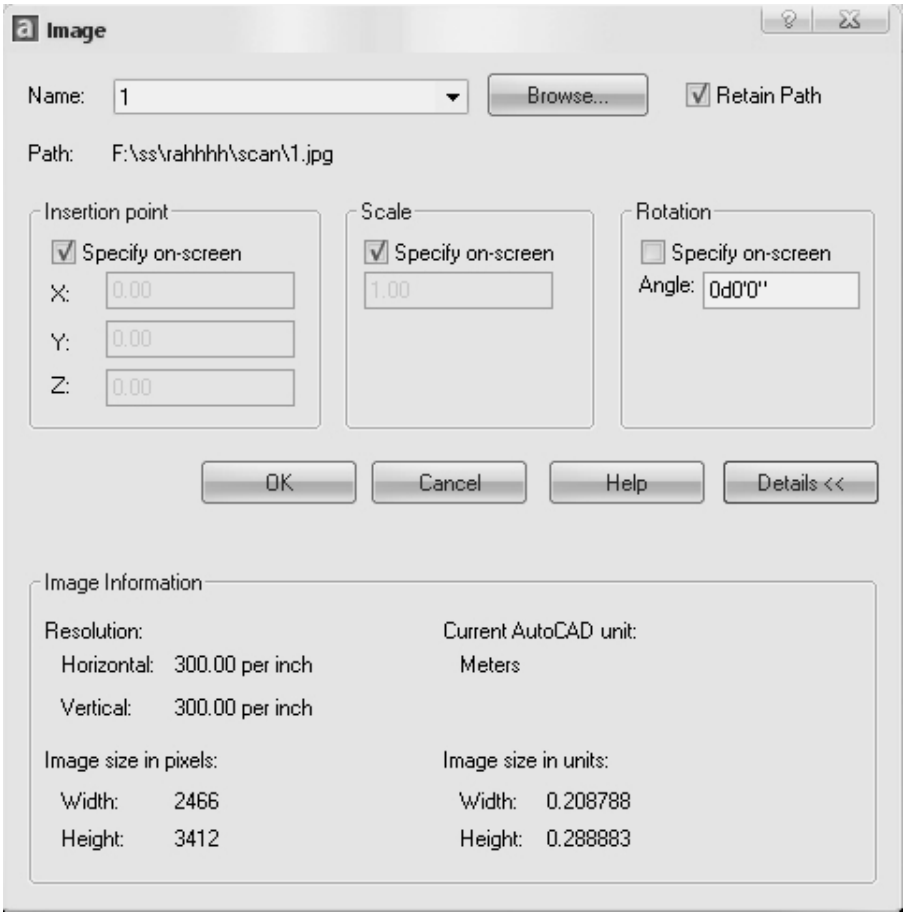
× روی نقطه‌ای از Polylineها کلیک کنید.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Specify scale factor or [Reference]:
```

× در جواب این پیغام، عدد مقیاس را وارد کنید. مثلا اگر مقیاس ۱:۵۰۰۰ است، عدد را ۵۰۰۰ وارد کرده و Enter کنید.

× دستور View> Zoom> Extents را اجرا کنید تا همه‌ی منحنی‌های میزان در صفحه دیده شوند.



شکل ۲-۱، ورود تصویر اسکن شده به محیط نرم‌افزار

× از منوی Terrain گزینه‌ی Contour Utilities و سپس گزینه‌ی Edit Elevation را انتخاب کنید. در خط فرمان پیغام انتخاب منحنی میزان ظاهر می‌شود.

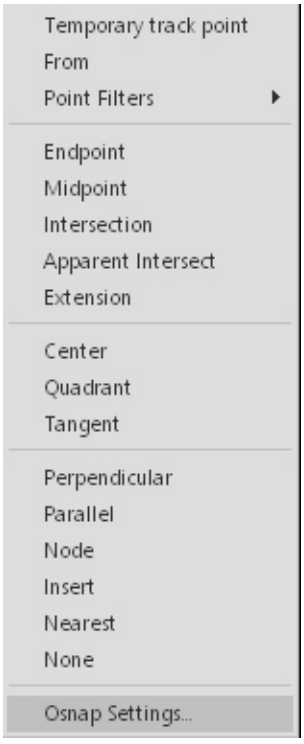
`Select contour:`

× اولین منحنی میزان را انتخاب و سپس کد ارتفاعی آن را با توجه به نقشه‌ی توپوگرافی در جواب پیغام `New elevation <0.000>:` وارد کرده و Enter کنید.

× دوباره پیغام انتخاب منحنی میزان ظاهر می‌شود. منحنی میزان بعدی را انتخاب و کد ارتفاعی آن را وارد کرده و Enter کنید. به همین ترتیب بقیه‌ی منحنی‌های میزان را ارتفاع‌دار کنید. دقت کنید که ارتفاع صحیح را با توجه به نقشه‌ی توپوگرافی وارد کنید.

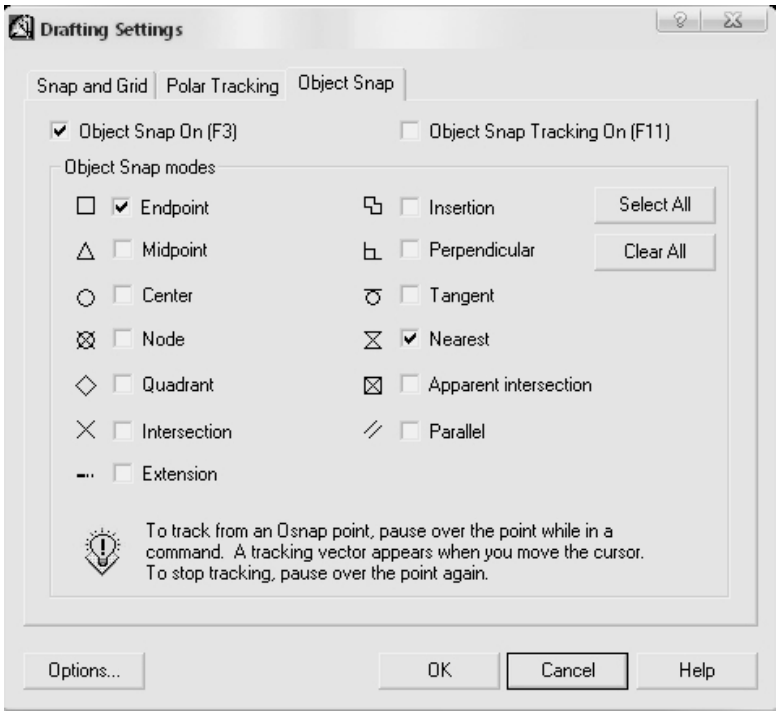
× حال در منوی Points، گزینه‌ی Create Points و سپس Polyline/Contour Vertices-Automatic را انتخاب کرده و در روی اولین منحنی میزان کلیک کنید. در ابتدای منحنی میزان یک ضربدر ظاهر می‌شود. با فشار هر بار کلید Enter نرم‌افزار یک نقطه ایجاد می‌کند. Enter را پی‌درپی کلیک کرده تا به پایان منحنی میزان برسید. حال منحنی میزان بعدی را انتخاب کنید و عملیات را تکرار نمایید.

✍ دقت کنید که برای انتخاب منحنی‌های میزان لازم است که در Osnap Setting، گزینه‌ی Nearest فعال باشد. Osnap Setting، با گرفتن Shift و راست کلیک کردن بر روی صفحه، در انتهای پنجره‌ی باز شده، ظاهر می‌شود (شکل ۲-۲). آن را انتخاب کرده و در پنجره‌ی باز شده(شکل۲-۳) Nearest و Endpoint را تیک‌دار کنید.



شکل ۲-۲

انتخاب Osnap Setting



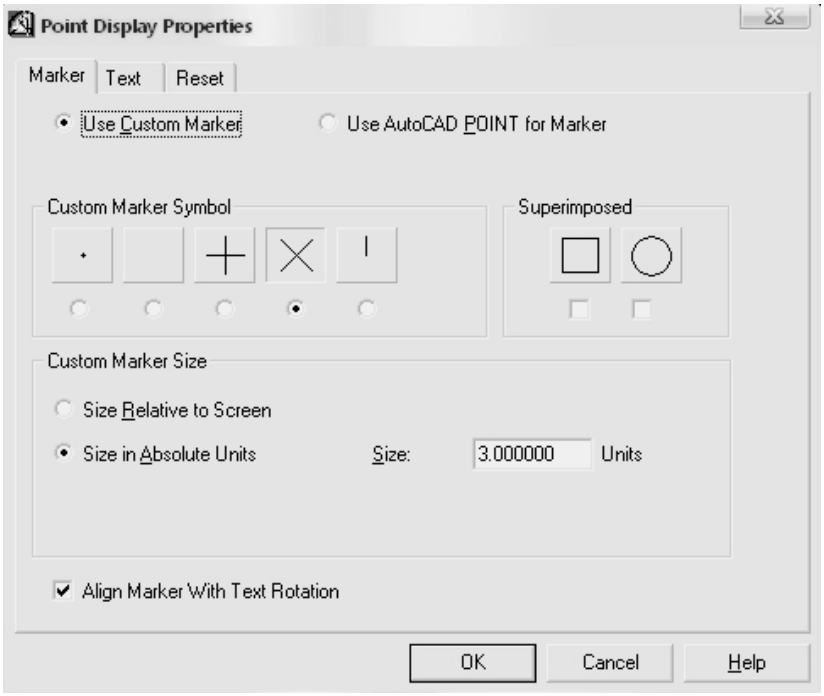
شکل ۲-۳، انتخاب Nearest

✍ می‌توان در منوی Points> Edit Points> Display Properties، با انتخاب All در خط فرمان، علامت و رنگ نقطه‌ها را طوری انتخاب کرد که بعد از ایجاد روی هر منحنی میزان، قابل مشاهده باشند(شکل۲-۴). به این ترتیب منحنی‌های میزانی که نقطه‌های آن‌ها خوانده شده از منحنی‌هایی که هنوز نقطه‌های آن‌ها خوانده نشده قابل تشخیص می‌باشند.

✍ در پنجره‌ی شکل۲-۴ در قسمت اندازه‌ی علامت(Custom Marker Size)، گزینه‌ی Size in Absolute Units را تیک‌دار کرده و در قسمت Size، عدد اندازه را وارد کنید. این مقدار بستگی به نظر کاربر دارد. با دوبار انتخاب و آزمون و خطا عدد مناسب با نظر خود را پیدا کنید.

✍ در پنجره‌ی شکل۲-۴ علاوه بر علامت نقاط(Marker)، می‌توانید در قسمت Text همین پنجره، رنگ نقاط و شیوه‌ی نمایش آن‌ها را تعیین کنید.

× بعد از اتمام خواندن نقاط، بسته به دقت کاربر در رسم Polylineها، از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ نقطه در Database نرم‌افزار ذخیره می‌شود.



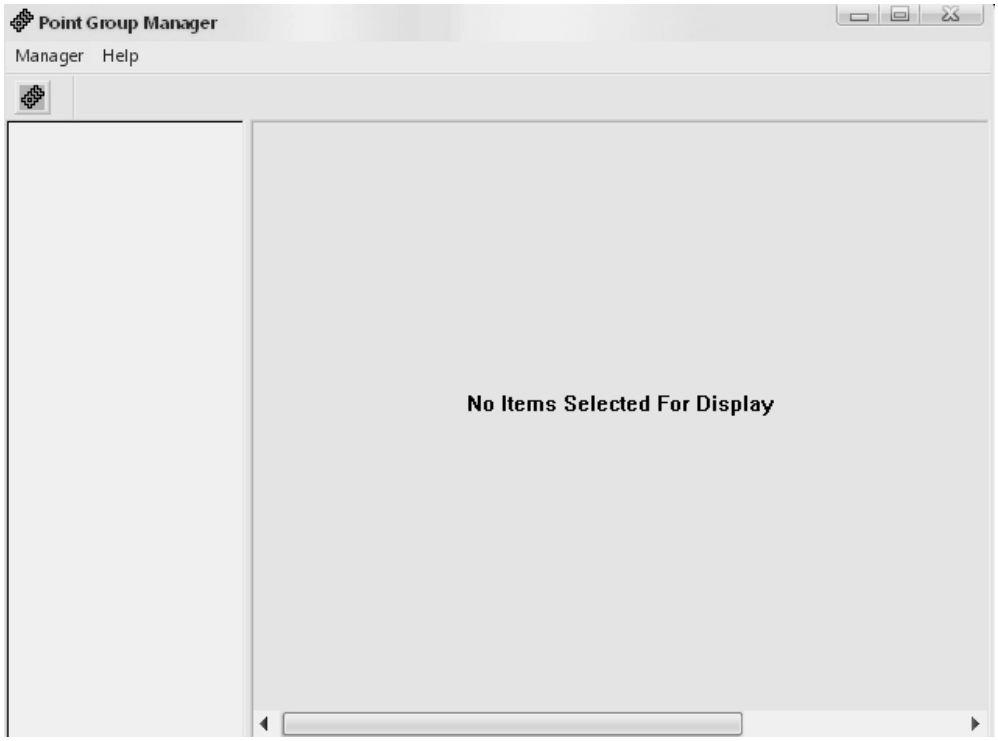
شکل ۲-۴، علامت نقاط

۳- تشکیل گروه نقاط

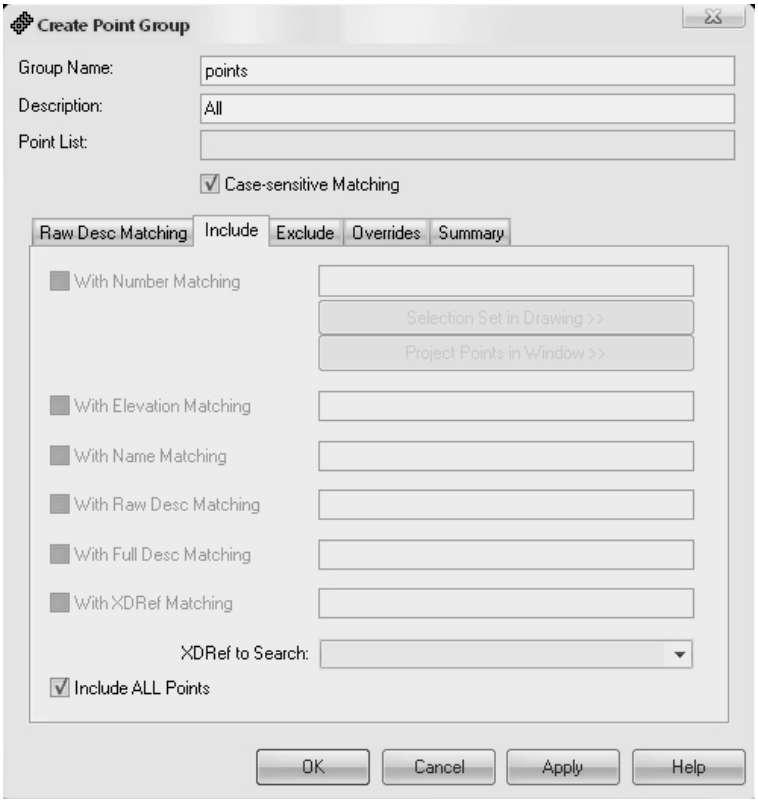
× دستور Points> Point management> Point Group Manager را اجرا کرده و در صفحه‌ی باز شده(شکل۳-۱)، دستورManager> Create Point Group را اجرا کنید. بسته به ورژن نرم‌افزار صفحه‌ی باز شده به صورت شکل۳-۲الف یا ۳-۲ب خواهد بود.

× اگر پنجره‌ی باز شده به شکل۳-۲الف است این‌گونه عمل کنید: بعد از وارد کردن نام گروه، گزینه‌ی Include را کلیک کرده و در این قسمت Include All Points را تیک‌دار کنید. سپس پنجره را OK کنید تا تمام نقاط وارد شوند. در پایان صفحه‌ی Point Group Manager را ببندید.

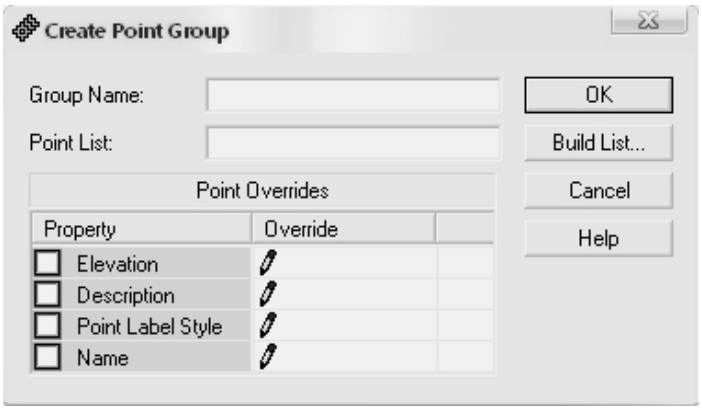
× اگر پنجره‌ی باز شده به شکل۳-۲ب می‌باشد به این صورت عمل کنید: نام گروه را به دلخـواه وارد کـرده و سـپـس Build List را کلیک کنید. در پنجره‌ی باز شده(شکل۳-۳) گزینه‌ی All Points را فعال کرده و همه‌ی صفحات را OK کرده و در پایان صفحه‌ی Point Group Manager را ببندید.



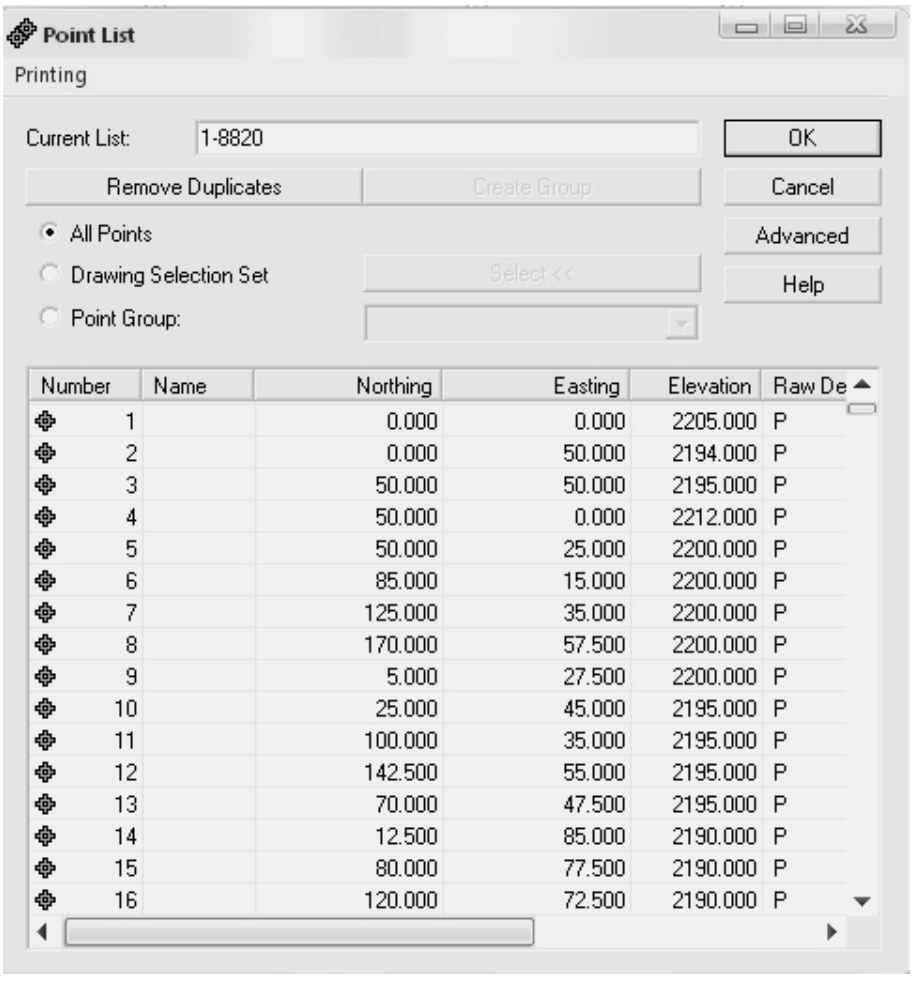
شکل ۳-۱، گروه نقاط



شکل ۳-۲الف، ساخت گروه نقاط



شکل ۳-۲ب، ساخت گروه نقاط



شکل ۳-۳، لیست نقاط

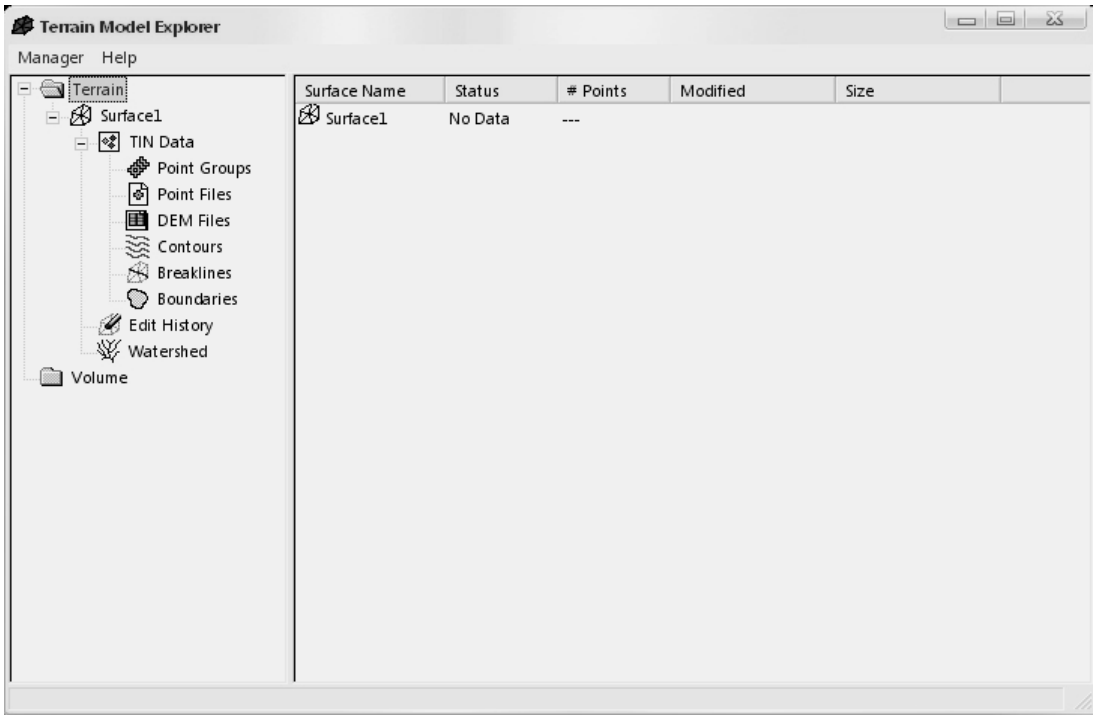
۴- ساخت سطح

× دستور Polyline را با تایپ در خط فرمان و یا با استفاده از آیکن آن اجرا کرده و دور منحنی‌های میزان یک Polyline رسم کنید. دقت کنید که ابتدا و انتهای آن دقیقا به هم برسند. برای این کار لازم است که درOsnap Setting، گزینه‌ی End Point روشن باشد. در صورتی‌که ابتدا و انتهای Polyline روی هم نیفتد، ساخت سطح امکان‌پذیر نیست.

× دستور Terrain> Terrain Model Explorer را اجرا کنید.

× در صفحه‌ی باز شده(شکل۴-۱) روی پوشه‌ی Terrain راست کلیک کرده و Create New Surface را کلیک کنید.

× روی علامت + کنار پوشه‌ی Terrain کلیک کنید تا گزینه‌ی Surface1 ظاهر شود.
× روی علامت + کنار پوشه‌ی Surface1 کلیک کنید تا گزینه‌های آن ظاهر شوند(شکل۴-۱).
× در این گزینه‌ها روی Point Groups راست کلیک کرده و Add Point Group را کلیک کنید و سپس نام گروه نقاط را که در گام پیش ساختید، انتخاب کرده و Ok کنید.
× روی گزینه‌ی Boundaries راست کلیک کرده و Add Boundary Definition را انتخاب کنید. حال در صفحه‌ی اصلی روی Polyline دور منحنی‌های میزان(که در مراحل قبلی رسم کردید)، کلیک کنید. نام دلخواه را در خط فرمان وارد کرده، Enter کنید و نوع آن را در خط فرمان Outer وارد نمایید(پیش‌فرض نرم‌افزار همان Outer است و با Enter کردن انتخاب می‌شود). پیغام ساخت Breaklines در لبه‌ها را Enter کنید(پیش‌فرض نرم‌افزار Yes می‌باشد). حال کلید Esc را زده و در پنجره‌ی شکل۴-۱ روی Surface1 راست کلیک کرده و سپس گزینه‌ی Build را کلیک کنید.
× در صفحه‌ی ظاهر شده گزینه‌ی Minimize flat triangles resulting from contour data را تیک‌دار کرده و کل صفحه را Ok کنید. پیغام Done Building Surface را Ok کنید و سپس صفحه‌ی Terrain Model Explorer را ببندید.
× نکته: درصورتی‌که بعد از ساخت سطح یا در مراحل بعد از آن که در ادامه آمده است متوجه شدید در وارد کردن ارتفاعات منحنی‌های میزان اشتباهی کردید، می‌توانید آن را این‌گونه اصلاح کنید. اگر تعداد زیادی از ارتفاعات را اشتباه وارد کردید، ابتدا در منوی Points> Edit Points> Erase قرار بگیرید و در خط فرمان All را وارد کرده و Enter کنید تا همه‌ی نقاط پاک شوند. سپس با دستور Terrain> Contour Utilities> Edit Elevation از نو کدهای ارتفاعی صحیح را وارد کنید. حال با دستور Points> Create Points> Polyline/Contour Vertices-Automatic نقاط جدید را ایجاد کنید. به این ترتیب نقاط اصلاح می‌شوند. حال گام ۳ را تکرار کرده و با این نقاط یک گروه جدید بسازید. سپس در منوی Terrain> Terrain Model Explorer قرار گرفته و در صفحه‌ی باز شده که همانند شکل ۴-۱ است، روی Points Groups کلیک کرده و در سمت راست روی نام گروه قبلی راست کلیک کرده و Remove را کلیک کنید. سپس روی Point Groups راست کلیک کرده و Add Point Group را کلیک کنید. حال نام گروه جدید را انتخاب کرده و OK کنید. در پایان روی Surface1 راست کلیک کرده و سپس گزینه‌ی Build را کلیک کنید.
پیغام Done Building Surface را Ok کنید و سپس صفحه‌ی Terrain Model Explorer را ببندید. به این ترتیب نقاط جدید در سطح وارد می‌شوند. اگر تعداد ارتفاعات اشتباه زیاد نیست، می‌توانید در منوی Points> Edit Points> Edit Points قرار گرفته و در صفحه‌ی باز شده All Points را انتخاب کرده و در قسمت Elevation، ارتفاعات را با کلیک کردن روی هر کدام و وارد کردن ارتفاع جدید تصحیح کرده و در پایان پنجره را OK کنید. شماره‌ی نقاطی که ارتفاع آن‌ها باید تصحیح شود را می‌توانید از روی منحنی‌های میزان رسم شده بردارید. برای آن‌که این شماره‌ها روی منحنی‌ها نشان داده شوند می‌توانید در شکل ۲-۴ در قسمت Text این کار را انجام دهید. همچنین می‌توانید با اجرای دستور Points> Edit Points> Erase و انتخاب Numbers در خط فرمان، شماره‌ی این نقاط را وارد کنید(مثلا می‌خواهیم نقاط ۶۲۷ تا ۷۰۳ روی یک منحنی میزان که کد ارتفاعی آن اشتباه است پاک کنیم: Point Name or Numbers <>: 624-703) و سپس Enter کنید. حال با فرمان Terrain> Contour Utilities> Edit Elevation ارتفاع منحنی میزان مربوطه را اصلاح کرده و با دستور Points> Create Points> Polyline/Contour Vertices-Automatic نقاط جدید را روی این منحنی بسازید. سپس مثل بالا دوباره گروه نقاط جدید را ساخته و همانطور که توضیح داده شد در سطح وارد کنید.



شکل ۴-۱، ساخت سطح

۵- رسم مسیر و طراحی قوس‌های افقی

× رسم مسیر: مسیریابی یکی از مهمترین مراحل پروژه‌ی راهسازی است. در این مرحله باید حداقل سه مسیر را مورد ارزیابی قرار داد و از بین آن‌ها بهترین مسیر را از نظر شرایط اقتصادی و ایمنی انتخاب گردد. قبل از انتخاب مسیرها لازم است که ابتدا روی نقشه‌ی توپوگرافی مسیرهای شکسته را رسم کنیم تا از حدود قرارگیری راستاهای مسیر مطلع شویم. همانطور که می‌دانید این کار را با روش پرگار انجام می‌دهیم. اساس کار این است که دهانه‌ی پرگار را باید به اندازه‌ای باز کرد که شیب طولی برای رفتن از یک منحنی تراز به منحنی تزار دیگر از حد مجاز بیشتر نشود. برای پیدا کردن مقدار باز کردن دهانه‌ی پرگار از فرمول مقابل استفاده کنید.

$$L_{min} = \frac{i_2 - i_1}{i}$$

در این فرمول داریم:

L_{min}= حداقل طول برای رفتن از یک منحنی تراز به منحنی تراز دیگر با حفظ شیب مجاز(متر)

i_2= رقم ارتفاعی منحنی تراز(ارتفاع بزرگتر)

i_1= رقم ارتفاعی منحنی تراز(ارتفاع کوچکتر)

i= شیب مجاز(عدد را با مقدار صدم در فرمول بگذارید. مثلا اگر i=8% باشد در فرمول عدد ۰/۰۸ را قراردهید)

فرمول بالا مقدار L_{min} را برحسب متر و در روی زمین واقعی می‌دهد. در صورتی‌که بخواهید خطوط شکسته را در محیط AutoCAD بر روی منحنی‌های تراز رسم کنید، اندازه‌ی شعاع دایره یا همان دهانه‌ی پرگار همین مقدار است. ولی اگر بخواهید خطوط شکسته را روی نقشه‌ی توپوگرافی رسم کنید از فرمول زیر استفاده کنید.

$$L_{min} = (\frac{i_2 - i_1}{i} \times \text{Scale}) \times 100$$

این فرمول همانند فرمول بالاست با این تفاوت که مقدار L_{min} را برحسب سانتی‌متر بر روی نقشه‌ی توپوگرافی می‌دهد.

در واقع برای رسم دستی خطوط شکسته دهانه‌ی پرگار را به این اندازه باز کنید. در این فرمول Scale مقیاس نقشه‌ی توپوگرافی است.

مثال:

فرض کنید می‌خواهیم در یک منطقه با شیب مجاز ۸٪ از یک خط تراز به ارتفاع ۲۱۱۰متر به خط تراز دیگری به ارتفاع ۲۱۱۵متر برویم و مقیاس نقشه ۱:۵۰۰۰ است.

درصورت رسم با AutoCAD برای شعاع دایره‌ها(یا کمان‌ها) داریم:

$$L_{min} = \frac{2115-2110}{0.08} = 62.5m$$

و با روش دستی روی نقشه‌ی توپوگرافی برای دهانه‌ی پرگار داریم:

$$L_{min} = (\frac{2115-2110}{0.08} \times \frac{1}{5000}) \times 100 = 1.25cm$$

× دقت کنید گاه در مناطقی که فاصله‌ی خطوط تراز زیاد می‌شود، کمان رسم شده خط تراز بعدی را قطع نمی‌کند. در این حالت هرکدام از شعاع‌های دایره را که تا خط تراز بعدی ادامه دهید، قابل قبول است. در مواردی که خطوط تراز به هم بسیار نزدیک می‌شوند، اغلب حالتی پیش می‌آید که کمان زده شده در فاصله‌ی نسبتا دوری از خط تراز بعدی قرار می‌گیرد و برای رفتن به خط تراز بعدی و حفظ شیب مجاز به ترانشه احتیاج داریم.

در دو مورد قبل سعی کنید شعاعی را از دایره انتخاب کنید که مسیر را به سمت نقطه‌ی اجباری و یا انتهای مسیر نزدیکتر می‌کند. مقدار L_{min} کمترین طول لازم برای حفظ شیب مجاز است، بنابراین نباید دهانه‌ی پرگار را کمتر از آن باز کرد. در روی یک منحنی تراز می‌توانید فاصله‌ای را بدون رفتن به منحنی بعدی طی کنید.

× بعد از رسم خطوط شکسته، دستور Line/Curves> Line را اجرا کرده و راستای مسیر را به‌گونه‌ای بکشید که از نقاط اجباری عبور کرده و در محدوده‌ی خطوط شکسته‌ای که با روش پرگار رسم کردید، باشد. دقت کنید که نقطه‌ی برخورد راستاهای مسیر نباید بر نقاط اجباری منطبق باشد چرا که بعد از رسم قوس‌ها، مسیر از نقاط اجباری عبور نخواهد کرد.

به طورکلی برای یک پروژه‌ی حداقل باید سه مسیر درنظرگرفت و سپس براساس یک بارم‌بندی، مسیر بهینه را انتخاب کرد. در این بارم‌بندی بسته به شرایط پروژه و براساس نظر مهندس طراح، ابتدا عوامل مؤثر در بارم‌بندی که باعث دشواری ساخت و یا کاهش ایمنی راه می‌شود را تعیین کرده و به هرکدام یک امتیاز منفی تعلق می‌گیرد. پاره‌ای از این عوامل عبارتند از: طولانی بودن راه، تعداد قوس‌ها، حجم عملیات خاکی، مخارج راه، وجود ابنیه‌ی فنی مثل پل و تونل، ارتفاع زیاد خاکبرداری و خاکریزی، تعداد شیب‌های طولی بالاتر از حد مجاز و موارد مشابه (مثلا به ازای هر کیلومتر راه ۳ امتیاز منفی یا به ازای وجود تونل ۱۰ امتیاز منفی). پس از بارم‌بندی برای هر مسیر جمع نمرات منفی محاسبه شده و مسیری که کمترین نمره‌ی منفی را دارد به عنوان مسیر بهینه انتخاب می‌شود. این موارد در هر پروژه می‌تواند متفاوت باشد و به نظر مهندس طراح بستگی دارد. لازم به ذکر است که برای بارم‌بندی لازم نیست مسیرهای نامزد شده را به طور کامل و دقیق طراحی کنید بلکه با توجه به موارد بارم‌بندی برای هر مسیر یک طراحی ساده شامل قوس‌های افقی دایره‌ای، رسم پروفیل طولی و انجام محاسبات عملیات خاکی را انجام دهید. در این مرحله(مرحله‌ی بارم‌بندی) نیاز به طراحی قوس‌های قائم و رسم منحنی بروکنر بهینه نمی‌باشد.

× طراحی قوس‌های افقی: در این مرحله قوس‌های افقی مسیر را رسم می‌کنیم. برای این کار دو روش وجود دارد:
الف) قوس ساده ب) قوس کلوتئید

الف) قوس ساده:

× دستور Line/Curves> Curve Between Two lines را اجرا کنید.

× در خط فرمان دستور انتخاب اولین مماس ظاهر می‌شود. روی مماس اول کلیک کنید.

× سپس دستور انتخاب دومین مماس ظاهر می‌شود. مماس دوم را انتخاب کنید.

× در خط فرمان نوع فاکتور طراحی پرسش می‌شود. بصورت پیش‌فرض این فاکتور، فاکتور شعاع است و کافی است Enter را فشار دهید.

```
FACTOR [Length/Tangent/External/Degree/Chord/Mid/MDist/<Radius>]:
```

× در خط فرمان مقدار شعاع خواسته می‌شود.

```
Radius:
```

× شعاع طراحی را وارد کنید. برای انتخاب شعاع حداقل از فرمول زیر استفاده کنید.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e+f)} \qquad (۱-۵)$$

× در این فرمول داریم:

V= سرعت طراحی قوس (کیلومتر بر ساعت)

e= دِوِر(برِبلندی یا حداکثر شیب عرضی در قوس)، در استاندارد ایران ۸٪، بر اساس توصیه‌ی B.C.E.O.M ۷٪ و بر اساس توصیه‌ی آشتو(براساس شرایط آب‌وهوایی) ۶٪ برای مناطق سردسیر، ۸٪ برای مناطق معتدل سرد، ۱۰٪ برای مناطق معتدل گرم و ۱۲٪ برای مناطق گرمسیر. در فرمول e را با صدم بگذارید. مثلا اگر e=8% باشد در فرمول عدد ۰/۰۸ را قرار دهید.

f= ضریب اصطکاک جانبی از جدول۵-۱

V (km/h) سرعت طراحی	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰
f ضریب اصطکاک	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹

جدول ۵-۱، ضریب اصطکاک جانبی

R_{min}= شعاع حداقل طراحی قوس برحسب متر

× از فرمول ۵-۱، حداقل شعاع طراحی محاسبه می‌شود که سعی کنید مقداری بیش‌از مقدار حاصل از فرمول ۵-۱ اختیار کنید. توجه داشته باشید هرچه شعاع قوس بزرگتر باشد، طول قوس بیشتر شده ولی مسیر کوتاه‌تر می‌گردد.

× بعد از وارد کردن شعاع موردنظر Enter کرده، قوس رسم می‌گردد.

× روابط قوس ساده به قرار زیرند:

$$T = R \tan\frac{\Delta}{2} \qquad (۲-۵)$$

$$E = R(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1) \qquad (۳-۵)$$

$$M = R(1-\cos\frac{\Delta}{2}) \qquad (۴-۵)$$

$$C = 2R\sin\frac{\Delta}{2} \qquad (۵-۵)$$

$$S = \frac{R\Delta\pi}{180} \qquad (۶-۵)$$

× در این روابط داریم(شکل۵-۱):

T= طول مماس

E= طول خارجی

M= طول میانی

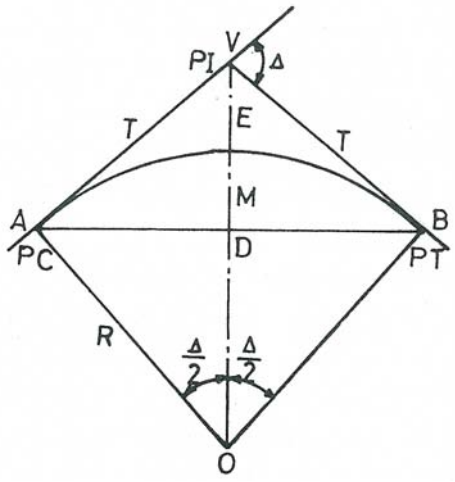
C= طول وتر(Chord)

S= طول قوس

Δ = زاویه‌ی بین دو مماس

× در شکل ۵-۱ این پارامترها نشان داده شده‌اند.

× در قسمت قوس کلوتئید یک مثال برای قوس وسط اتصال کلوتئیدی که یک قوس دایره‌ای ساده است، آمده است.



شکل ۵-۱، اجزای قوس ساده

ب) قوس کلوتئید:

× دستور Line/Curves> Create Spirals> Spiral Type را اجرا کرده و در پنجره‌ی ظاهر شده(شکل۵-۲)، Clothoid را تیک‌دار کرده و پنجره را Ok کنید.

شکل ۵-۲، نوع اسپیرال(مارپیچ)

× دستور Line/Curves> Speed Tables> Create Curves را اجرا کنید. پیغام زیر در خط فرمان ظاهر می‌شود:

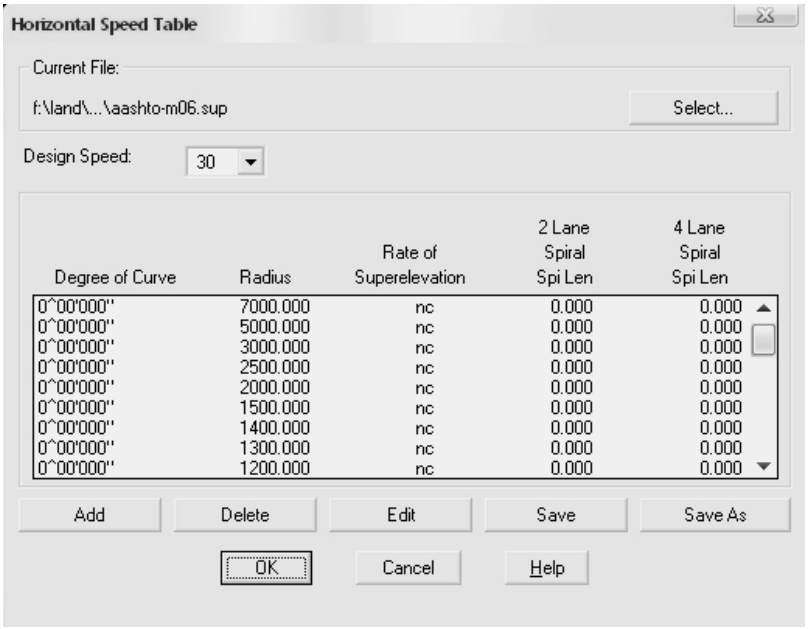
```
Select line (or POints):
```

مماس اول را انتخاب کنید. دوباره همان پیغام ظاهر می‌شود:

```
Select line (or POints):
```

حال مماس دوم را انتخاب کنید(لازم است که در Osnap Setting، گزینه‌ی Nearest فعال باشد تا براحتی مماس‌ها انتخاب شوند).

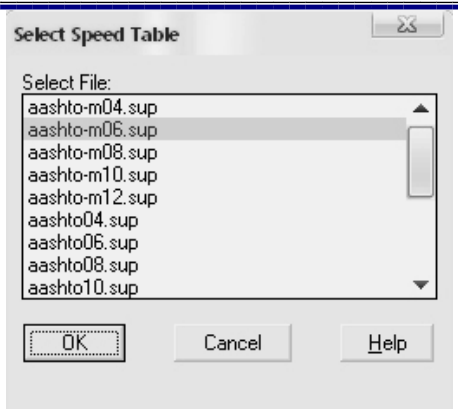
× پس از انتخاب مماس دوم پنجره‌ی Horizontal Speed Table باز می‌شود(شکل۵-۳).



شکل ۵-۳، جدول سرعت

× در بالای این پنجره گزینه‌ی Select را کلیک کرده و در پنجره‌ی Select Speed Table آیین‌نامه‌ی طراحی را انتخاب کنید(شکل ۵-۴).

× در این پنجره‌ی aashto-m06.sup به معنای استفاده از آیین‌نامه‌ی آشتو با حداکثر دِوِر ۶٪ می‌باشد. بنابراین با توجه به دِوِر حداکثر پروژه، آیین‌نامه‌ی موردنظر را انتخاب کرده و Ok کنید.



شکل ۵-۴، انتخاب جدول سرعت

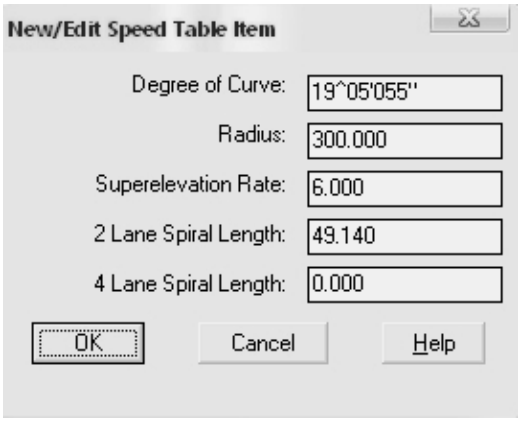
× درصورتی‌که دِوِر پروژه ۷٪ بود، یکی از آیین‌نامه‌ها را با دِوِر مثلا ۶٪ انتخاب کنید. در مراحل بعدی دِوِر را ویرایش کرده و ۷٪ یا هر مقدار دیگری که مورد نظر باشد را وارد می‌کنیم.

× لازم به ذکر است در این پنجره آیین‌نامه‌های مالزی و کانادا هم وجود دارند.

× بعد از Ok کردن پنجره‌ی Select Speed Table، به پنجره‌ی Horizontal Speed Table برمی‌گردیم.

× حال در قسمت Design Speed سرعت طراحی قوس را انتخاب کنید، مثلا ۶۰ km/h.

× گزینه‌ی Edit را انتخاب کرده تا پنجره‌ی زیر باز شود.



شکل ۵-۵، ویرایش جدول سرعت

× در این مرحله برای وارد کردن پارامترهای قوس کلوتئید، محاسبات دستی انجام می‌دهیم.

× شعاع قوس دایره‌ای وسط از فرمول زیر حساب می‌شود:

$$R_{cmin} = \frac{V^2}{127(e+f)} \qquad (۷-۵)$$

× طول اتصال کلوتئیدی را از بزرگترین مقدار دو رابطه‌ی زیر انتخاب کنید:

$$l_s = Max\begin{Bmatrix} l_{s1} = 13.65Ve \\ l_{s2} = \dfrac{0.036V^3}{R_c} \end{Bmatrix} \qquad (۸-۵)$$

× در این روابط داریم:

V= سرعت طراحی برحسب کیلومتر بر ساعت

R_c= شعاع قوس دایره‌ای وسط بر حسب متر

e= دِوِر یا بربِلندی

l_s= طول اتصال کلوتئیدی بر حسب متر

f= ضریب اصطکاک جانبی از جدول ۵-۱

× به‌طور مثال اگر V=60km/h، e=0.06، f=0.16 باشد، داریم:

$$R_{cmin} = \frac{60^2}{127(0.06+0.16)} = 128.85\text{m}$$

$$R_c = 300\text{m}$$

$$l_s = \text{Max}\begin{Bmatrix} l_{s1} = (13.65)(60)(0.06) = 49.14\text{m} \\ l_{s2} = \dfrac{0.036(60)^3}{300} = 25.92\text{m} \end{Bmatrix} \Rightarrow l_s = 49.14\text{m}$$

× حال در پنجره‌ی ویرایش جدول سرعت(شکل ۵-۵)، مقدار R_c را در قسمت Radius، مقدار دِوِر را در قسمت Superelevation Rate به صورت عدد صحیح(مثلا در دِوِر ۶٪، عدد ۶ را وارد می‌کنیم)، و مقدار l_s را در بخش 2Lane Spiral Length(برای جاده‌ی دو خطه) وارد می‌کنیم.

× در قسمت بالای پنجره، عدد درجه‌ی قوس به‌طور خودکار حساب می‌شود.

× توضیح: درجه‌ی قوس زاویه‌ی مرکزی روبرو به طول قوس ۱۰متر می‌باشد(استاندارد ایران) و در آمریکا روبرو به قوس۱۰۰ فوت، در هِند روبرو به قوس۳۰متر است. درجه‌ی قوس را با پارامتر D نشان می‌دهند و مقدار آن برابر است با:

$$\frac{10}{D} = \frac{2\pi R}{360} \Rightarrow D = \frac{572.96}{R} \qquad (۹-۵)$$

در این رابطه R برحسب متر و D برحسب درجه می‌باشد.

اگر مقدار R_c را در رابطه‌ی ۵-۹ جایگزین کنیم، داریم:

$$D = \frac{572.96}{300} = 1.91^\circ$$

حال اگر عدد محاسبه شده توسط نرم‌افزار در شکل ۵-۵ در قسمت Degree of Curve را به صورت درجه(با اعشار) بنوسیم داریم:

$$19\text{^}05'055'' \equiv 19^\circ 05'055'' = 19.1^\circ$$

همانطور که مشاهده می‌شود عدد محاسبه شده توسط نرم‌افزار ۱۰ برابر مقدار دستی می‌باشد. دلیل این امر آن است که در ابتدای کار در قسمت ساخت پروژه، واحد طول را از فوت به متر تبدیل کردیم و چون آیین‌نامه‌ی طراحی آشتو می‌باشد و درجه‌ی قوس در آمریکا زاویه‌ی مرکزی روبرو به طول قوس ۱۰۰ فوت است، با تغییر واحد طول، این عدد به ۱۰۰ متر تغییر یافته و نرم‌افزار درجه‌ی قوس را زاویه‌ی مرکزی روبرو به قوس ۱۰۰ متر محاسبه می‌کند. بنابرین کافی است عدد محاسبه شده توسط نرم‌افزار را بعد از تبدیل به درجه(با اعشار)، بر ۱۰ تقسیم کنیم تا درجه‌ی قوس در

استاندارد ایران بدست آید.

× بعد از انجام مراحل فوق پنجره‌ی شکل ۵-۵ و سپس ۵-۳ را Ok کنید و آن‌گاه در پنجره‌ی انتخاب تعداد خطوط (شکل۵-۶) که ظاهر شده، حالت دوخطه را کلیک کنید.

شکل ۵-۶، انتخاب تعداد خطوط جاده

× قوس کلوتئید رسم می‌شود.

× در این مرحله ابتدا پارامترهای قوس کلوتئید را با روش دستی محاسبه کرده و سپس با محاسبات نرم‌افزار مقایسه می‌کنیم. روابط این پارامترها در زیر آمده:

$$\theta_s = \frac{l_s D}{20} \qquad (۱۰-۵)$$

$$x_s = \frac{l_s}{100}(100 - 0.3\theta_s^{\,2}(10)^{-2} + 0.43\theta_s^{\,4}(10)^{-7} - 0.3\theta_s^{\,6}(10)^{-12} + 0.14\theta_s^{\,8}(10)^{-17}) \qquad (۱۱-۵)$$

$$y_s = \frac{l_s}{100}(0.58\theta_s - 0.13\theta_s^{\,3}(10)^{-4} + 0.12\theta_s^{\,5}(10)^{-9} - 0.05\theta_s^{\,7}(10)^{-15}) \qquad (۱۲-۵)$$

$$P = y_s - R_c + R_c\cos\theta_s \qquad (۱۳-۵)$$

$$k = x_s - R_c\sin\theta_s \qquad (۱۴-۵)$$

$$E = (R_c + P)\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) + P \qquad (۱۵-۵)$$

$$T = x_s - R_c\sin\theta_s + (R_c + E)\sin\frac{\Delta}{2} \qquad (۱۶-۵)$$

$$ST = \frac{y_s}{\sin\theta_s} \qquad (۱۷-۵)$$

$$LT = x_s - \frac{y_s}{\tan\theta_s} \qquad (۱۸-۵)$$

$$A = \sqrt{l_s R_c} \qquad (۱۹-۵)$$

× در این روابط:

R_c= شعاع قوس دایره‌ای وسط برحسب متر

D= درجه‌ی قوس برحسب درجه

l_s= طول اتصال کلوتئیدی برحسب متر

θ_s = زاویه‌ی کلوتئید برحسب درجه

x_s= طول انتهای کلوتئید نسبت به شروع کلوتئید

y_s= بعد انتهای کلوتئید نسبت به شروع کلوتئید

P= فاصله‌ی مماس تا مماس بر دایره(نشست)

k= فاصله‌ی مرکز دایره تا شروع کلوتئید

E= طول خارجی کلوتئید

T= طول مماس کلوتئید

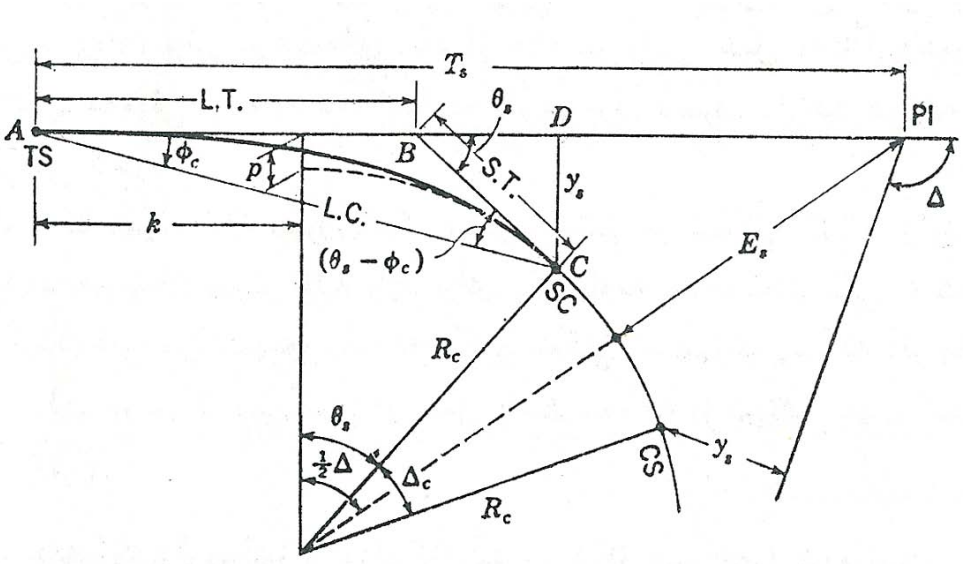
Δ = زاویه‌ی بین دو مماس

ST= مماس کوچک

LT= مماس بزرگ

A= پارامتر کلوتئید

× در شکل زیر این پارامترها نشان داده شده‌اند.



شکل ۵-۷، اجزای قوس کلوتئید

× درصورتی‌که اعداد محاسبه شده در مراحل قبلی را در روابط ۵-۱۰ تا ۵-۱۹ قرار دهیم، خواهیم داشت.

$R_c = 300\text{m}$
$l_s = 49.14\text{m}$
$D = 1.91^\circ$
$\theta_s = 4.69^\circ$
$x_s = 49.108$
$y_s = 1.337$

$P = 0.331$
$k = 24.656$
$E = 66.637$
$T = 234.859$
$ST(\text{Short Tangent}) = 16.35$
$LT(\text{Long Tangent}) = 32.81$
$A = 121.42$

× دستور Inquiry> Line/Curve/Spiral را اجرا کنید.

× در خط فرمان دستور زیر ظاهر می‌شود:

```
Select entity (or POints)
```

× روی اتصال کلوتئیدی کلیک کنید. دقت کنید که روی راستا یا قوس دایره‌ای وسط کلیک نکنید.

× دستور View> Display> Text Window را اجرا کنید. در پنجره‌ی ظاهر شده اطلاعات قوس کلوتئید آورده شده است. این اطلاعات را می‌توان بر روی یک فایل متنی(Text Document) کپی کرده و پرینت گرفت.

```
                          SPIRAL DATA: Clothoid
-------------------------------------------------------------------------------
          TS . . . .  North: 5292.752            East: -10281.870
          SPI. . . .  North: 5320.891            East: -10265.072
          SC . . . .  North: 5334.231            East: -10255.548
                            K : 24.565                P : 0.335
                            A : 121.417             Tau : 0.082
                           Xs: 49.107                Ys: 1.341
                    Long Tan : 32.772           Course: 30-50-05
                    Short Tan: 16.390           Course: 35-31-38
     Length: 49.140             Radius: 300.000          Theta: 4-41-33
```

× همانطور که دیده می‌شود مقادیر دستی با محاسبات نرم‌افزار همخوانی دارد. دقت کنید Theta همان θ_s می‌باشد.

$$\text{Theta} = \theta_s = 4^\circ 41' 36'' = 4.69^\circ$$

× حال اگر برروی قوس دایره‌ای وسط کلیک کنید. در پنجره‌ی Text Window اطلاعات قوس دایره‌ای وسط ظاهر می‌شود. از این روش برای قوس دایره‌ای ساده که در قسمت قبل آمد نیز می‌توانید استفاده کنید.

```
                                ARC DATA
-------------------------------------------------------------------------------
        Begin . . . . .  North: 5334.231            East:  -10255.548
        Radial Point. .  North: 5159.904            East:  -10011.396
         End . . . . . .  North: 5458.182            East:   -9979.298
        PI  . . . . . .  North: 5476.944            East:  -10153.649
      Tangent: 175.358           Chord: 302.784          Course: 65-50-05
   Arc Length: 317.379          Radius: 300.000           Delta: 60-36-54
```

× طول قوس، شعاع، وتر و زاویه‌ی مرکزی قوس دایره‌ای از روابط زیر قابل محاسبه‌اند. دقت کنید در این‌جا برخلاف قوس ساده، Delta (زاویه‌ی مرکزی قوس دایره‌ای وسط) با Δ (زاویه‌ی بین دو مماس) مساوی نیست و داریم:

$$\text{Delta} = \Delta - 2\theta_s$$

$$\text{Delta} = 70 - 2(4.69) = 60.62^\circ$$

$$\text{Delta} = 60^\circ 36' 54'' = 60.615^\circ$$

$$\text{C(Chord)} = 2R_c \sin\frac{\text{Delta}}{2} \qquad \text{S} = \text{Arc Lenght} = \frac{\pi(\text{Delta})(R_c)}{180}$$

$$\text{T(Tangent)} = R_c \tan\frac{\text{Delta}}{2} \qquad C = 2(300)\sin\frac{60.62}{2} = 302.807 \qquad S = \frac{\pi(60.62)(300)}{180} = 317.406$$

$$T = 300\frac{60.62}{2} = 175.376$$

× همانطور که مشاهده می‌شود در این‌جا نیز محاسبات دستی و نرم‌افزاری همخوانی دارند.

۶- معرفی مسیر به نرم‌افزار

× دستور Alignments> Define From Objects را اجرا کرده و در نزدیکی ابتدای مسیر، روی مسیر کلیک کنید (لازم است که در Osnap Setting، گزینه‌ی Nearest فعال باشد تا مسیر براحتی انتخاب شود).

× در ابتدای مسیر علامت ضربدر ظاهر می‌شود.

× دقت کنید که علامت ضربدر باید در ابتدای مسیر باشد. درصورتی‌که این علامت در میانه‌ی مسیر ظاهر شد، دستور تعریف مسیر را از اول اجرا کرده و سعی کنید در نزدیکی ابتدای مسیر روی مسیر کلیک کنید.

× حال به ترتیب تکه‌های دیگر مسیر را انتخاب کنید. با انتخاب هر قسمت، بخش انتخاب شده خط‌چین می‌شود.

× دقت کنید که قوس‌های کلوتئید شامل سه قسمت مجزا هستند(اتصال کلوتئیدی- قوس دایره‌ای- اتصال کلوتئیدی). برای دقت کافی سعی کنید در حالت زوم شده انتخاب‌ها را انجام دهید تا هیچ بخشی از قلم نیفتد.

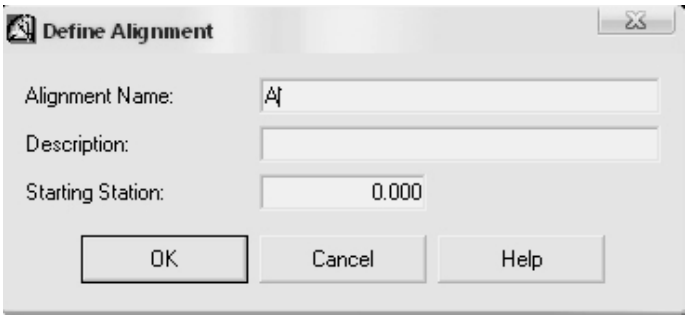
× بعد از انتخاب کل مسیر Enter را فشار دهید.

× در خط فرمان دستور زیر ظاهر می‌شود:

```
Select reference point (Enter for start):
```

× یک بار دیگر Enter را فشار دهید.

× پنجره‌ای مطابق شکل۶-۱ باز می‌شود.



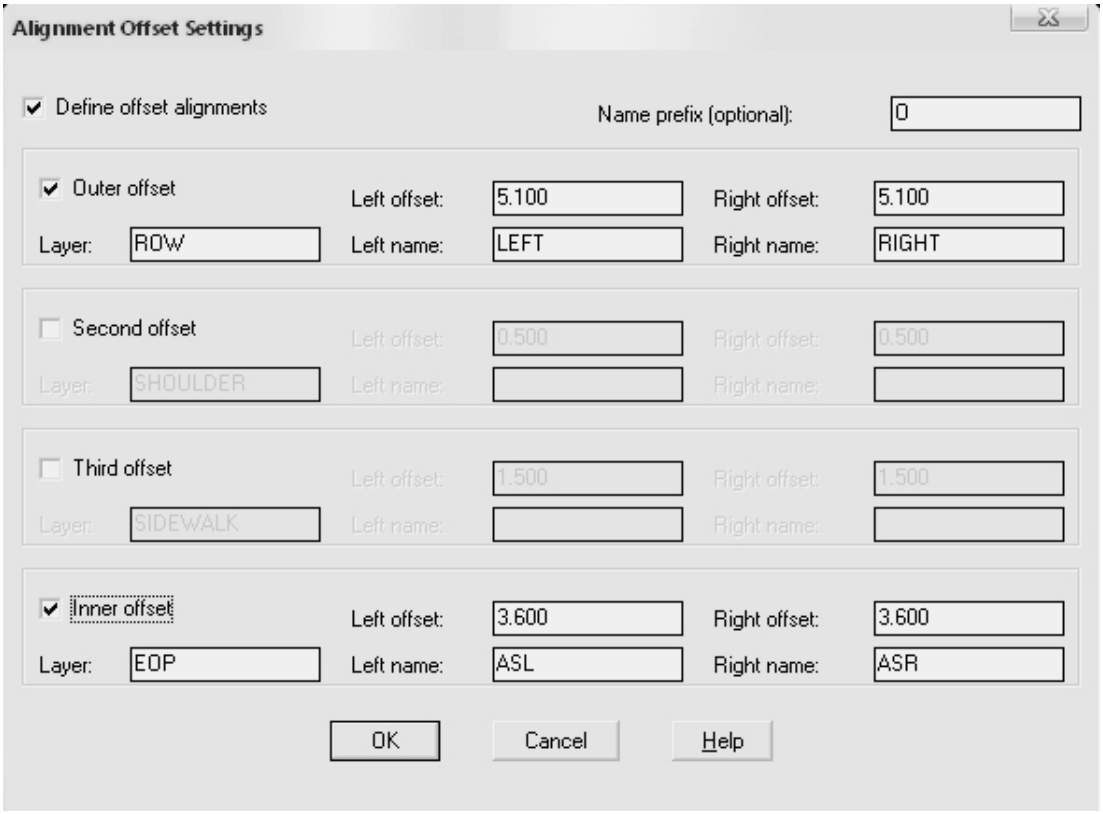
شکل۶-۱، تعریف مسیر افقی

× در پنجره‌ی ظاهر شده با نام Define Alignment، نام و توصیف مسیر را به دلخواه وارد کرده و کیلومتراژ شروع مسیر که بصورت پیش‌فرض، 0.000 است را تغییر ندهید. پنجره را Ok کنید.

× کیلومتراژ ابتدا و انتهای مسیر در خط فرمان ظاهر می‌شود.

۷- رسم کناره‌ی مسیر

× دستور Alignments> Create Offset را اجرا کرده و در پنجره‌ی ظاهر شده(شکل۷-۱)، Outer offset را تیک‌دار کرده و سپس در بخش offset چپ و راست آن، مقدار نصف عرض مسیر را وارد کنید. مثلا اگر عرض کل مسیر ۱۱ متر است در هر قسمت عدد ۵/۵ را وارد کنید. حال قسمت Inner offset را تیک‌دار کرده و برای چپ و راست، نصف عرض کل آسفالت را وارد کنید. مثلا اگر عرض کل آسفالت ۷/۲ متر است برای هر بخش عدد ۳/۶ را وارد کنید.



شکل۷-۱، تعریف کناره‌ی مسیر

۸- ایستگاه‌گذاری مسیر

× دستور Alignments> Station Label Setting را اجرا کرده و در پنجره‌ی ظاهر شده(شکل۸-۱)، Perpendicular labels را تیک‌دار کرده و در قسمت Station label increment و Station tick increment فاصله‌ی برچسب‌زنی ایستگاه‌ها را وارد کنید. معمولا در دشت ۵۰متر به ۵۰متر، در کوهستان ۲۰متر به ۲۰متر و در قوس‌ها ۱۰متر به ۱۰متر. وارد کردن عدد ۱۰، یعنی ۱۰ متر به ۱۰ متر ایستگاه‌گذاری شود.

× دستور Alignments> Create Station Labels را اجرا کرده و سه بار Enter کنید.

× مسیر برچسب‌گذاری می‌شود. لازم به ذکر است که اگر کاربر بخواهد اندازه‌ی متن را در منوی Format> Text Style عوض کند، برای این‌که این تغییر روی برچسب ایستگاه‌ها اعمال شود باید دستور Alignments> Create Station Labels را دوباره اجرا کند.

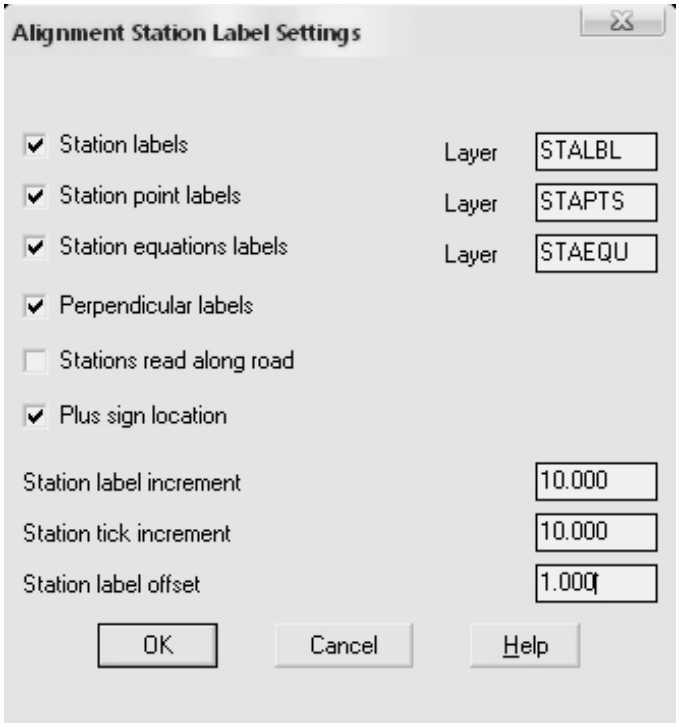
۹- معرفی چند منوی مهم

× Alignments> Set Current Alignment: هر بار که برنامه یا پروژه را می‌بندید و دوباره می‌خواهید وارد پروژه شوید باید این دستور را اجرا کنید و پس از Enter کردن در صفحه‌ی باز شده مسیر خود را انتخاب کرده و OK کنید.

× Terrain> Set Current Surface: در هر ورود جدید به پروژه لازم است پس از اجرای دستور در پنجره‌ی باز شده سطح ساخته شده را انتخاب و OK کنید.

× Alignments> Alignment commands> Multiple Selections: برای پاک کردن یک یا چند مسیر از نرم‌افزار

× View> Regen All: برای برگرداندن اشکال به حالت اولیه‌ی خود. درصورتی‌که قوس‌های مسیر حالت شکسته داشتند از این دستور استفاده کنید تا به حالت اول برگردند.



شکل۸-۱، برچسب‌زنی مسیر

۱۰- رسم ارتفاعات زمین و پروفیل طولی

× دستور Projects> Menu Palettes را اجرا کرده و در صفحه‌ی باز شده، Civil Design را انتخاب کرده و گزینه‌ی Load را کلیک کنید.

× دستور Profiles> Profile Setting> Sampling را اجرا کرده و در پنجره‌ی باز شده در قسمت Sample offset tolerance عدد ۰/۵ را وارد کنید. در بخش Sample lines، گزینه‌ی Import را بدون تیک کنید تا لایه‌های زیاد این قسمت وارد منوی لایه‌ها نشود. قسمت Sample left/right را تیک‌دار کرده و برای offset چپ و راست، برای هر کدام نصف عرض کل راه را وارد کنید(شکل۱۰-۱). پنجره را Ok کنید.

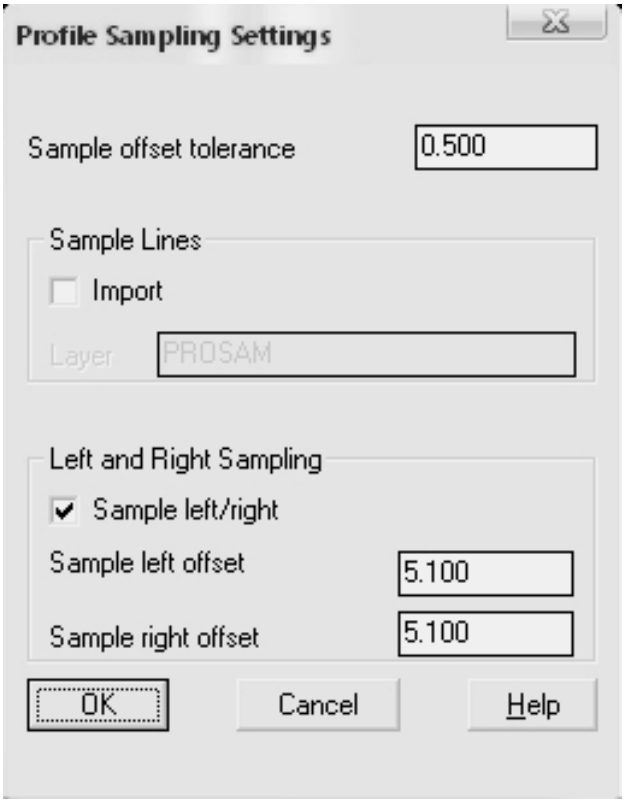
× دستور Profiles> Profile Setting> Labels and Prefix را اجرا کرده و در قسمت Layer Prefix ابتدا یک * (ستاره) وارد کرده و سپس نام دلخواه را وارد کنید(مثلا Profile*)

× دستور Profiles> Existing Ground> Sample From Surface را اجرا کرده و پنجره‌ی ظاهر شده را Ok کنید. در خط فرمان پرسش ایستگاه ابتدا و سپس انتهای مسیر ظاهر می‌شود. هر دو را Enter کنید.

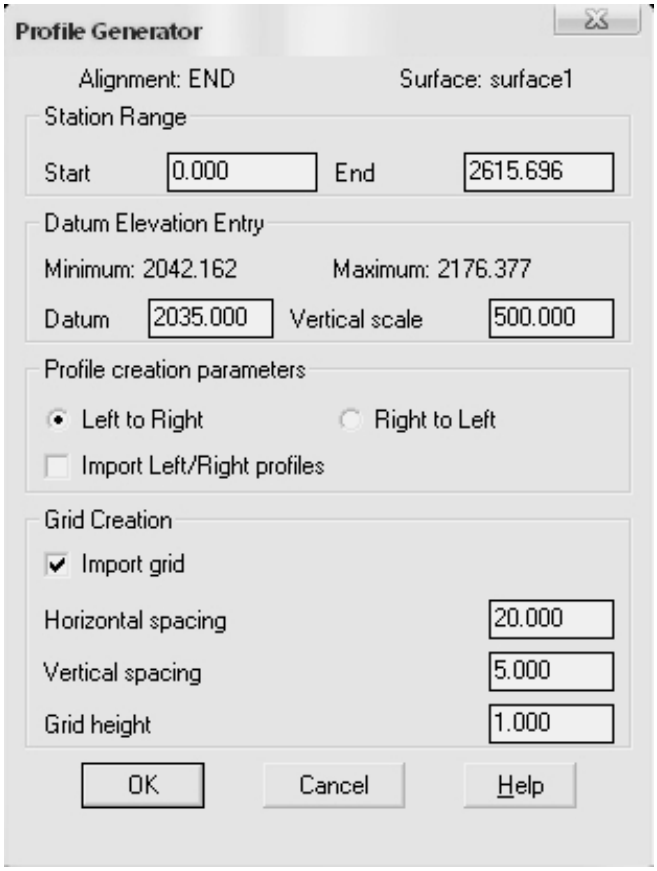
× اگر پیغام Vertical alignment already exists, retain finish surfaces? ظاهر شد، روی گزینه‌ی Yes کلیک کنید.

× در خط فرمان پیغامی مبنی بر نمونه‌برداری از مسیر ظاهر می‌شود.

× دستور Profiles> Create Profile> Full Profile را اجرا کرده. در بخش Profile Creation Parameters گزینه‌ی Left to Right را تیک‌دار کرده(برای رسم پروفیل از چپ به راست) و Import Left/Right Profile را بدون تیک کنید (در صورت تیک‌دار کردن این گزینه نرم‌افزار سه پروفیل خط وسط، چپ و راست راه را رسم می‌کند). گزینه‌ی Import Grid را تیک‌دار کرده و فاصله‌ی افقی، قائم و ارتفاع گریدها را برحسب نظر خود برای پرینت گرفتن، وارد کنید. به‌عنوان راهنما می‌توانید ترتیب ۲۰ ، ۵ و ۱ را وارد کنید(شکل۱۰-۲). بعد از وارد کردن اعداد، پنجره را Ok کنید.



شکل۱۰-۱،تنظیمات پنجره‌ی نمونه‌برداری از مسیر



شکل۱۰-۲، ساخت پروفیل

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

`Select starting point:`

× نقطه‌ی شروع پروفیل را روی صفحه با یک بار کلیک موس انتخاب کرده(دقت کنید این نقطه را در جایی انتخاب کنید که روی آنچه قبلا در صفحه رسم شده، نباشد) و در خط فرمان در پاسخ به سوال پاک کردن پروفیل‌های قبلی، No را تایپ کرده و Enter کنید(اگر قبلا پروفیل طولی رسم کرده باشید با فرمان Yes به جای No می‌توانید آن را پاک کنید).

× وضعیت زمین طبیعی توسط نرم‌افزار رسم می‌شود.

× نکته: اگر بعد از رسم پروفیل عوارض زمین تغییری در نقاط یا ارتفاعات منحنی‌های میزان انجام شد و مطابق نکته‌ی صفحه‌ی ۱۲ این تغییرات را وارد و سطح را دوباره ساختید، لازم است گام ۱۰(رسم ارتفاعات زمین و پروفیل طولی) را برای سطح جدید دوباره تکرار کنید.

× در صورتیکه شماره‌ی ایستگاه‌ها در هم رفته است، می‌توانید یکی از شماره‌ها را با دستور Rotate چرخانده و سپس با دستور Match Properties همه‌ی شماره‌ها را بچرخانید.

× بعد از رسم پروفیل عوارض زمین، نوبت به رسم خط پروژه می‌رسد.

× در این مرحله برای رسم خط پروژه دو روش وجود دارد. ۱- روش دستی ۲- روش کیلومتراژ ایستگاه‌ها

× قبل از توضیح این روش‌ها لازم است در کشیدن خط پروژه نکات زیر را در نظر بگیرید:

۱- شیب‌های خط پروژه از حدود مجاز تجاوز نکند.

۲- در زمین‌های مسطح حداقل شیب طولی رعایت شود.

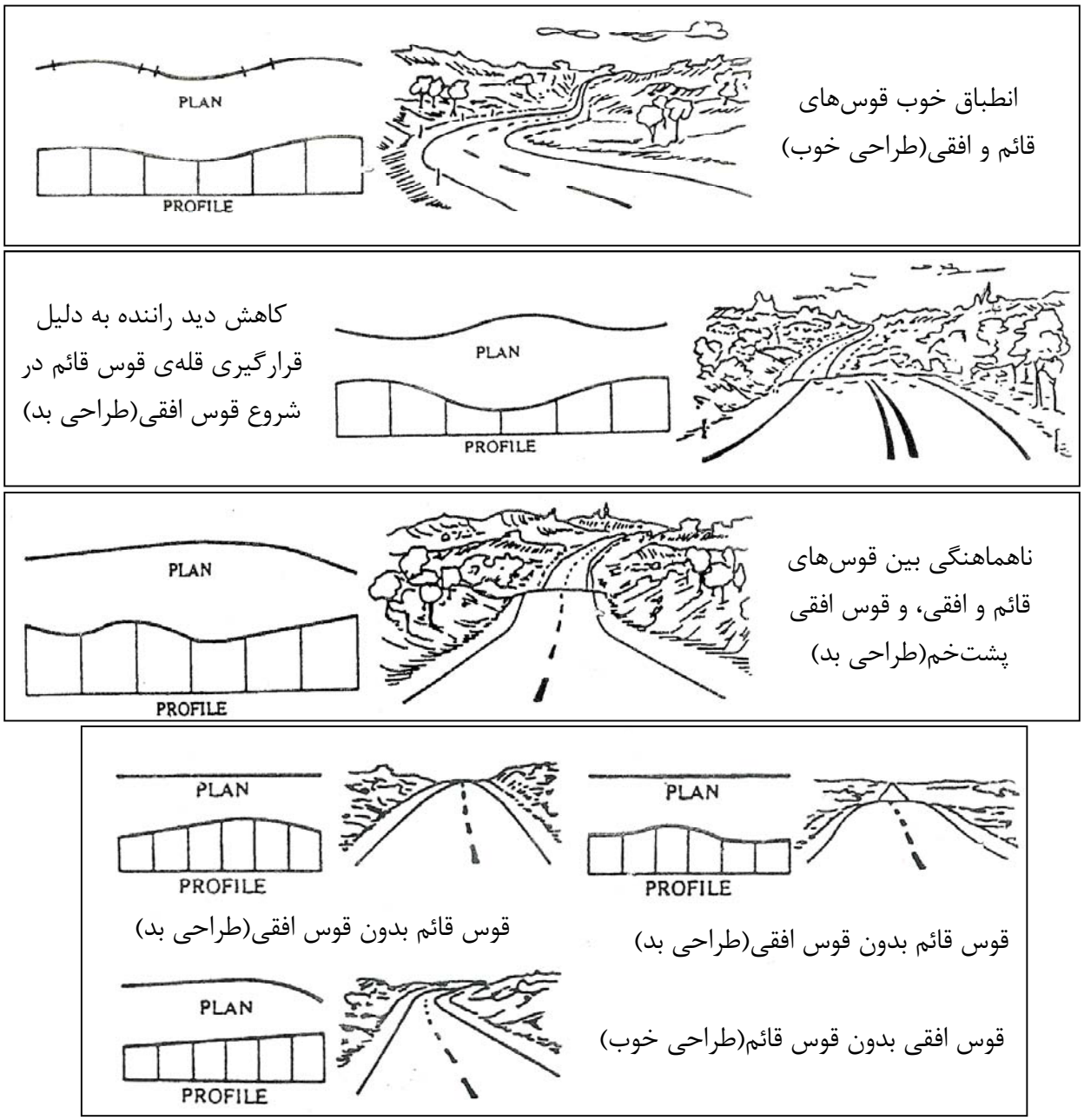
۳- خط پروژه از نقاط اجباری پروژه بگذرد.

۴- برای ایجاد دید بهتر سعی کنید قوس قائم در محدوده‌ی قوس افقی قرار گرفته و بر آن منطبق شود.

۵- قوس‌های قائم روی قوس‌های کلوتئید قرار نگیرند(ولی قوس‌های قائم می‌توانند روی قوس ساده‌ی دایره‌ای قرار گیرند).

۶- از قرارگرفتن شروع قوس‌های افقی تیز در قوس قائم پرهیز کنید.

۷- بین خاکبرداری و خاکریزی تا حدودی تعادل برقرار باشد.



شکل۱۰-۳، طراحی خوب و بد قوس‌های قائم و افقی

× دستور Profiles> FG Centerline Tangents> Create Tangents را اجرا کنید. در خط فرمان پیغام‌های زیر ظاهر می‌شود. آن‌ها را یکی‌یکی Enter کنید.

```
Select point (or Station):
Station <0.000>:
Elevation <2170.000>:
```

× خطی که با موس هدایت می‌شود به ابتدای پروفیل عوارض زمین متصل می‌شود.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Select point [Station/eXit/Undo/Length]:
```

۱- روش دستی:

× پیغام Select point [Station/eXit/Undo/Length]: را که نقطه‌ی بعدی خط پروژه را طلب می‌کند، مستقیما با انتخاب نقطه در صفحه پاسخ می‌دهیم. نحوه‌ی کار به این شرح است:

خطی که در صفحه دیده می‌شود و ابتدای آن به ابتدای پروفیل عوارض زمین متصل است، همان خط پروژه است که با کلیک موس در هرنقطه روی پروفیل ثابت می‌شود. بنابراین قادر خواهید بود با کلیک موس روی ایستگاه‌های موردنظر خط پروژه را رسم کنید. ولی لازم است قبل از این کار ابتدا کیلومتراژ ایستگاه‌های ابتدا و میانه و انتهای قوس‌های افقی ساده یا کلوتئید و نقاط اجباری پروژه را از روی پلان یادداشت کرده و سپس با توجه به کیلومتراژ این ایستگاه‌ها و موارد ۳ تا ۷ خط پروژه را رسم کنید. موارد ۱و۲ را در گام ۱۸ کنترل و ویرایش می‌کنیم. نقاط شکستگی خط پروژه یا همان نقاط تغییر شیب محل قوس‌های قائم هستند که در گام ۱۱ طراحی می‌شوند. لازم به ذکر است که رسم خط پروژه از مهمترین قسمت‌های پروژه‌ی راهسازی است و به دقت زیادی احتیاج دارد. درضمن در رسم دستی روشن بودن Nearest و Endpoint در صورت نیاز می‌تواند مفید باشد. وقتی به پایان پروفیل رسیدید Enter کنید.

۲- روش کیلومتراژ ایستگاه‌ها: بعد از آن‌که پیغام Select point [Station/eXit/Undo/Length]: در خط فرمان ظاهر شد، حرف S را در خط فرمان تایپ کرده و Enter کنید. پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Enter station: 1495
```

کیلومتراژ ایستگاه موردنظر را وارد کنید. پیغام بعدی وارد می‌شود:

```
Select point [Grade/Elevation/Undo/eXit]:
```

اگر حرف G را وارد کرده و Enter کنید نرم‌افزار شیب خط پروژه را بین ایستگاه اول و این ایستگاه طلب می‌کند: Grade (%): عدد شیب را با درصد تایپ و Enter کنید. مثلا اگر شیب ۵٪ در سرازیری دارید وارد کنید: Grade (%): -5. نرم‌افزار این تکه از خط پروژه را رسم می‌کند.

دوباره پیغام: Select point [Station/eXit/Undo/Length] ظاهر می‌شود. مانند قبل عمل کنید.

درصورتی‌که در جواب: Select point [Grade/Elevation/Undo/eXit] به‌جای G حرف E را وارد کنید، نرم‌افزار ارتفاع نقطه‌ای را که می‌خواهید خط پروژه در این ایستگاه به آن وصل شود طلب می‌کند.

در ضمن اگر در جواب پیغام: Select point [Station/eXit/Undo/Length] حرف L را وارد کنید نرم‌افزار به‌جای کیلومتراژ، طول افقی را که می‌خواهید جلو روید تا به نقطه‌ی بعدی خط پروژه برسید طلب می‌کند.

× دقت کنید از هر روشی که برای رسم خط پروژه استفاده می‌کنید، سعی کنید ۷ مورد ذکر شده درباره‌ی رسم خط پروژه را تا آن‌جا که ممکن است در ترسیم درنظر بگیرید. در گام ۱۸ خط پروژه را درصورت لزوم ویرایش خواهیم کرد.

× دستور Profiles> Label> Tangents را اجرا کرده و روی هر قسمت خط پروژه کلیک کنید. شیب خط پروژه و ارتفاعات آن نوشته می‌شود. برای این‌که ارتفاعات زمین و خط پروژه روی هم نیفتند، ابتدا از پروفیل عوارض زمین یک کپی گرفته و در گوشه‌ی دیگری از صفحه قرار دهید(برای پرینت). سپس عوارض روی پروفیل اصلی را پاک کنید تا عوارض خط پروژه جای آن‌ها بنشیند. در این مرحله شما شیب طولی و ارتفاعات خط پروژه را دارید.

۱۱- طراحی قوس‌های قائم

× طراحی قوس‌های قائم را برای دو حالت قوس‌های کوژ و کاس انجام می‌دهیم.

الف) قوس‌های کوژ(محدب، در خطالرأس، Crest)

× طراحی این قوس‌ها بر پایه‌ی حداقل مسافت دید توقف و مسافت دید سبقت انجام می‌گیرد.

× مسافت دید توقف(Stopping Sight Distance): حداقل مسافت توقف بدون خطر شامل مجموع دو مسافت زیر:

۱- مسافتی که وسیله‌ی نقلیه از زمانی که راننده مانع را مشاهده می‌کند و عکس‌العمل نشان می‌دهد، طی می‌کند و بلافاصله بعد از طی این مسافت ترمز می‌کند.

۲- مسافتی که از لحظه‌ی ترمز تا توقف کامل طی می‌کند.

حداقل مسافت دید توقف از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$S = SSD = \frac{1}{3.6}Vt + \frac{V^2}{254.2752 \times f} \cong 0.278Vt + \frac{V^2}{254f} \qquad (۱-۱۱)$$

برای حالتی که سطح جاده بدون شیب باشد.

$$S = SSD = \frac{1}{3.6}Vt + \frac{V^2}{254.2752(f+G)} \cong 0.278Vt + \frac{V^2}{254(f+G)} \qquad (۲-۱۱)$$

درحالت سربالایی است.

$$S = SSD = \frac{1}{3.6}Vt + \frac{V^2}{254.2752(f-G)} \cong 0.278Vt + \frac{V^2}{254(f-G)} \qquad (۳-۱۱)$$

درحالت سرازیری است.

× در این روابط داریم:

S= حداقل مسافت دید توقف(متر)

V= سرعت وسیله‌ی نقلیه(کیلومتر بر ساعت)

t= زمان عکس‌العمل(بر طبق پیشنهاد آشتو ۲/۵ ثانیه)

f= ضریب اصطکاک لاستیک وسیله‌ی نقلیه بر روی روسازی جاده که برای طراحی در حالت روسازی خیس درنظرگرفته می‌شود، ویا براساس شتاب کندشونده‌ی ماشین تعیین می‌شود.(جدول۱۱-۱و۱۱-۲)

G= شیب طولی جاده(G در فرمول با صدم نوشته می‌شود. مثلا اگر G=2% باشد، در فرمول عدد ۰/۰۲ را قرار می‌دهیم)

V(km/h) سرعت طراحی	f ضریب اصطکاک در حالت روسازی خیس*	S(m) حداقل فاصله‌ی دید توقف بهینه برای طراحی**
۳۰	۰/۴۰	۲۹/۶
۴۰	۰/۳۸	۴۴/۴
۵۰	۰/۳۵	۶۲/۸
۶۰	۰/۳۳	۸۴/۶
۷۰	۰/۳۱	۱۱۰/۸
۸۰	۰/۳۰	۱۳۹/۴
۹۰	۰/۳۰	۱۶۸/۷
۱۰۰	۰/۲۹	۲۰۵
۱۱۰	۰/۲۸	۲۴۶/۴
۱۲۰	۰/۲۸	۲۸۵/۶

جدول ۱۱-۱، ضریب اصطکاک و حداقل مسافت دید توقف

* AASHTO, "Policy On Geometric Design of Streets and Highways," Washington, DC, 1990 and 1994.

** از فرمول ۱۱-۱ با درنظرگرفتن t=2.5s

× آشتو ۲۰۰۱ ضریب اصطکاک را با درنظرگرفتن شتاب ثابت کندشونده‌ی $a=3.4m/s^2$ بدست می‌آورد:

$$f = \frac{a(m/s^2)}{9.81(m/s^2)} \qquad (۴-۱۱)$$

و برای حداقل مسافت دید توقف داریم:

$$S = SSD = 0.278Vt + \frac{V^2}{254(\frac{a}{9.81} \pm G)} \qquad (۵-۱۱)$$

× در جدول ۱۱-۲ این مقادیر آمده است.

V(km/h) سرعت طراحی	S(m) حداقل فاصله‌ی دید توقف محاسبه شده*	S(m) حداقل فاصله‌ی دید توقف برای طراحی**
۳۰	۳۱/۲	۳۵
۴۰	۴۶/۲	۵۰
۵۰	۶۳/۵	۶۵
۶۰	۸۳	۸۵
۷۰	۱۰۴/۹	۱۰۵
۸۰	۱۲۹	۱۳۰
۹۰	۱۵۵/۵	۱۶۰
۱۰۰	۱۸۴/۲	۱۸۵
۱۱۰	۲۱۵/۳	۲۲۰
۱۲۰	۲۴۸/۶	۲۵۰

جدول ۱۱-۲، حداقل مسافت دید توقف

* از فرمول ۱۱-۵ با درنظرگرفتن $t=2.5s$، $a=3.4m/s^2$، $G=0$

** AASHTO, "Policy On Geometric Design of Streets and Highways," Washington, DC, 2001.

× در طراحی قوس‌های کوژ با لحاظ کردن حداقل مسافت دید توقف دو حالت وجود دارد:

۱- طول قوس از حداقل مسافت دید توقف بیشتر باشد. در این حالت رابطه‌ی طول قوس و مسافت دید به این صورت است:

$$L_{min} = \frac{AS^2}{200(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2} \qquad (L > S) \qquad (۶-۱۱)$$

۲- طول قوس از مسافت دید کمتر باشد:

$$L_{min} = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2}{A} \qquad (L < S) \qquad (۷-۱۱)$$

× در این روابط داریم:

L_{min}= حداقل طول قوس(متر)

A= اختلاف جبری شیب‌ها(درصد) $G_1(or\ g_1)$=2% و $G_2(or\ g_2)$=-5% داریم: $A = G_2 - G_1 = -5 - 2 = -7$

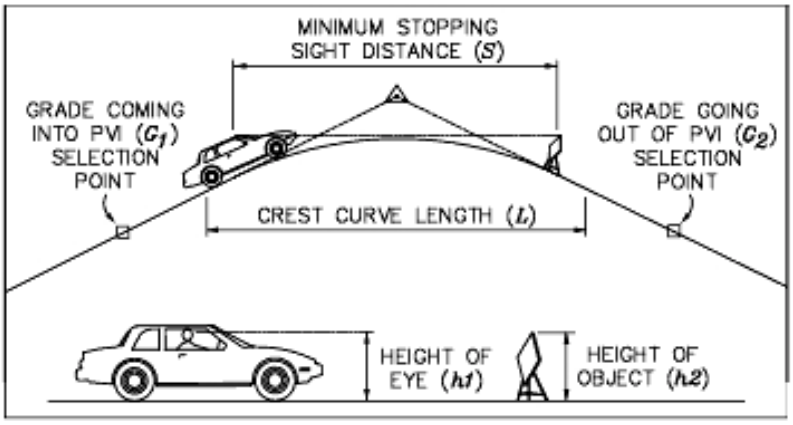
شیب + برای سربالایی و شیب - برای سرازیری. در فرمول مقدار قدرمطلق A را بگذارید.

S= حداقل مسافت دید توقف(متر)

h_1= فاصله‌ی چشم راننده تا جاده(متر)

h_2= ارتفاع مانع(متر)

× در شکل ۱۱-۱ این پارامترها نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۱-۱،حداقل مسافت دید توقف در قوس کوژ(L>S)

× آشتو در ویرایش ۱۹۹۰ و ۱۹۹۴ پیشنهاد می‌نماید که h_1=1.07m و h_2=0.15m باشد.

× آشتو در ویرایش ۲۰۰۱ پیشنهاد می‌نماید که h_1=1.08m و h_2=0.6m باشد.

× در سال ۲۰۰۱ میلادی ضرایب h_1، h_2، a و به طورکلی مسافت دید توقف در ویرایش جدید آشتو ۲۰۰۱، تغییر کرد. در این‌جا ضرایب محاسبه و حداقل مسافت دید توقف برای هر دو حالت قبل از سال ۲۰۰۰ میلادی و بعد از آن آمده است. انتخاب هر یک از این روش‌ها به نظر مهندس طراح بستگی دارد. به عنوان یک مقایسه‌ی کلی دو روش باید گفت که استفاده از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر محافظه‌کارانه‌تر است. لازم به ذکر است که استفاده از ضرایب ویرایش‌های ۱۹۹۰و ۱۹۹۴ آشتو برای طراحی قوس قائم، طول قوس بزرگتری ایجاد می‌کند که حتی به دو برابر مقادیر بدست آمده از ویرایش ۲۰۰۱، می‌رسند. با این اوصاف ویرایش ۲۰۰۱ آشتو این مقادیر را کم کرده و طول قوس‌ها کوچکترند.

× فرمول‌های ۱۱-۶ و ۱۱-۷ دو حالت طراحی را بیان می‌کنند. در بیشتر راهنماها از حالت L>S استفاده شده است. در اینجا نیز از این حالت طراحی استفاده شده است.

× در صورت استفاده از حالت L>S می‌توان رابطه‌ای بین شاخص K و S نوشت:

$$L_{min}=\frac{AS^2}{200(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2} \quad \text{و} \quad L_{min}=KA \Rightarrow K=\frac{S^2}{200(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2}$$

× با جایگزاری h_1=1.08m و h_2=0.6m در فرمول بالا به رابطه‌ی ساده شده‌ی زیر می‌رسیم:

$$K=\frac{S^2}{658} \qquad (۸-۱۱)$$

× توضیح: شاخص K فاصله‌ی افقی است که ۱٪ شیب را ایجاد می‌کند. طبق تعریف K برابر است با:

$$K=\frac{L}{A} \qquad (۹-۱۱)$$

در فرمول ۱۱-۹، L طول قوس کوژ می‌باشد.

× برای قوس‌های قائم حداقل طول قوس را برابر ۰/۶ سرعت طراحی درنظر می‌گیرند:

$$\text{Minimum Curve Lenght} = 0.6V \qquad (۱۰-۱۱)$$

× در جدول ۱۱-۳ مقادیر لازم جهت طراحی قوس قائم کوژ براساس ضرایب جدید آشتو آورده شده است.

V(km/h) سرعت طراحی	S=SSD(m)* حداقل مسافت دید توقف برای طراحی	K(m/%)** شاخص انحنا برای طراحی	L_{min}(m)*** حداقل طول قوس کوژ
۳۰	۳۵	۲	۱۸
۴۰	۵۰	۴	۲۴
۵۰	۶۵	۷	۳۰
۶۰	۸۵	۱۱	۳۶
۷۰	۱۰۵	۱۷	۴۲
۸۰	۱۳۰	۲۶	۴۸
۹۰	۱۶۰	۳۹	۵۴
۱۰۰	۱۸۵	۵۲	۶۰
۱۱۰	۲۲۰	۷۴	۶۶
۱۲۰	۲۵۰	۹۵	۷۲

جدول ۱۱-۳، پارامترهای قوس کوژ برای طراحی براساس حداقل فاصله‌ی دید توقف(ویرایش ۲۰۰۱)

* مقادیر ارائه شده برای مسافت دید توقف، در واقع کمترین مقدار لازم می‌باشند. در طراحی سعی کنید مقادیری بیشتر از مقادیر حداقل اختیار کنید تا طراحی خوب و زیبا باشد. لازم به ذکر است که مقادیر مسافت دید برای حالت بدون شیب بودن جاده بدست آمده‌اند. در صورتی‌که شیب جاده لحاظ شود این مقادیر متفاوت خواهد بود. به‌هرحال در طراحی قوس‌های کوژ به دلیل وجود سربالایی‌ها، مقادیر بدون شیب از مقادیر حاصل از لحاظ کردن شیب بزرگترند. بنابراین در طراحی قوس‌های کوژ مقادیر این جدول قابل استفاده و در جهت اطمینانند. ولی در طراحی قوس‌های کاس بدلیل وجود سرازیری و سختی ترمزگرفتن در این حالت، برای شیب‌های سرازیری ملایم کمتر از ۳٪ از همین مقادیر استفاده می‌کنیم و در شیب‌های سرازیری بیشتر از ۳٪ باید مقادیرS را بیشتر افزایش داد.

** با جایگزینی مقادیر S از ستون دوم همین جدول در فرمول۱۱-۸، مقادیر K بدست آمده‌اند.

*** $L_{min}(m)=0.6V(km/h)$

× در صورت استفاده از ضرایب ویرایش‌های قدیمی رابطه‌ی ۱۱-۸ بدین صورت تغییر می‌کند:

$$K = \frac{S^2}{404} \qquad (۱۱-۱۱)$$

× جدول ۱۱-۴ ضرایب طراحی را در ویرایش قدیمی ارائه می‌دهد.

V_d(km/h) سرعت طراحی	V_r(km/h) سرعت میانگین*	S=SSD(m) مسافت دید توقف حداقل بر اساس سرعت میانگین**	S=SSD(m) مسافت دید توقف بهینه بر اساس سرعت طراحی	K(m/%) شاخص انحنا محاسبه شده بهینه-حداقل	K(m/%) شاخص انحنا برای طراحی بهینه-حداقل***
۳۰	۳۰	۲۹/۶	۲۹/۶	۲/۱۷-۲/۱۷	۳-۳
۴۰	۴۰	۴۴/۴	۴۴/۴	۴/۸۸-۴/۸۸	۵-۵
۵۰	۴۷	۵۷/۴	۶۲/۸	۸/۱۶-۹/۷۶	۹-۱۰
۶۰	۵۵	۷۴/۳	۸۴/۶	۱۳/۶۶-۱۷/۷۲	۱۴-۱۸
۷۰	۶۳	۹۴/۱	۱۱۰/۸	۲۱/۹۲-۳۰/۳۹	۲۲-۳۱
۸۰	۷۰	۱۱۲/۸	۱۳۹/۴	۳۱/۴۹-۴۸/۱	۳۲-۴۹
۹۰	۷۷	۱۳۱/۲	۱۶۸/۷	۴۲/۶۱-۷۰/۴۴	۴۳-۷۱
۱۰۰	۸۵	۱۵۷	۲۰۵	۶۱/۰۱-۱۰۴/۰۲	۶۲-۱۰۵
۱۱۰	۹۱	۱۷۹/۵	۲۴۶/۴	۷۹/۷۵-۱۵۰/۲۸	۸۰-۱۵۱
۱۲۰	۹۸	۲۰۲/۹	۲۸۵/۶	۱۰۱/۹-۲۰۱/۹	۱۰۲-۲۰۲

جدول ۱۱-۴، پارامترهای قوس کوژ برای طراحی براساس حداقل فاصله‌ی دید توقف (ویرایش‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۴)

* سرعت میانگین سرعتی است که از اندازه‌گیری سرعت خودروها در حالت بهره‌برداری با ترافیک سبک به دست می‌آید. این سرعت بین ۸۵ تا ۱۰۰ درصد سرعت طراحی است.

** مسافت دید حداقل براساس سرعت میانگین، از جایگزینی مقادیر سرعت میانگین و ضرایب اصطکاک ارائه شده در جدول ۱۱-۱ در فرمول ۱۱-۱ به دست آمده است. آشتو بر اساس مطالعات اخیر خود اعلام کرد که استفاده از این مسافت دید درست نیست. چراکه رانندگان در جاده‌های خیس و هوای بارانی سرعت خود را کم نمی‌کنند. به همین دلیل در ویرایش سال ۲۰۰۱، سرعت میانگین و مسافت دید حاصل از آن را حذف کرد(جدول ۱۱-۳).

*** حالت میانگین کمترین طول قوس ممکن را می‌دهد و مقادیر بهینه و بیشتر از آن محافظه‌کارانه‌تر و ایمنی‌ترند.

× حداقل مسافت دید سبقت(Passing Sight Distance): فاصله‌ای است شامل ۴ مسافت زیر:

۱- مسافتی که راننده خود را با شتاب گرفتن برای سبقت از اتومبیل جلویی آماده می‌کند.

۲- مسافتی که اتومبیل سبقت گیرنده خط خود را عوض می‌کند و از اتومبیل جلویی سبقت گرفته، به خط خود باز می‌گردد.

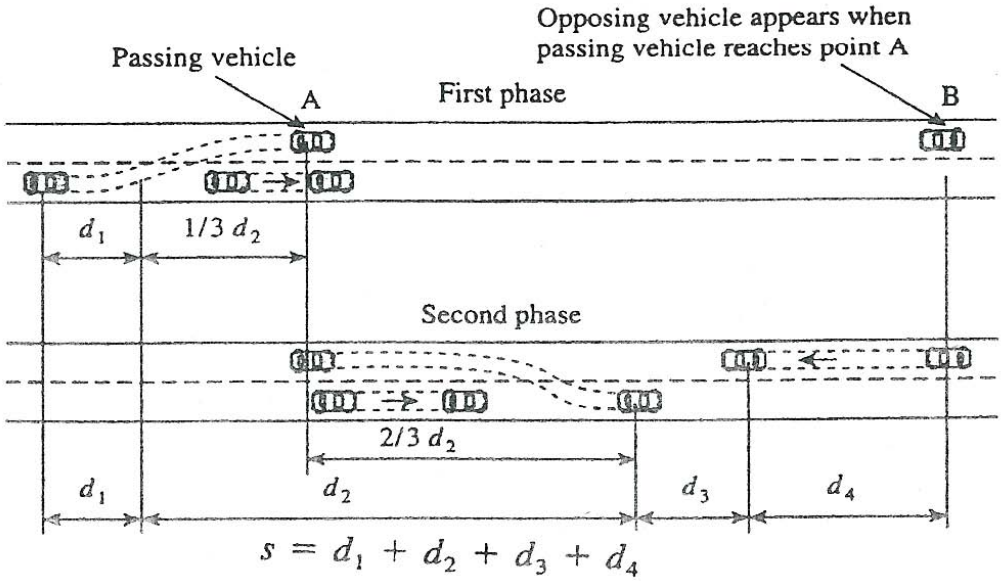
۳- مسافت بین اتومبیل سبقت گرفته بعد از اتمام سبقت، تا اتومبیلی که از جهت مقابل در حرکت است.

۴- مسافتی که توسط اتومبیل روبرو پیموده شده است.

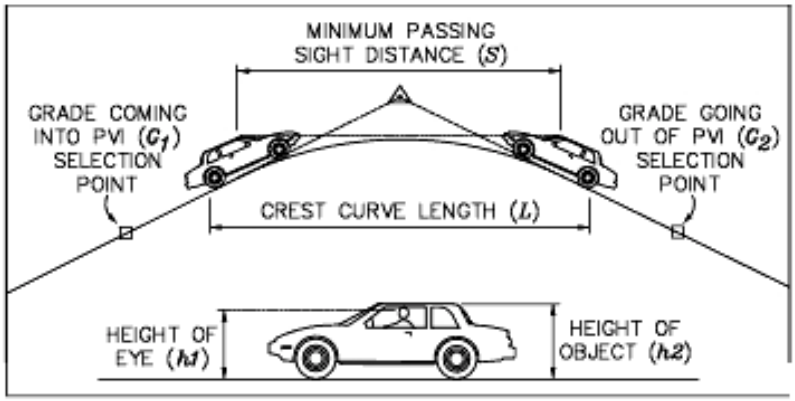
× در شکل۱۱-۲ این فاصله‌ها نشان داده شده است.

× طراحی قوس کوژ با در نظر گرفتن حداقل مسافت دید سبقت، از روابط ۱۱-۴ و ۱۱-۵ انجام می‌شود با این تفاوت که h_2=1.08m می‌باشد و h_1=1.08m باقی می‌ماند(ویرایش۲۰۰۱). h_2 در این‌جا فاصله‌ی چشم راننده‌ی ماشین روبرو تا سطح جاده می‌باشد(شکل ۱۱-۳). در ویرایش قدیمی(ویرایش۱۹۹۴) مقدار h_2 برابر ۱/۳متر و h_1 برابر ۱/۰۷متر است. استفاده از مسافت دید سبقت در طراحی قوس‌ها کوژ، در پاره‌ای موارد امکان‌پذیر نیست و طول قوس را بسیار بزرگ می‌کند. در مواردی که شیب‌های طولی کم باشد و راه در ناحیه‌ی کوهستانی نباشد می‌توان این فاصله را در طراحی وارد کرد.

× همانند مسافت دید توقف، در این‌جا نیز از حالت L>S استفاده می‌کنیم.



شکل ۱۱-۲، مسافت دید سبقت



شکل ۱۱-۳، حداقل مسافت دید سبقت در قوس کوژ(L>S)

× با جایگزاری $h_1= h_2=1.08m$ در فرمول ۱۱-۴ و با استفاده از تساوی K=LA خواهیم داشت:

$$K = \frac{S^2}{864} \qquad (۱۱-۱۲)$$

× و در حالت $h_1=1.07m$ و $h_2=1.3$ داریم:

$$K = \frac{S^2}{946} \qquad (۱۱-۱۳)$$

در این رابطه S حداقل مسافت دید سبقت است که مقادیر آن از جدول ۱۱-۵ به دست می‌آید.

V(km/h) سرعت طراحی	S=PSD(m)* حداقل مسافت دید سبقت برای طراحی	K(m/%)** شاخص انحنا برای طراحی	S=PSD(m)*** حداقل مسافت دید سبقت برای طراحی	K(m/%)**** شاخص انحنا برای طراحی
۳۰	۲۰۰	۴۶	۲۱۷	۵۰
۴۰	۲۷۰	۸۴	۲۸۵	۹۰
۵۰	۳۴۵	۱۳۸	۳۴۵	۱۳۰
۶۰	۴۱۰	۱۹۵	۴۰۷	۱۸۰
۷۰	۴۸۵	۲۷۲	۴۸۲	۲۵۰
۸۰	۵۴۰	۳۳۸	۵۴۱	۳۱۰
۹۰	۶۱۵	۴۳۸	۶۰۵	۳۹۰
۱۰۰	۶۷۰	۵۲۰	۶۷۰	۴۸۰
۱۱۰	۷۳۰	۶۱۷	۷۲۸	۵۷۰
۱۲۰	۷۷۵	۶۹۵	۷۹۲	۶۷۰

جدول ۱۱-۵، پارامترهای قوس کوژ برای طراحی براساس حداقل فاصله‌ی دید سبقت

* مقادیر S برای زمانی که از ضرایب ویرایش ۲۰۰۱ استفاده می‌کنید.

** با جایگزینی مقادیر S از ستون دوم همین جدول در فرمول ۱۱-۱۲، مقادیر K بدست آمده‌اند.

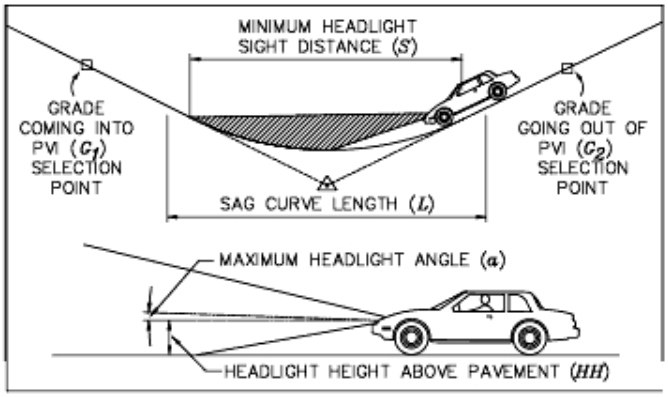
*** مقادیر S برای زمانی که از ضرایب ویرایش ۱۹۹۴ استفاده می‌کنید.

**** با جایگزینی مقادیر S از ستون چهارم همین جدول در فرمول ۱۱-۱۳، مقادیر K بدست آمده‌اند.

ب) قوس‌های کاس(مقعر، در خط‌القعر، Sag)

قوس‌های کاس براساس دو عامل حداقل فاصله‌ی دید چراغ‌های جلو و راحتی راننده طراحی می‌شوند و سپس بیشترین طول قوس به دست آمده از دو روش فوق، انتخاب می‌شود.

× فاصله‌ی دید چراغ‌های جلو(Headlight Sight Distance): در قوس‌های کاس نسبت به کوژ راننده جلوی خود را بهتر می‌بیند ولی این دید در شب کاهش می‌یابد و چون در جاده‌ها برخلاف خیابان‌ها روشنایی کنار جاده وجود ندارد، راننده فقط توسط نور چراغ‌های خودروی خود قادر به دیدن است(شکل ۱۱-۴).



شکل ۱۱-۴، حداقل فاصله‌ی دید چراغ‌های جلو

× در شکل۱۱-۴، HH فاصله‌ی چراغ‌های جلو تا سطح زمین است که برابر ۰/۶متر درنظرگرفته می‌شود. زاویه‌ی α،زاویه‌ای است که پرتو روشنایی با افق می‌سازد. مقدار این زاویه ۱(یک)درجه منظور می‌گردد. در این‌جا نیز دو حالت طراحی وجود دارد که ما از روش L>S استفاده می‌کنیم.

$$L_{min} = \frac{AS^2}{200(HH + S\tan\alpha)} \quad (L > S) \qquad (۱۴-۱۱)$$

$$L_{min} = 2S - \frac{200(HH + S\tan\alpha)}{A} \quad (L < S) \qquad (۱۵-۱۱)$$

× با جایگزینی مقادیر HH وαدر فرمول ۱۱-۱۴ داریم:

$$L_{min} = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \quad (L > S) \qquad (۱۶-۱۱)$$

و با استفاده از تساوی K=LA خواهیم داشت:

$$K = \frac{S^2}{120 + 3.5S} \quad (L > S) \qquad (۱۷-۱۱)$$

و با توجه به مسافت دید حداقل در ویرایش قدیم و جدید آیین‌نامه(جداول ۱۱-۱ و ۱۱-۲) داریم:

V_d(km/h) سرعت طراحی	V_r(km/h) سرعت میانگین	S=SSD(m) مسافت دید توقف حداقل بر اساس سرعت میانگین	S=SSD(m) مسافت دید توقف بهینه بر اساس سرعت طراحی	K(m/%)* شاخص انحنا محاسبه شده بهینه-حداقل	K(m/%) شاخص انحنا برای طراحی بهینه-حداقل
۳۰	۳۰	۲۹/۶	۲۹/۶	۳/۹۲-۳/۹۲	۴-۴
۴۰	۴۰	۴۴/۴	۴۴/۴	۷/۱۶-۷/۱۶	۸-۸
۵۰	۴۷	۵۷/۴	۶۲/۸	۱۰/۲۷-۱۱/۶۱	۱۱-۱۲
۶۰	۵۵	۷۴/۳	۸۴/۶	۱۴/۵۳-۱۷/۲	۱۵-۱۸
۷۰	۶۳	۹۴/۱	۱۱۰/۸	۱۹/۷۱-۲۴/۱۸	۲۰-۲۵
۸۰	۷۰	۱۱۲/۸	۱۳۹/۴	۲۴/۷۲-۳۱/۹۷	۲۵-۳۲
۹۰	۷۷	۱۳۱/۲	۱۶۸/۷	۲۹/۷۲-۴۰/۰۶	۳۰-۴۰
۱۰۰	۸۵	۱۵۷	۲۰۵	۳۶/۸۲-۵۰/۱۸	۳۷-۵۱
۱۱۰	۹۱	۱۷۹/۵	۲۴۶/۴	۴۳/۰۶-۶۱/۸۰	۴۳-۶۲
۱۲۰	۹۸	۲۰۲/۹	۲۸۵/۶	۴۹/۵۹-۷۲/۸۵	۵۰-۷۳

جدول ۱۱-۶، پارامترهای طراحی قوس کاس (ویرایش۱۹۹۰ و ۱۹۹۴)

* با جایگزینی مقادیر S از ستون سوم و چهارم همین جدول در فرمول۱۱-۱۷، مقادیر K بدست آمده‌اند.

V(km/h) سرعت طراحی	S=SSD(m) حداقل مسافت دید توقف برای طراحی	K(m/%)* شاخص انحنا برای طراحی	L_{min}(m)** حداقل طول قوس کوژ
۳۰	۳۵	۶	۱۸
۴۰	۵۰	۹	۲۴
۵۰	۶۵	۱۳	۳۰
۶۰	۸۵	۱۸	۳۶
۷۰	۱۰۵	۲۳	۴۲
۸۰	۱۳۰	۳۰	۴۸
۹۰	۱۶۰	۳۸	۵۴
۱۰۰	۱۸۵	۴۵	۶۰
۱۱۰	۲۲۰	۵۵	۶۶
۱۲۰	۲۵۰	۶۳	۷۲

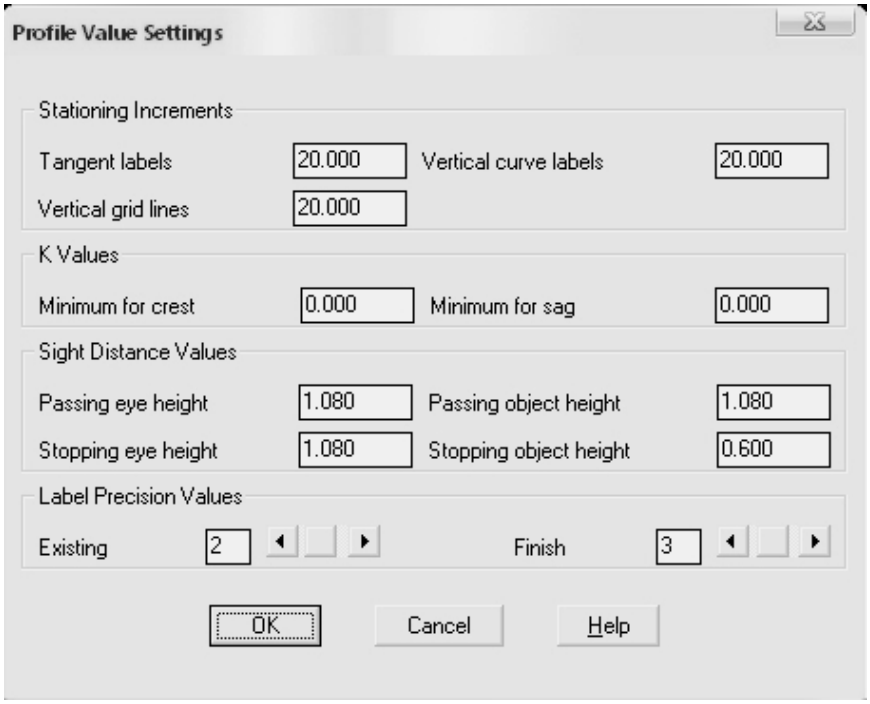
جدول ۱۱-۷، پارامترهای طراحی قوس کاس(ویرایش ۲۰۰۱)

* با جایگزینی مقادیر S از ستون دوم همین جدول در فرمول۱۱-۱۷، مقادیر K بدست آمده‌اند.

** $L_{min}(m)=0.6V(km/h)$

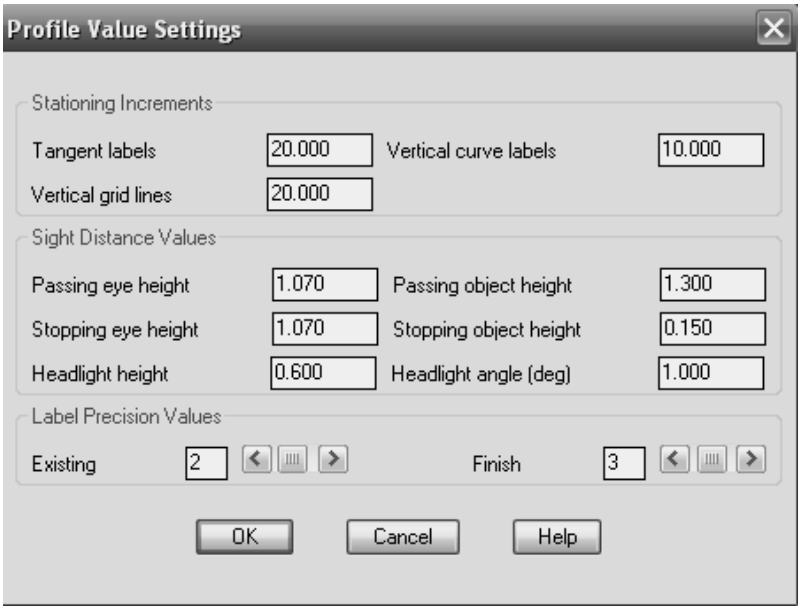
× در این مرحله به طراحی قوس قائم کوژ به وسیله‌ی نرم‌افزار می‌پردازیم. تا این‌جا خط پروژه را در گام ۱۰ رسم کرده‌ایم.

× دستور Profiles> Profile setting> Values را اجرا کنید. پنجره‌ای مطابق شکل ۱۱-۵ باز می‌شود.



شکل ۱۱-۵، تنظیم پارامترهای طراحی(آشتو ۲۰۰۱)

× در پنجره‌ی شکل۱۱-۵، در قسمت Stationing Increments فاصله‌ی ایستگاه‌گذاری برای پروفیل طولی را وارد کنید. در بخش K Value هر دو مقدار قوس‌های کاس و کوژ را 0.0001 وارد کنید تا خودبخود صفر شود. در قسمت Sight Distance Value مقدار عددی ارتفاع چشم راننده و ارتفاع جسم از سطح جاده را در دو حالت سبقت(Passing) و توقف(Stopping) با توجه به انتخاب یکی از ویرایش‌های جدید یا قدیم آشتو وارد کنید(شکل‌های۱۱-۵و۱۱-۶). پنجره را Ok کنید.



شکل ۱۱-۶، تنظیم پارامترهای طراحی(آشتو ۱۹۹۴)

× توضیح: پنجره‌ی شکل۱۱-۶ مربوط به ورژن ۲۰۰۴ نرم‌افزار است و شکل۱۱-۵ مربوط به ورژن ۲۰۰۰ نرم‌افزار Land می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ورژن ۲۰۰۴ دو قسمت Headlight height و Headlight angle در این‌جا وارد شده‌اند. به هر حال در صورت استفاده از ورژن ۲۰۰۰ یا ۲۰۰۴، این اعداد در پیش‌فرض برنامه صحیح بوده و نیاز به تغییر نیست. مقادیر Headlight height(HH) و Headlight angle(α) در قسمت قوس کاس توضیح داده شدند.

× دستور Profiles> FG Vertical Curves را اجرا کنید. پنجره‌ای مطابق شکل۱۱-۷ باز می‌شود.

× در این پنجره روش‌های مختلف طراحی قوس‌های کوژ و کاس ارائه شده است.

× برای طراحی قوس کوژ این‌گونه عمل می‌کنیم:

۱- براساس سرعت طراحی، حداقل طول قوس را از جدول۱۱-۳ یا رابطه‌ی۱۱-۱۰ به دست آورید.

۲- براساس سرعت طراحی، مقدار شاخص K را از جدول ۱۱-۳ یا ۱۱-۴ به دست آورده و با استفاده از رابطه‌ی L=KA، مقدار طول قوس را به دست آورید.

۳- براساس سرعت طراحی، حداقل مسافت دید توقف(S) را از جدول ۱۱-۳ یا ۱۱-۴ به دست آورید.

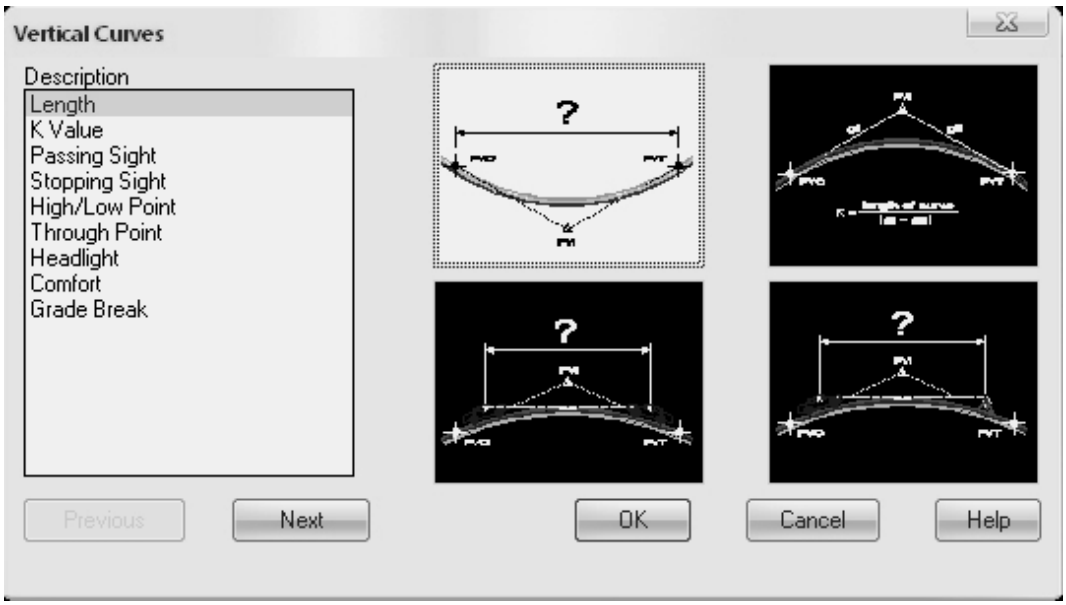
۴- با مقایسه‌ی S و L دوحالت ممکن است:

۴-۱- حالت اول: L>S باشد. به ترتیب زیر عمل کنید.

× روی گزینه‌ی Length کلیک کرده و پنجره را Ok کنید.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Select incoming tangent:
```



شکل ۱۱-۷، طراحی قوس قائم

× روی مماس ورودی قوس کوژ کلیک کنید.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Select outgoing tangent:
```

× روی مماس خروجی قوس کوژ کلیک کنید.

× بین دو مماس یا خطی که قوس کوژ را ساخته‌اند، سمت چپی مماس ورودی و سمت راستی مماس خروجی است.

× در خط فرمان پیغام زیر ظاهر می‌شود:

```
Length of curve:
```

× عدد طول قوس به دست آمده از گام۲ را به بالا گرد کرده یا عددی بیشتر از آن را وارد کنید. دقت کنید اگرچه زیاد شدن طول قوس ایمنی را افزایش می‌دهد ولی هزینه‌ی پروژه را نیز بالا می‌برد. بعد از وارد کردن L در خط فرمان، Enter کنید.

```
Length of curve: 270
```

× قوس طراحی شده رسم می‌شود. برای خروج از دستور Esc کنید.

۴-۲- حالت دوم: L<S باشد. در این حالت نیز مانند حالت اول عمل کنید با این تفاوت که عدد طول قوس را بزرگترین عدد به دست آمده از گام‌های ۱و۲ انتخاب کرده و همانند بالا وارد نرم‌افزار کنید.

× درصورتی‌که شرایط اجازه دهد(شیب‌های طولی کم باشد و راه در ناحیه‌ی کوهستانی نباشد)، می‌توانید طول قوس کوژ را با درنظرگرفتن حداقل مسافت دید سبقت طراحی کنید. با این تفاوت که از روابط ۱۱-۱۲ یا ۱۱-۱۳ و جدول ۱۱-۵ استفاده کنید و مراحل گام‌به‌گام را عینا مثل طراحی قوس کوژ براساس حداقل مسافت دید توقف که قبلا گفته شد، انجام دهید. سپس طول حاصل را در جواب پیغام `Length of curve:` مثل بالا وارد کنید.

× هر تعداد قوس کوژ که در پروفیل طولی دارید را به همین روش طراحی کنید.

× حال به طراحی قوس‌های کاس به وسیله‌ی نرم‌افزار می‌پردازیم. همانند قبل، بعد از تعریف پارامترهای طراحی مطابق شکل‌های ۱۱-۵ و ۱۱-۶، و باز کردن پنجره‌ی ۱۱-۷ به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱- براساس سرعت طراحی، حداقل طول قوس را از جدول ۱۱-۷ یا رابطه‌ی ۱۱-۱۰ به دست آورید.

۲- براساس سرعت طراحی، مقدار شاخص K را از جدول ۱۱-۶ یا ۱۱-۷ به دست آورده و با استفاده از رابطه‌ی L=KA، مقدار طول قوس را به دست آورید.

۳- براساس سرعت طراحی، حداقل مسافت دید توقف(S) را از جدول ۱۱-۶ یا ۱۱-۷ به دست آورید.

۴- با استفاده از رابطه‌ی۱۱-۱۸ مقدار L را براساس معیار راحتی راننده در قوس‌های کاس به دست آورید.

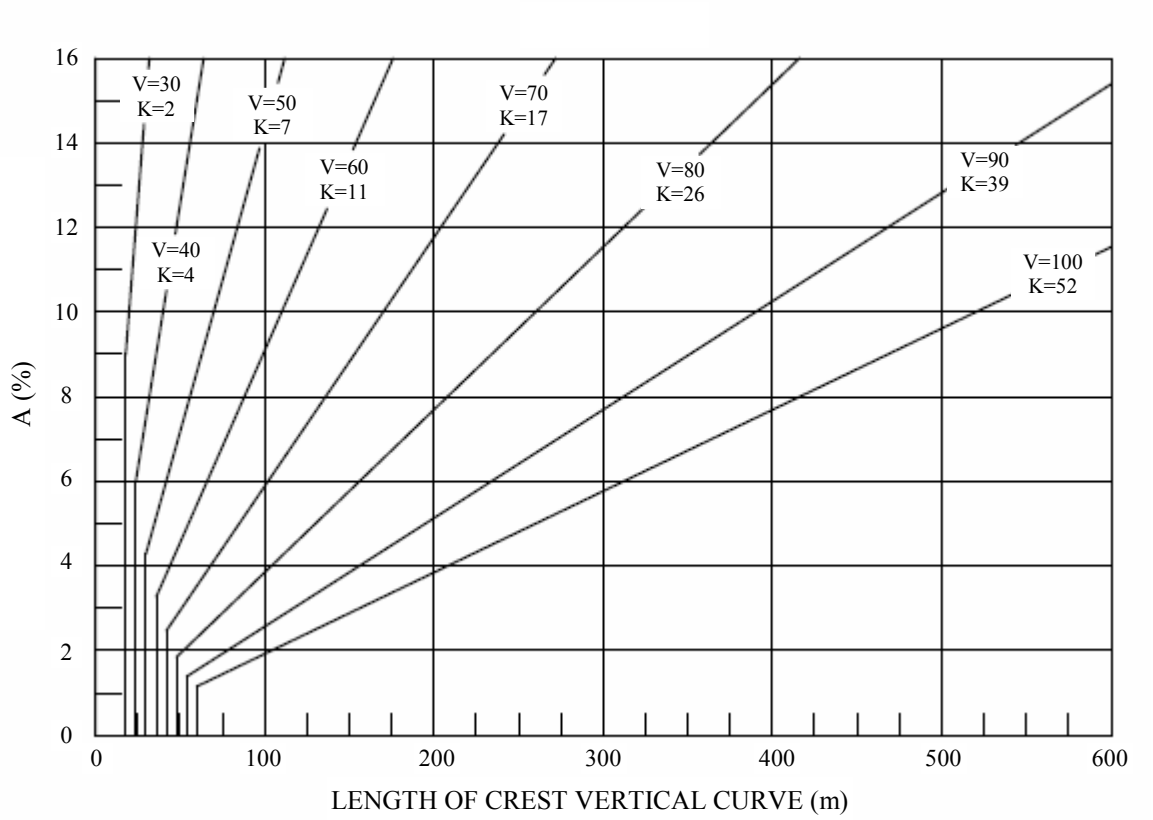
$$L = \frac{AV^2}{395} \qquad (۱۱-۱۸)$$

در این رابطه V، سرعت طراحی برحسب کیلومتر بر ساعت است.

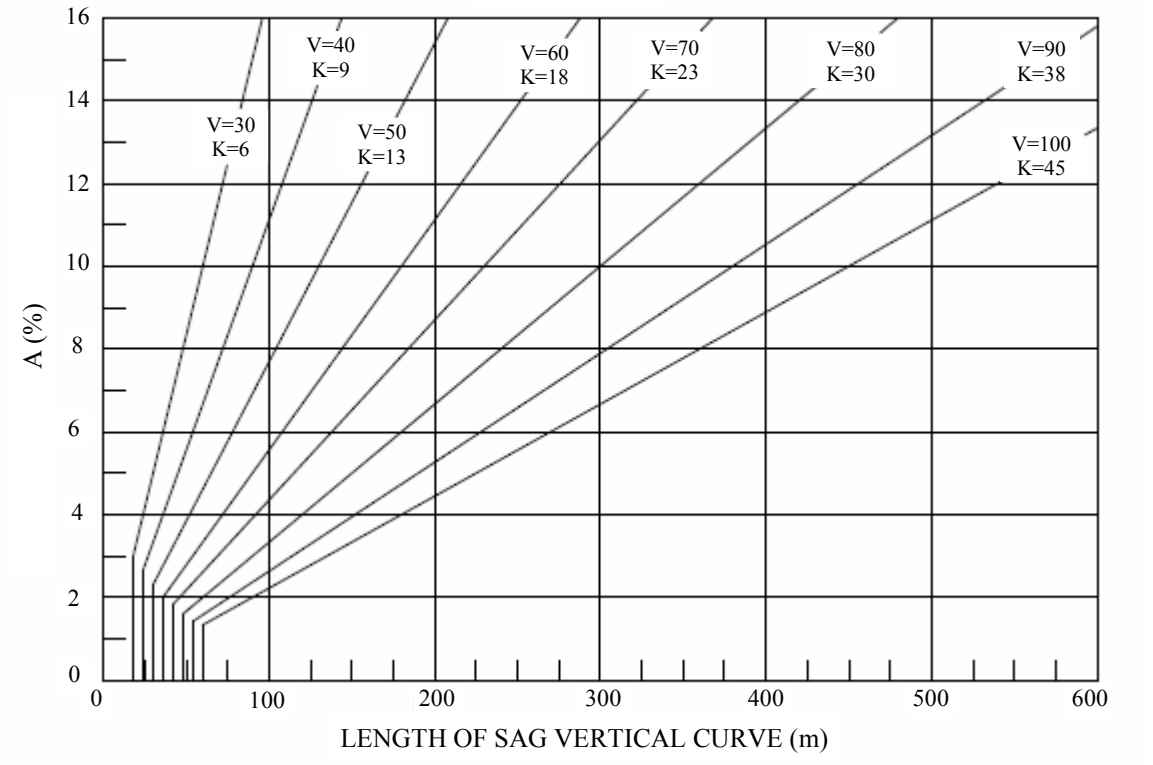
۵- از بین طول قوس‌های به دست آمده از گام‌های ۱و۲و۴، بزرگترین را انتخاب کرده و همانند طراحی قوس کوژ در مراحل قبل، این طول قوس را وارد نرم‌افزار کنید.

× توضیح: نرم‌افزارAutoCAD Land Development And Civil Design علاوه بر این‌که قادر به طراحی انواع قوس‌های افقی(ساده، چند مرکزی، شبدری و ...)، قوس‌های قائم را نیز براساس معیارهای مختلف طراحی، محاسبه و طراحی می‌کند. ولی استفاده از این روش‌ها، یعنی سپردن کامل طراحی‌ها به نرم‌افزار علاوه بر این‌که به درک بالایی از نرم‌افزار و آیین‌نامه‌های طراحی احتیاج دارد، یک روش آزمون و خطاست و برای کسی که اولین بار با این نرم‌افزار آشنا می‌شود، مناسب نیست. چراکه انجام یک پروژه‌ی راهسازی در حد تئوری برای دانشجویان کارشناسی، احتیاج به شناخت کامل پارامترهای طراحی دارد تا این عزیزان در مصاحبه‌ی پروژه نیز مشکلی نداشته باشند. به همین دلیل در این راهنما از آوردن روش‌های طراحی که تنها توسط نرم‌افزار انجام می‌شود و بسیار سریع است، خودداری شد و طراحی قوس‌های افقی کلوئتید و قائم به صورت ترکیبی از روش‌های دستی و نرم‌افزاری ارائه شد. به عنوان یک نکته بد نیست بدانید در نسخه‌های جدید این نرم‌افزار براحتی با انتخاب آیین‌نامه‌ی طراحی قادر خواهید بود قوس‌های قائم را با درنظرگرفتن عوامل دخیل بیشتری مانند زهکشی مسیر، طراحی کنید. در ویرایش‌های بعدی این راهنما این موارد نیز لحاظ خواهد شد.

× درصورتی‌که برای طراحی طول قوس‌های کوژ(براساس حداقل مسافت دید توقف) و کاس از روش ویرایش ۲۰۰۱ آشتو استفاده کنید، می‌توانید جواب‌های خود را به وسیله‌ی نمودارهای اشکال۱۱-۸ (برای قوس کوژ) و ۱۱-۹ (برای قوس کاس) کنترل کنید. در این نمودارها محور عمودی پارامتر A یا اختلاف شیب‌ها و محور افقی طول قوس قائم برحسب متر می‌باشد. اعداد روی نمودارها نیز مقادیر سرعت طراحی برحسب کیلومتر بر ساعت و پارامتر K می‌باشند.



شکل ۱۱-۸، کنترل طراحی طول قوس قائم کوژ



شکل ۱۱-۹، کنترل طراحی طول قوس قائم کاس

۱۲- برچسب زدن به قوس‌های قائم

× دستور Profiles> Labels> Vertical Curves را اجرا کرده و ابتدا روی شیب(مماس) ورودی، سپس شیب خروجی و در انتها روی خود قوس قائم کلیک کنید. اطلاعات قوس قائم ظاهر می‌شود. در این‌جا .A.D همان مقدار A در قوس قائم است و داریم: $A=g_2-g_1$ که g_2 شیب خروجی و g_1 شیب ورودی است. g_2 و g_1 برحسب درصد بیان می‌شوند. مثلا اگر داشته باشیم $g_1=+2\%$ (علامت مثبت یعنی شیب سربالایی) و $g_2=-5\%$ (علامت منفی یعنی شیب سرپایینی)، خواهیم داشت:
$A=-5-2=-7$

۱۳- معرفی مسیر قائم(خط پروژه+قوس‌های قائم) به نرم‌افزار

× دستور Profiles> FG Vertical Alignment> Define FG Centerline را اجرا کرده. کل لایه‌های صفحه بجز لایه‌ی خط پروژه خاموش می‌شوند. حال به ترتیب از نزدیکی ابتدای خط پروژه شروع کرده و تکه‌های خط پروژه را به ترتیب از چپ به راست انتخاب کنید. با هر کلیک، تکه‌ی انتخاب شده خط‌چین می‌شود. دقت کنید که مسیر قائم تنها شامل مماس‌ها و قوس‌های قائم است و علامت مثلث و دو خط دو طرف آن نشان‌دهنده‌ی سومه‌ی قوس بوده و جزو مسیر نیستند. در ضمن با اولین کلیک در ابتدای مسیر، یک علامت ضربدر در شروع خط پروژه ظاهر می‌شود.

× بعد از انتخاب همه‌ی تکه‌ها، Enter کنید. در خط فرمان تعداد PVI نشان داده می‌شود که این عدد مجموع تعداد نقطه‌های ابتدا، انتها و رأس هر قوس قائم است.

۱۴- نمونه‌برداری از زمین برای مقاطع عرضی

× دستور Cross Sections> Existing Ground> Sample From Surface را اجرا کرده و در پنجره‌ی باز شده (شکل۱۴-۱) در بخش Swath Widths، عرض نمونه‌برداری چپ و راست را ۴۰ متر وارد کنید. در قسمت Sample Increments، فاصله‌ی نمونه‌برداری و یا همان فاصله‌ی مقاطع عرضی را وارد کنید. نرم‌افزار قادر است حتی به فاصله‌های ۱ متری، مقاطع عرضی ایجاد کند. این انتخاب به صورت پروژه و نظر مهندس بستگی دارد. به‌طورکلی مقاطع عرضی در محل ایستگاه‌ها، و نقاط خاصی مانند نقاط اجباری پروژه و یا در محل‌هایی که شکل مقطع عرضی عوض می‌شود، مثلا وقتی از یک کیلومتراژ به بعد عرض راه عوض شود، زده می‌شوند.

در صورتیکه بخواهید نرم‌افزار در ایستگاه‌های خاص نیز مقطع عرضی تولیدکند، می‌توانید گزینه‌ی Add specific stations را تیک‌دار کنید.

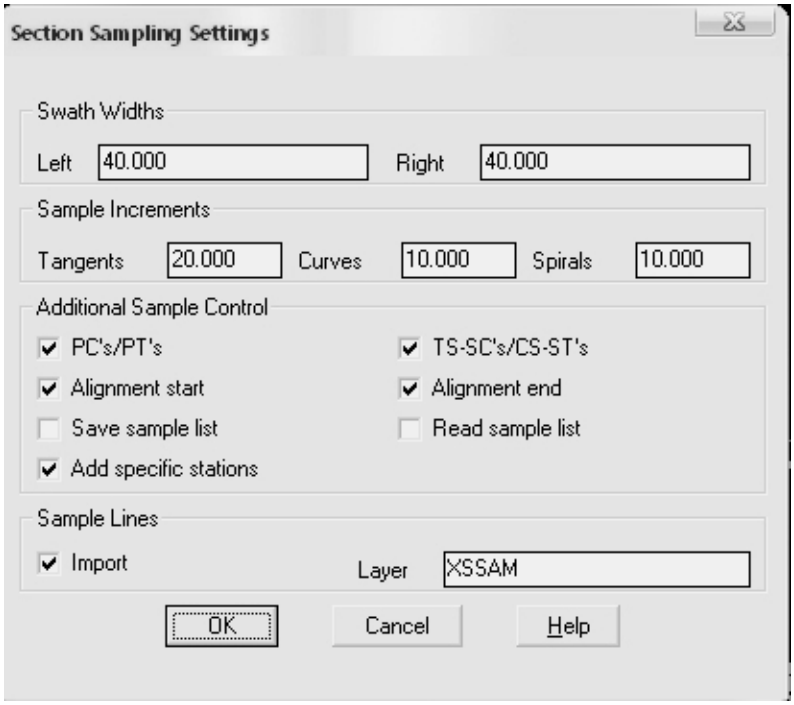
× در بخش Sample Lines، گزینه‌ی Import را تیک‌دار کرده و پنجره را Ok کنید.

× در خط فرمان پیغام ابتدای مسیر و سپس انتهای آن ظاهر می‌شود، این دو را Enter کنید. پیغام سوم درباره‌ی اضافه کردن شماره‌ی ایستگاه‌های بحرانی یا خاص است. اگر Add specific stations را تیک‌دار کرده باشید، این پیغام ظاهر می‌شود. شماره‌ی ایستگاه‌های موردنظر را وارد و هر بار Enter کنید(شماره‌ی ایستگاه‌های دلخواه را می‌توانید با اجرای دستور Alignment> Station/Offset> Label و کلیک کردن روی مسیر در نقطه‌ی مورد نظر به دست آورید).

× در صورت مشاهده‌ی پیغام Overwrite در خط فرمان، کلمه‌ی Yes یا Y را در خط فرمان تایپ و سپس Enter کنید. این فرمان زمانی ظاهر می‌شود که عمل نمونه‌برداری را قبلا نیز برای مسیر انجام داده باشید.

× در خط فرمان پیغام نمونه‌برداری از مسیر ظاهر می‌شود:

```
You have sampled sections for 2615.696 meters of alignment.
```



شکل ۱۴-۱، تنظیمات نمونه‌برداری از زمین برای مقاطع عرضی

۱۵- معرفی الگوی روسازی

× نرم‌افزار حاضر قادر است الگوی روسازی را همراه با مشخص کردن نوع مواد روسازی از کاربر دریافت کرده و در مقاطع عرضی وارد کند. همچنین محاسبات دِوِر را انجام داده و الگوی روسازی را براساس این محاسبات در قوس‌ها رسم می‌کند. ولی از آن‌جا که محاسبه‌ی احجام خاکی در ابتدا بصورت اولیه و تقریبی محاسبه شده و در مراحل بعدی توسط گروه نقشه‌بردار دقیقا برداشت شده و در محاسبات وارد می‌شوند، و نیز برای سادگی کار و پرهیز از مطرح کردن مسائل روسازی که در پروژه‌های واقعی توسط تیم مخصوص انجام می‌شود، دراین راهنما الگوی روسازی به صورت یک خط صاف یعنی سطح بستر راه روی خط پروژه نشان داده شده است. مراحل کار به شرح زیر است:

× دستور Polyline را اجرا کرده و در صفحه‌ی ترسیم، یک خط افقی به طولِ نصف عرضِ کل راه رسم کنید. برای این کار کافی است بعد از اجرای دستور با کلیک روی صفحه، نقطه‌ی اول خط را تعیین کرده و سپس با موس خط را در حالت افقی نگاه داشته، عدد نصف عرض راه را در خط فرمان وارد کرده و Enter کنید.

× دستور Cross Sections> Templates> Define Template را اجرا کنید. در خط فرمان داریم:

```
Pick finish ground reference point:
```

× روی نقطه‌ی انتهایی خط در سمت راست کلیک کنید(بهتر است Endpoint روشن باشد).

× پیغام متقارن بودن الگو ظاهر می‌شود:

```
Is template symmetrical [Yes/No] <Yes>:
```

× پیغام را Enter کنید(پذیرش متقارن بودن).

× در خط فرمان داریم:

```
Select template surfaces...
Select objects:
```

× روی خط کلیک کرده و Enter کنید.

```
Select objects: 1 found
```

× در خط فرمان داریم:

```
Surface type [Normal/Subgrade] <Normal>:
```

× پیغام را Enter کرده و در پنجره‌ی باز شده Granular(دانه‌ای) را انتخاب و پنجره را Enter کنید.

× در خط فرمان داریم:

```
Pick connection point out:
```

× روی نقطه‌ی ابتدایی خط در سمت چپ کلیک کنید.

× پیغام زیر(شماره‌گذاری نقطه‌ها) ظاهر می‌شود. آن را Enter کنید:

```
Datum number <1>:
```

× در خط فرمان داریم:

```
Pick datum points (left to right):
```

× ابتدا روی نقطه‌ی ابتدایی سمت چپ و سپس روی نقطه‌ی انتهایی سمت راست خط کلیک کرده و Enter کنید. پنجره‌ی باز شده را نیز Enter کنید.

× پیغام ذخیره‌ی الگو ظاهر شده، آن را با Yes جواب داده و نام دلخواه را برای الگو در خط فرمان وارد کنید. پیغام بعدی مبنی بر ساخت الگویی دیگر را با No پاسخ دهید.

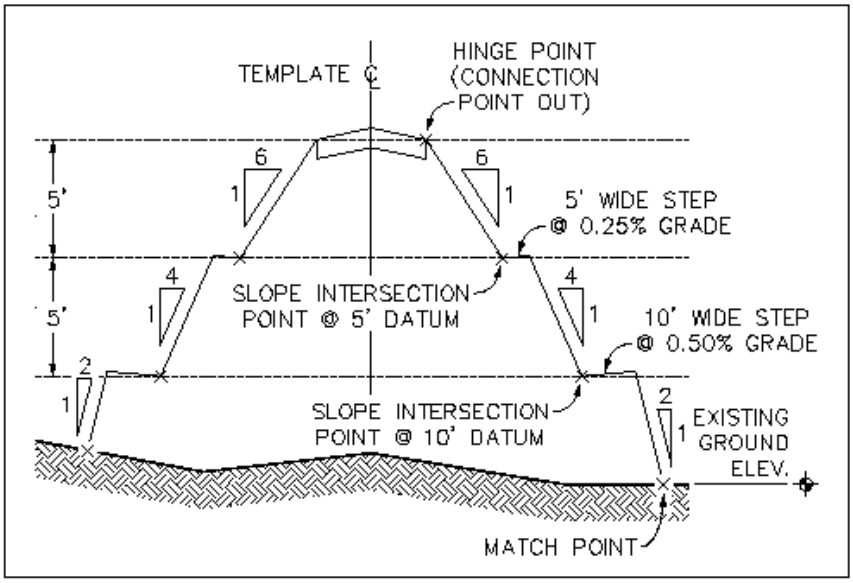
× الگوی روسازی تعریف و ذخیره شد.

۱۶- معرفی پارامترهای طراحی

۱۶-۱- شیب شیروانی: شیب شیروانی عاملی است که توسط پارامترهایی چون مقاوت برشی خاک و عمق خاکبرداری یا خاکریزی تعیین می‌شود. این شیب نسبتی است بین فاصله‌ی افقی و عمودی، که فاصله‌ی عمودی واحد درنظرگرفته می‌شود. نرم‌افزار حاضر قادر است شیب شیروانی را در سه حالت ساده، برحسب عمق و پله‌ای محاسبه کند. در این‌جا دو حالت عمق و ساده را که در پروژه‌های درسی کاربرد بیشتری دارد، آمده است.

الف) حالت ساده: در این حالت برای تمام مقاطع عرضی راه یک شیب یکسان تعریف می‌شود. مثلا شیب ۱:۳(۱به۳) یعنی این‌که تمام مقاطع عرضی راه دارای شیب ۱:۳ خواهند بود.

ب) حالت پله‌ای: در این روش شیب شیروانی برای یک مقطع ثابت نیست(شکل۱۶-۱).



شکل ۱۶-۱، شیب شیروانی پله‌ای

پ) حالت عمق: در این حالت برحسب تغییرات عمق خاکبرداری یا خاکریزی، شیب شیروانی تغییر می‌کند. چگونگی این تغییرات به‌گونه‌ای است که هرچه عمق عملیات خاکی زیاد می‌شود، شیب شیروانی با درنظرگرفتن مقاومت برشی خاک و عوامل ایمنی افزایش می‌یابد تا حجم عملیات خاکی تا حدودی کمتر گردد. تغییرات عمق و شیب با نظر مهندس طراح منظور می‌گردد.

× درصورتی‌که از روش ساده استفاده کنید در مراحل بعدی تنظیمات آن انجام خواهد شد ولی اگر از روش عمق استفاده می‌کنید، لازم است جدول مربوط به تغییرات عمق و شیب را تشکیل دهید. مراحل کار به شرح زیر است:

× دستور Cross Sections> Design Control> Depth Slopes را اجرا کنید. پنجره‌ای مطابق شکل ۱۶-۲ باز می‌شود.

× در این‌جا مثالی آورده شده است تا مطلب بهتر بیان شود. قبل از مثال لازم است نکاتی درباره‌ی این جدول بدانید:

- اولین عمق باید صفر باشد.

- شیب روبروی هر عمق، از آن عمق تا عمق بعدی(در جدول عمق پایینی) اعمال می‌شود.

- عمق‌ها همیشه بصورت مرتب شده وارد می‌شوند و در صورتی‌که عمقی خارج از این ترتیب وارد شود به طور خودکار در جای صحیح قرار می‌گیرد.

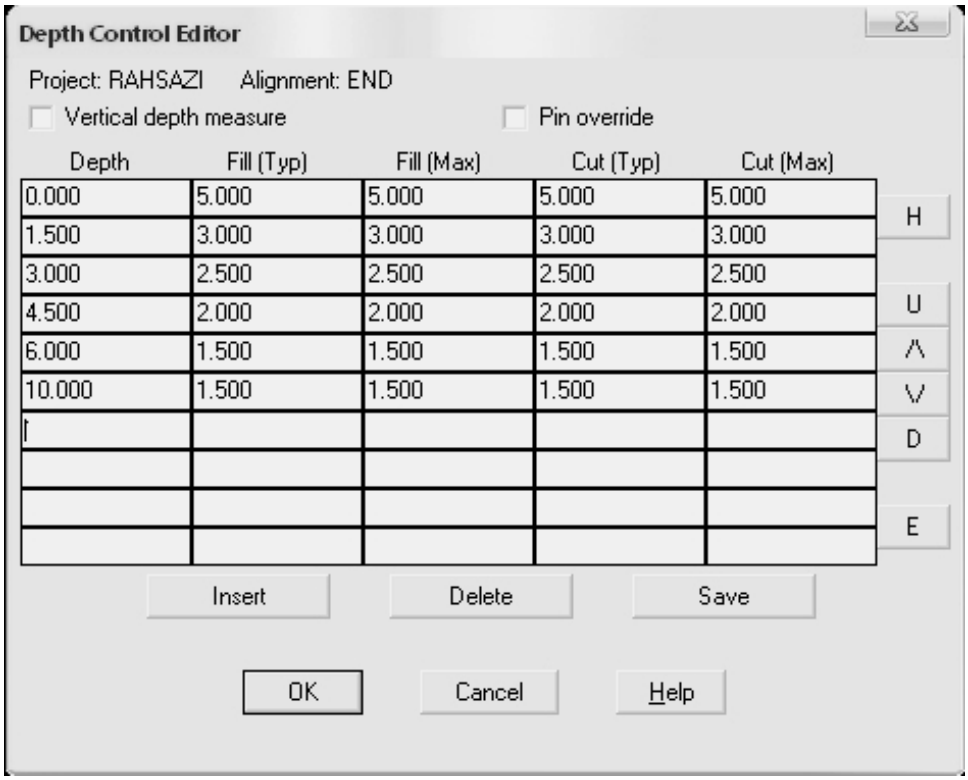
- دو گزینه‌ی Vertical depth measure و Pin override را بدون تیک کنید. این دو گزینه مربوط به چگونگی اندازه‌گیری عمق و اتصال شیب شیروانی به زمین طبیعی هستند و به طور پیش‌فرض بدون تیک می‌باشند.

- مقدار شیب Max و Typical را یکسان وارد کنید.

× مثال: می‌خواهیم جدول شیب‌های زیر را وارد نرم‌افزار کنیم. برای این کار به جدول۱۶-۱ و شکل۱۶-۲ نگاه کنید.

ارتفاع خاکبرداری یا خاکریزی(متر)	شیب شیروانی (افقی:قائم)
۰-۱/۵	۱:۵
۱/۵-۳	۱:۳
۳-۴/۵	۱:۲/۵
۴/۵-۶	۱:۲
بیش از ۶	۱:۱/۵

جدول ۱۶-۱، شیب شیروانی

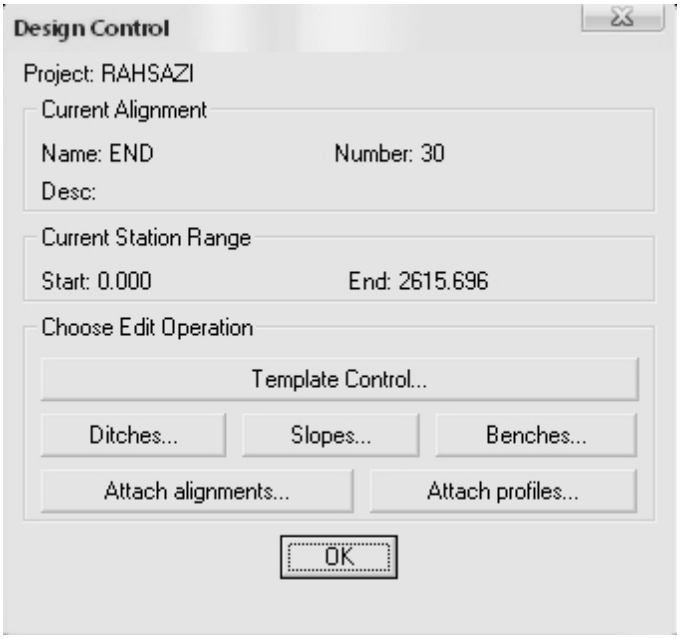


شکل ۱۶-۲،جدول شیب شیروانی برحسب عمق

× در این مثال برای وارد کردن آخرین عدد جدول، مقداری انتخاب شده که بیشترین عمق خاکبرداری یا خاکریزی را دارد تا از اعمال شیب‌ها برای بیشتر از ۶ متر اطمینان حاصل شود. حداکثر عمق خاکبرداری یا خاکریزی از مقایسه‌ی پروفیل عوارض زمین و خط پروژه براحتی به دست می‌آید. در عین حال می‌توانید عددی بزرگ را به دلخواه وارد کنید که مطمئن هستید از حداکثر عمق بیشتر است.

× در این مثال عمق خاکبرداری و خاکریزی در شیب‌های شیروانی یکسان بود. درصورت متفاوت بودن می‌توانید این اعداد را در ستون‌های Cut و Fill وارد کنید.

× دستور Cross Sections> Design Control> Edit Design Control را اجرا کنید. پنجره‌ی رنج ایستگاه‌ها را Ok کنید و در پنجره‌ی کنترل طراحی(شکل ۱۶-۳)، Template Control را کلیک کنید.



شکل ۱۶-۳، تنظیم پارامترهای طراحی

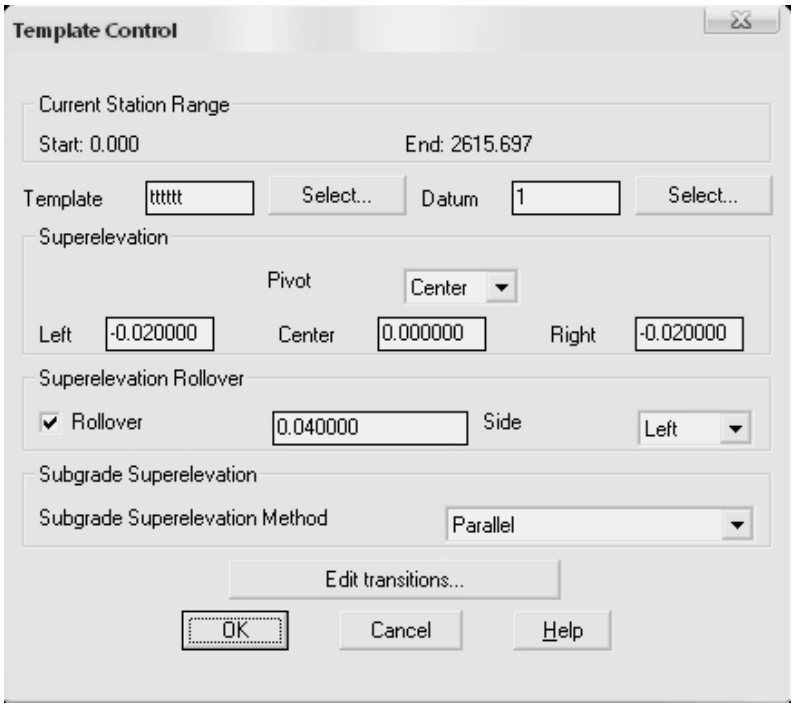
× در پنجره‌ی باز شده(شکل۱۶-۴) گزینه‌ی Select(در سمت چپ) را کلیک کرده و از بین الگوها، الگویی را که در گام ۱۵ ساخته شد، انتخاب کرده و OK کنید.

× این بار در پنجره‌ی (شکل۱۶-۳) گزینه‌ی Slopes را کلیک کنید.

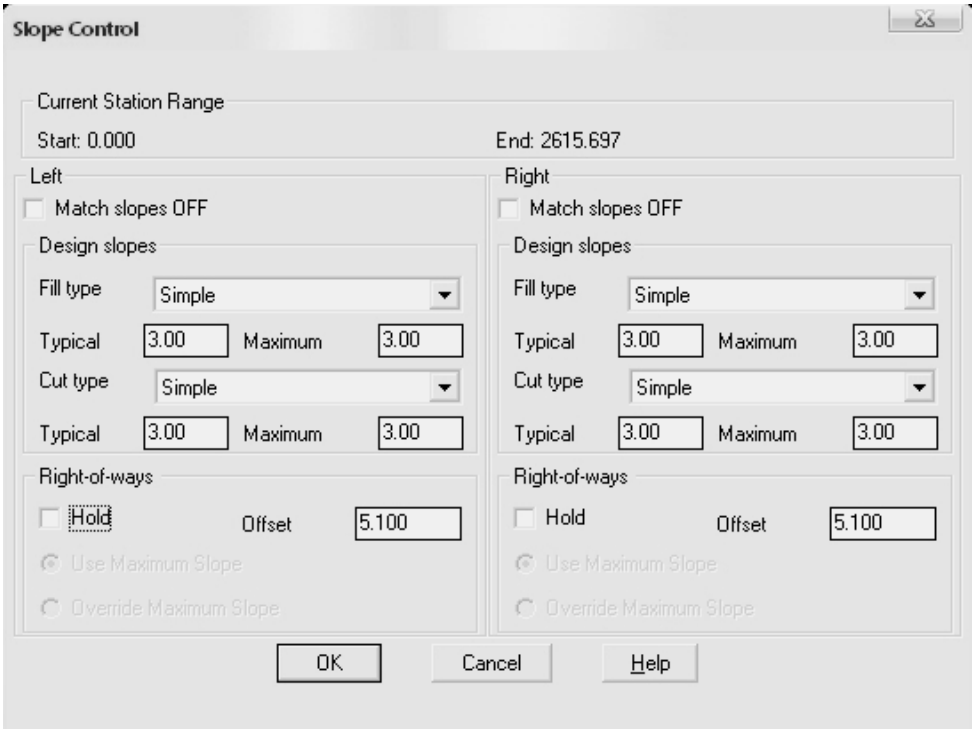
× در پنجره باز شده(شکل۱۶-۵) باید مقادیر شیب شیروانی را به نرم‌افزار معرفی کنیم. اگر از روش ساده استفاده می‌کنید، کافی است همانند شکل ۱۶-۵ برای هر چهار حالت خاکبرداری و خاکریزی در چپ و راست، روش ساده(Simple) را انتخاب کنید. در قسمت شیب شیروانی عدد مربوط را وارد کنید. در شکل ۱۶-۵ این عدد ۳ وارد شده است یعنی برای تمام مقاطع شیب شیروانی ۱:۳ است. در قسمت Offset نصف عرض کل راه را وارد کنید و سایر گزینه‌ها مثل شکل ۱۶-۵ بدون تیک باشند.

× در صورت استفاده از روش عمق کافی است این حالت را از پنجره‌ی کشویی شکل ۱۶-۵ که شامل ساده، عمق(Depth) و پله‌ای است انتخاب کنید و در قسمت عدد شیب شیروانی، عدد ۱ را وارد کنید. نرم‌افزار به‌طور خودکار از اعدادی که در شکل۱۶-۲ وارد کردید استفاده می‌کند.

× در پایان پنجره‌های ۱۶-۵ و ۱۶-۳ را OK کرده و پنجره‌های بعدی را نیز که مربوط به پردازش است OK کنید.



شکل ۱۶-۴، انتخاب الگو



شکل ۱۶-۵، تنظیمات شیب شیروانی

× در صورت مشاهده‌ی پنجره‌ای با عنوان View Errors، روی آن کلیک کنید تا خطاها دیده شوند. این خطاها اعلام می‌کند که در بعضی ایستگاه‌ها به دلیل آن‌که ادامه‌ی شیب شیروانی به انتهای خط زمین نمی‌رسیده، نرم‌افزار شیب شیروانی را در مورد این ایستگاه تا حدی که به انتهای خط زمین برسد، تندتر می‌کند. برای کاهش این خطاها کافی است در شکل ۱۴-۱ عرض نمونه‌برداری را از ۴۰ بیشتر کنید ولی فرمان Cross Sections> Design Control> Process Sections را اجرا کنید تا مقاطع با تغییرات جدید دوباره پردازش شوند.

۱۷- رسم منحنی بروکنر

× دستور Cross Sections> Total Volume Output> Import Mass Haul را اجرا کنید.

× پیغام نوع محاسبه‌ی احجام را با تایپ P در خط فرمان و Enter کردن پاسخ دهید. P برای واژه‌ی Prismoidal یعنی منشوری بکار رفته. نرم‌افزار به دو صورت میانگین و منشوری احجام را محاسبه می‌کند که حالت منشوری دقیق‌تر است.

× پیغام تصحیح در قوس‌ها را با Yes، Enter کنید.

× پیغام بعدی کاربرد ضرایب انقباض و انبساط را پرسش می‌کند. در صورت وجود این ضرایب در صورت پروژه، پیغام را با Yes، Enter کنید. در خط فرمان پیغام زیر وارد می‌شود:

```
Cut adjustment factor <1.00>: 1.16
```

پیغام بالا ضریب تصحیح خاکبرداری را طلب می‌کند. این ضریب به طور پیش‌فرض عدد ۱ می‌باشد و در حالتی استفاده می‌شود که در پروژه ضریب انبساط خاک لحاظ نشده باشد. درصورتی‌که برای پروژه به طور مثال ضریب انبساط خاک، ۱۶٪ درنظرگرفته شده باشد، فاکتور تصحیح را همانطور که در بالا مشاهده می‌شود ۱/۱۶ وارد نمایید. در واقع کافی است درصد ضریب را بر ۱۰۰ تقسیم کرده و با ۱ جمع کنید. بعد از وارد کردن ضریب Enter کنید.

× در خط فرمان پیغام زیر وارد می‌شود:

```
Fill adjustment factor <1.00>: 1.1
```

در این‌جا هم مانند بالا اگر در پروژه مثلا ضریب انقباض خاک ۱۰٪ درنظرگرفته شده است، فاکتور تصحیح را ۱/۱ وارد کنید. در غیر این صورت عدد پیش‌فرض برنامه یعنی ۱ را بپذیرید و مانند بالا Enter کنید.

× در انتها نقطه‌ای روی صفحه برای رسم منحنی بروکنر انتخاب کرده و با سه بار Enter کردن، پیغام‌های ابتدا و انتهای ایستگاه‌ها و مقیاس منحنی بروکنر را جواب دهید. منحنی بروکنر رسم می‌شود.

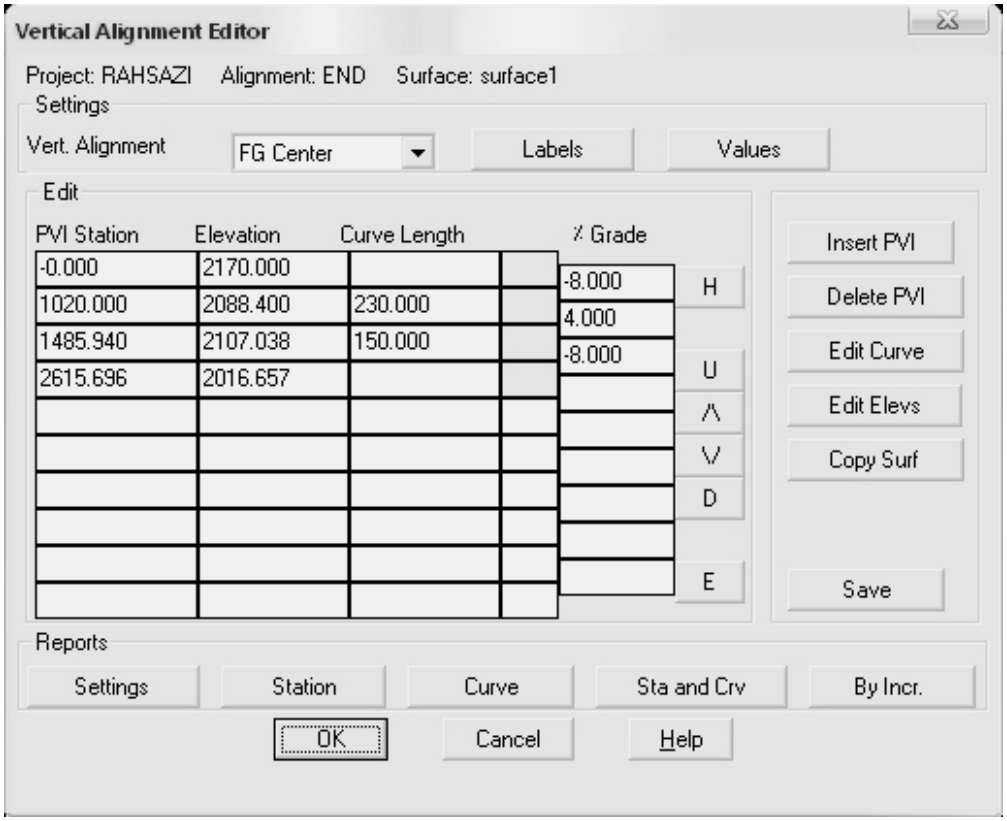
× در این منحنی بخش خاکبرداری بالا و بخش خاکریزی پایین محور افقی قرار دارد. شیب صعودی به معنای خاکبرداری و شیب نزولی خاکریزی است.در واقع علامت خاکبرداری + و علامت خاکریزی - است.

× علاوه بر رسم منحنی بروکنر می‌توانید محاسبات عملیات خاکی را بصورت فایل متنی نیز داشته باشید. برای این کار دستور Cross Sections> Total Volume Output> To File را اجرا کنید و به دستورات خط فرمان که همانند رسم منحنی بروکنر است، پاسخ دهید. در پایان نام فایل را انتخاب و Enter کنید. این فایل در قسمت Land Project در فایل پروژه‌ای که در گام اول ساختید، ذخیره شده است. اگر یک بار در منوی File> Open قرار بگیرید این مسیر در قسمت Project Path مشخص شده است. این فایل را با Wordpad یا Notepad باز کنید.

۱۸- ویرایش خط پروژه

× همانطور که می‌دانید دو عامل حجم عملیات خاکی و فاصله‌ی حمل متوسط، دو عامل مهم در بحث هزینه‌ی پروژه راهسازی می‌باشند و کم‌کردن این دو عامل هزینه‌ی پروژه را پایین می‌آورد. حجم عملیات خاکی را در این گام و فاصله‌ی متوسط حمل را در گام ۱۹ کنترل می‌کنیم. در این مرحله قادر خواهید بود که شیب‌های خط پروژه را درصورتی‌که از حد مجاز تجاوز کرده باشند تصحیح کنید و یا محل قوس‌های قائم را عوض کنید. به‌هرحال هر تغییری که روی خط پروژه انجام دهید سبب تغییر در احجام خاکبرداری و خاکریزی و درنتیجه منحنی بروکنر می‌شود. در این بخش می‌توانید با اعمال تغییرات درست علاوه بر آن‌که ایمنی مسیر حفظ می‌شود، تعادل بیشتری بین خاکبرداری و خاکریزی ایجاد کرده و حجم عملیات خاکی را تا آن‌جا که امکان دارد کم کنید. ویرایش خط پروژه شامل ۴ مرحله‌ی ۱۸-۱ تا ۱۸-۴ است که در ادامه آمده است.

۱۸-۱- در صورتی‌که از نسخه‌ی ۲۰۰۰ نرم‌افزار استفاده می‌کنید، دستور Profiles> FG Vertical Alignment> Edit را اجرا کرده تا پنجره‌ی شکل۱۸-۱ در صفحه ظاهر شود. در این پنجره در قسمت بالا از کشوی Vert. Alignment گزینه‌ی FG Center را انتخاب کنید. در صورت استفاده از نسخه‌ی ۲۰۰۴ و به بعد نرم‌افزار، ابتدا در منوی Profiles> Edit Vertical Alignment قرا گرفته و در پنجره‌ی باز شده(شکل۱۸-۲)، در قسمتFinished Ground گزینه‌ی Center را انتخاب و OK کنید تا پنجره‌ی شکل ۱۸-۳ باز شود.

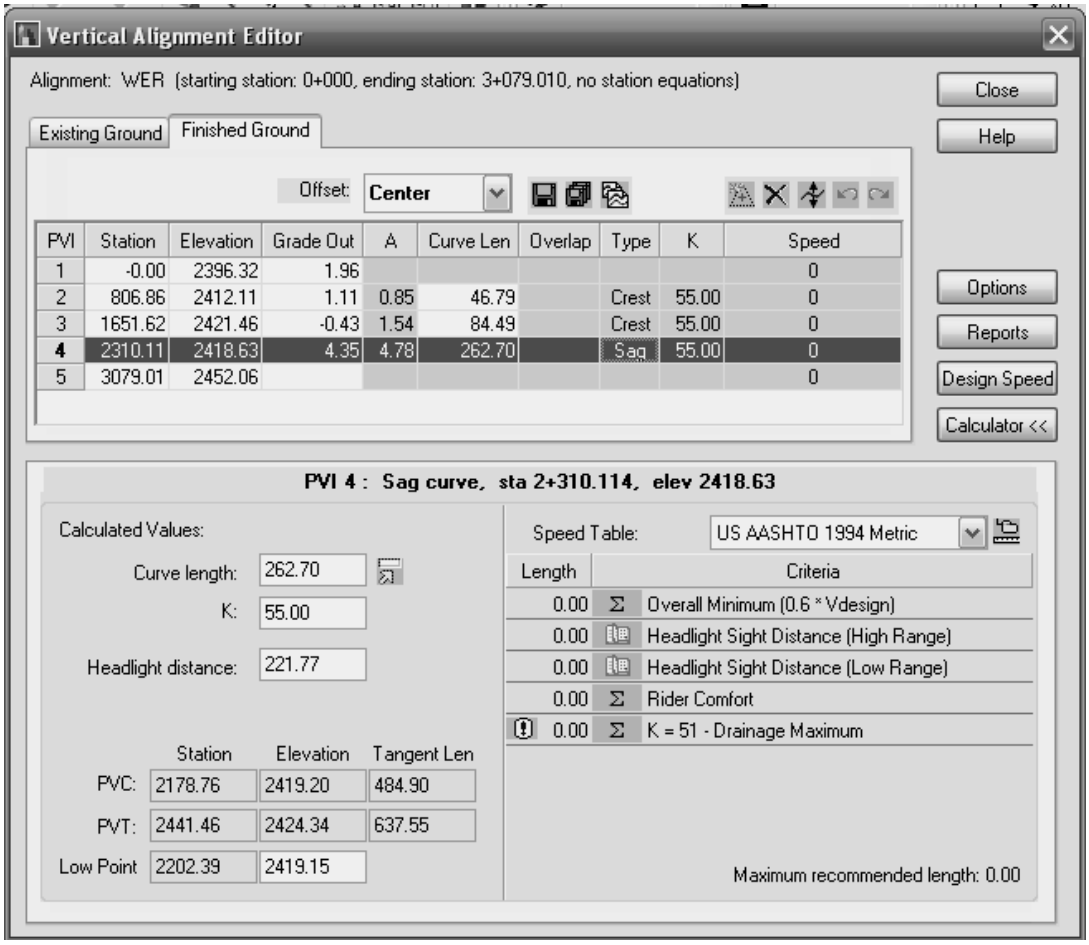


شکل ۱۸-۱، ویرایش مسیر قائم

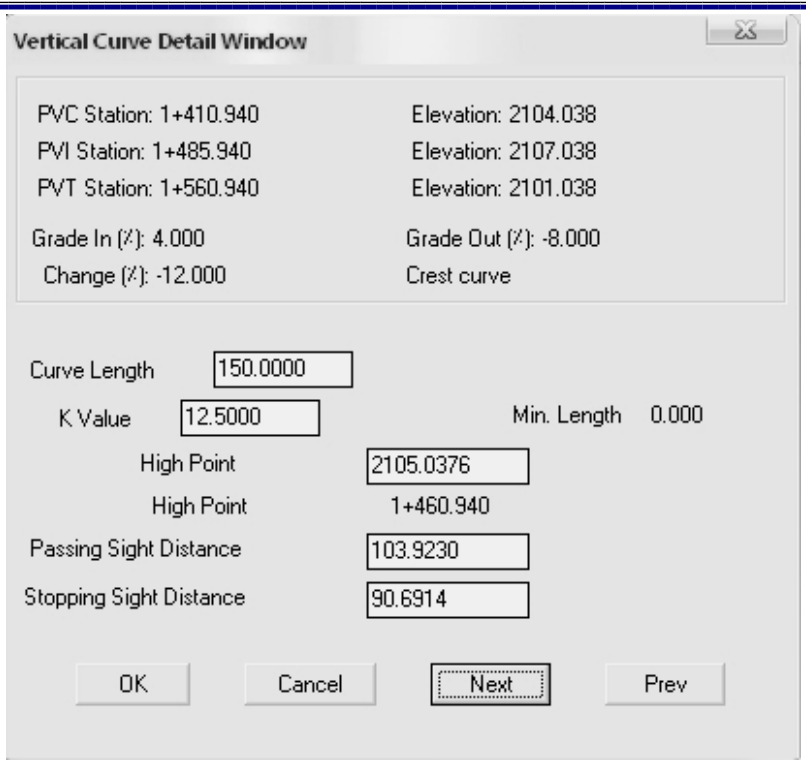
شکل ۱۸-۲، انتخاب مسیر قائم

در پنجره‌ی شکل ۱۸-۱ و ۱۸-۳ برای ویرایش مسیر ابزاری مثل تغییر شیب‌ها(Grade%)، تغییر ایستگاه رأس قوس (PVI Station)، تغییر ارتفاع رأس(Elevation) و اضافه یا کم‌کردن تعداد قوس‌ها را در اختیار دارید. روش استفاده از این ابزار بسیار ساده و تنها با وارد کردن عدد موردنظر در خانه‌ی مربوطه امکان‌پذیر است.

× بعد اعمال هر تغییری در پنجره‌ی شکل۱۸-۱ یا ۱۸-۳، شیب‌ها تغییر می‌کنند ولی طول قوس ثابت می‌ماند. تغییر شیب‌ها به معنای تغییر پارامتر A، و تغییر این پارامتر با تغییر K و در نتیجه S همراه خواهد بود. بنابراین لازم است پارامترهای طراحی بار دیگر کنترل شوند. بهترین روش در این حالت این است که با پارامتر جدید A، قوس‌ها را مطابق آنچه که در بخش طراحی قوس‌های قائم آمد، دوباره طراحی کرده و طول قوس جدید را محاسبه و وارد کنید (به مثال صفحه‌ی بعد توجه کنید). برای وارد کردن طول قوس جدید اگر از ویرایش ۲۰۰۰ نرم‌افزار استفاده می‌کنید، در پنجره‌ی شکل ۱۸-۱ در خانه‌ی مربوط به طول قوس یکی از قوس‌ها کلیک کرده و گزینه‌ی Edit Curve را کلیک کنید. پنجره‌ای مطابق شکل ۱۸-۴ باز می‌شود. در این پنجره بعد از طراحی مجدد قوس، مقدار جدید را در خانه‌ی Curve Length این پنجره وارد و Enter کنید و با Next یا Prev به قوس بعدی رفته و همین کار را تکرار کنید. در پایان پنجره را OK کنید و سپس در پنجره‌ی پیغام ذخیره‌ی تغییرات، Yes را کلیک کنید.



شکل ۱۸-۳، ویرایش مسیر قائم



شکل ۱۸-۴، کنترل پارامترهای قوس‌های قائم

× در صورت استفاده از ویرایش ۲۰۰۴ و به بعد نرم‌افزار، همانند بند قبل در این‌جا نیز طول قوس را با پارامتر A جدید حساب کرده و طول قوس جدید را در قسمت Curve Length پنجره‌ی شکل ۱۸-۳ وارد و Enter کنید. در صورتی‌که گزینه‌ی Calculator را در شکل ۱۸-۳ کلیک کنید، در انتهای پنجره قسمتی اضافه می‌شود که محاسبات قوس قائم را مثل یک ماشین‌حساب انجام می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، نسخه‌های جدید نرم‌افزار با انتخاب آیین‌نامه‌ی طراحی، قوس قائم را طراحی و محاسبه می‌کنند. ولی همانطور که پیش از این گفته شد برای این که جنبه‌های آموزشی این راهنما بیشتر شود از پرداختن به این روش‌ها خودداری شد ولی در ویرایش‌های بعدی این راهنما خواهد آمد. دراین‌جا برای راهنمایی بیشتر یک مثال طراحی آمده است:

× فرض کنید برای یک قوس کوژ داریم:

$A=9.08, V=60km/h$

از جدول۱۱-۲(طراحی براساس ویرایش ۲۰۰۱آشتو) بر طبق سرعت طراحی داریم:

$S=85m, K=11, L_{min}=36m$

با توجه به $L=KA$ برای طول قوس بدست می‌آید: $L=9.08*11=99.88m$. چون $L>S$ می‌باشد پس طول قوس انتخابی را باید براساس $L=99.88m$ تعیین کرد. به همین منظور عددی بیشتر از آن را درنظرمی‌گیریم:

$L=120m$ را انتخاب کرده و وارد می‌کنیم. حال فرض کنید بعد از ویرایش شیب‌ها یا هر تغییری داشته باشیم: $A=12$.

حال دوباره مثل قبل براساس سرعت طراحی همان پارامترهای قبلی را استخراج می‌کنیم:

$S=85m, K=11, L_{min}=36m$

با توجه به $L=KA$ داریم: $L=11*12=132m$. انتخاب می‌کنیم $L=150m$ و طول قوس جدید را وارد می‌کنیم.

در واقع در حالت اول برای رسیدن به حداقل $S=85m$ به $L=99.88m$ طول قوس و در حالت دوم به $L=132m$ احتیاج بود.

× بعد از ایجاد تغییرات در مسیر قائم، به ادامه‌ی پروسه برمی‌گردیم.

۱۸-۲- دستورProfiles> FG Vertical Alignment> Import را اجرا کرده و دو بار Enter کنید تا تغییرات وارد صفحه‌ی نمایش شود.

۱۸-۳- دستور Cross Sections> Design Control> Process Sections را اجرا کنید تا تغییرات خط پروژه در مقاطع عرضی وارد شود.

۱۸-۴- دستور Cross Sections> Total Volume Output> Import Mass Haul را اجرا کنید تا منحنی بروکنر جدید رشم شود.

× همانطور که گفته شد هدف در این مرحله تصحیح خط پروژه و کاهش حجم عملیات خاکی است. برای این کار باید با در نظرگرفتن موارد ۱ تا ۶ ذکر شده در گام ۱۰ و ابزاری که در این‌جا در اختیار دارید(مثل تغییر شیب‌ها و ...)، روی مورد ۷ یعنی تعادل خاکبرداری و خاکریزی بیشتر کار کنید. هرچه این تعادل بیشتر شود حجم عملیات خاکی کمتر می‌گردد. ایجاد تعادل در پروفیل طولی یعنی باید تا آن‌جا که شرایط اجازه می‌دهد احجام را پی‌درپی از خاکبرداری به خاکریزی و بالعکس تبدیل کرد. در این حالت منحنی بروکنر متناوبا تغییر علامت داده و یکسره به صورت صعودی یا نزولی حرکت نمی‌کند. در نتیجه نقاط حداکثر سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر یعنی مقادیر حداکثر خاکبرداری و خاکریزی، کاهش پیدا می‌کنند. این کار به تمرین و تکرار مراحل ۱۸-۱ تا ۱۸-۴ به صورت یک پروسه‌ی تکراری دارد.

۱۹- تعیین فاصله‌ی متوسط حمل

× بعد از رسیدن به منحنی بروکنر نهایی و ویرایش خط پروژه، باید خط پخش بهینه را برای محاسبه‌ی فاصله‌ی حمل متوسط پیدا کنیم. برای این کار دو حالت را درنظر می‌گیریم.

۱- حالت ایده‌آل: در این حالت فرض می‌شود برای محل قرضه و دپو هیچ محدودیتی نداریم. در این حالت بهترین خط پخش خطی است بین خط اساس(محور افقی منحنی بروکنر) و خط پایانی(خطی موازی خط اساس که از نقطه‌ی پایانی منحنی بروکنر رسم می‌شود) که سبب شود مجموع قاعده‌های سطوح بالا و پایین خط پخش مساوی شوند. معمولا رسیدن به این حالت همیشه امکان‌پذیر نیست. درصورتی‌که این حالت برقرار نباشد سه وضعیت زیر بوجود می‌آید:

۱-۱- تفاوت بین قاعده‌های سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر مسدود به خط پخش، وقتی خط پخش از خط اساس به سمت خط انتهایی منحنی حرکت می‌کند، مرتباً بزرگ می‌شود. در این حالت بهترین خط پخش همان خط اساس است.

۱-۲- تفاوت بین قاعده‌های سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر مسدود به خط پخش، وقتی خط پخش از خط اساس به سمت خط انتهایی منحنی حرکت می‌کند، مرتباً کوچک می‌شود ولی صفر نمی‌گردد. در این حالت بهترین خط پخش همان خط انتهایی است.

۱-۳- تفاوت بین قاعده‌های سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر مسدود به خط پخش، وقتی خط پخش از خط اساس به سمت خط انتهایی منحنی حرکت می‌کند، بدون آن‌که صفر گردد ناگهان تغییر علامت می‌دهد. این وضعیت زمانی پیش می‌آید که منحنی بروکنر شامل قطعه‌ای افقی باشد. در این مورد خط پخش بر این خط افقی(قطعه‌ی افقی) منطبق است.

۲- تعیین خط پخش با درنظرگرفتن محل‌های قرضه و دپو: همانطور که می‌دانید ممکن است خاکی که از خاکبرداری به دست می‌آید از نظر مشخصات خاک برای خاکریزی مناسب نباشد و احتیاج به قرضه داشته باشیم و یا لازم باشد خاک‌های اضافی خاکبرداری را در جایی ذخیره کنیم و در واقع به محل دپو احتیاج داشته باشیم.

× بنابراین لازم است محل دقیق قرضه یا دپو را روی منحنی بروکنر مشخص کرد. البته نمی‌توان محل قرضه یا دپو را به دلخواه در طول پروژه تعیین کرد و این کار احتیاج به مطالعه و امکان‌سنجی منطقه‌ی ساخت راه دارد. محل قرضه یا دپو را با کشیدن دو خط موازی عمودی در ایستگاه مربوطه روی منحنی بروکنر نشان می‌دهند. معمولا قرضه را با حرف B و دپو را با حرف D نشان می‌دهند. برای پیدا کردن خط پخش در این وضعیت حالات مختلف زیر به وجود می‌آید. لازم به ذکر در تمامی این حالات برای رسم خط پخش در محیط نرم‌افزار از دستور Line استفاده می‌شود.

۲-۱- محل قرضه یا دپو در سمت راست منحنی بروکنر واقع باشد. در این حالت بهترین خط پخش خط اساس است.

۲-۲- محل قرضه یا دپو در سمت چپ منحنی بروکنر واقع باشد. در این حالت بهترین خط پخش خط پایانی است.

۲-۳- محل قرضه یا دپو در وسط منحنی بروکنر واقع باشد. در این حالت خط پخش سمت چپ مثل حالت ۲-۱ و خط پخش سمت راست مثل حالت ۲-۲ می‌باشد.

۲-۴- محل قرضه یا دپو در طرفین منحنی بروکنر واقع باشد. در این حالت خط بخش بین خط اساس و خط پایانی وجود دارد و ۴ حالت زیر به وجود می‌آید.

۲-۴-۱- وقتی خط پخش از خط اساس به سمت خط پایان حرکت می‌کند، موقعیتی پیش می‌آید که مجموع قاعده‌های سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر مسدود به خط پخش مساوی می‌شوند. در این حالت همین خط، خط پخش بهینه است.

۲-۴-۲- وقتی خط پخش از خط اساس به سمت خط پایان حرکت می‌کند، موقعیتی پیش می‌آید که تفاوت بین قاعده‌های سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر مسدود به خط پخش، مرتبا بزرگ می‌شود. دراین حالت خط اساس بهترین خط پخش است.

۲-۴-۳- وقتی خط پخش از خط اساس به سمت خط پایان حرکت می‌کند، موقعیتی پیش می‌آید که تفاوت بین قاعده‌های سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر مسدود به خط پخش، مرتبا کوچک می‌شود ولی صفر نمی‌گردد. در این حالت بهترین خط پخش خط پایانی است.

۲-۴-۴- وقتی خط پخش از خط اساس به سمت خط پایان حرکت می‌کند، موقعیتی پیش می‌آید که تفاوت بین قاعده‌های سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر مسدود به خط پخش، بدون آن‌که صفر گردد تغییر علامت می‌دهد و این به خاطر وجود یک تکه‌ی افقی در منحنی بروکنر است. در این حالت خط پخش بر همین خط افقی منطبق است.

۲-۵- دپو و قرضه به طور متعدد به جز در ابتدا و انتها، بر روی منحنی بروکنر موجود است. در این صورت خط پخش برای تمام قطعاتی که در بین دو محل قرضه یا دپو قرار دارند مثل یکی از حالات ۲-۴ است. و برای تکه‌ی ابتدایی در سمت چپ مانند حالت ۲-۱ و برای تکه‌ی انتهایی در سمت راست مانند حالت ۲-۲. اگر علاوه بر نقاط میانی، در ابتدا و انتهای منحنی بروکنر نیز قرضه یا دپو داشته باشیم در این حالت همه‌ی قسمت‌ها مثل یکی از حالات ۲-۴ است.

۲-۶- دپو یا قرضه در ابتدا و انتهای منحنی با فاصله از آن تعیین شده‌اند. در این وضعیت ابتدا باید منحنی بروکنر را ببندیم. یعنی آن‌که از نقطه‌ی ابتدایی و انتهایی منحنی خطی موازی خط اساس رسم کنیم تا به محل قرضه یا دپو متصل شود. برای این کار از دستور Line در محیط نرم‌افزار استفاده کنید. پس از رسم، برحسب مورد از یکی از حالات ذکر شده در قبل استفاده می‌کنیم.

۲-۷- دپو یا قرضه به فاصله‌ی d از یک نقطه یا ایستگاه مسیر، خارج از محور راه می‌باشد. دراین حالت باید محل قرضه یا دپو را در آن نقطه یا ایستگاه قرار داد و از آن نقطه یا ایستگاه، منحنی بروکنر را جدا کرده و به فاصله‌ی d به سمت چپ و راست آن نقطه یا ایستگاه انتقال دهیم. سپس نقاط جدا شده‌ی منحنی بروکنر را با دو خط افقی به محل قرضه یا دپو وصل می‌کنیم. حال برحسب مورد از یکی از حالات ذکر شده در قبل استفاده می‌کنیم.

برای جدا کردن منحنی بروکنر از نقطه‌ی موردنظر از دستور Break یا Break at Point و برای انتقال آن از دستور Move می‌توان استفاده کرد.

× بعد این‌که خط پخش بهینه‌ی منحنی بروکنر نهایی را با توجه به موارد ۲-۱ تا ۲-۷ رسم کردید، با استفاده از دستورات اندازه‌گیری مساحت و طول در اتوکد فاصله‌ی حمل را محاسبه می‌کنیم:

- در بالای صفحه‌ی اتوکد راست کلیک کرده و در صفحه‌ی باز شده Inquiry را انتخاب کنید. در پنجره‌ی ظاهر شده Area را کلیک کنید. دستور Area، مساحت یک سطح را با کلیک کردن موس روی نقاط محیط آن محاسبه می‌کند. بنابراین برای هر کدام از سطوح بالا و پایین منحنی بروکنر از یک نقطه شروع کرده و با روشن بودن Endpoint روی خطوط دور هرکدام از سطوح حرکت کرده و دوباره به جای اول باز گردید و Enter کنید. در خط فرمان مساحت این سطح داده می‌شود.

این کار را برای تمام سطوح انجام داده و این اعداد را یادداشت کنید. هر عدد نشان‌دهنده‌ی سطح زیر منحنی بروکنر یا عزم حمل(S) است. مجموع این اعداد عزم حمل کل می‌باشد.

- مثل بالا این بار دستور Dimension را فراخوانده و سپس حالت Linear یا خطی را انتخاب کنید. حال برای هر سطح بالا و پایین منحنی، از بالاترین یا پایین‌ترین نقطه‌ی هر سطح تا خط افق را اندازه‌گیری کنید. هر عدد ارتفاع سطح مسدود به منحنی بروکنر یا حجم خاک(V) است.

- از فرمول ۱۹-۱ مقدار فاصله‌ی حمل متوسط(برحسب متر) را به دست آورید:

$$d_m = \frac{\sum S}{\sum V} \qquad (۱-۱۹)$$

۲۰- پرینت(چاپ)

× برای تکمیل پروژه‌ی راهسازی می‌توانید از تمام ترسیم‌هایی که تا پایان کار در صفحه‌ی اتوکد وجود دارد و نشان‌دهنده‌ی مراحل کار است، پرینت بگیرید. در ضمن طراحی‌های دستی و محاسبات احجام خاکی که وارد فایل متنی کردید و نیز مشخصات قوس‌های افقی که را در صفحه‌ی متنی اتوکد فراخواندید، پرینت بگیرید.

× برای پرینت مقاطع عرضی دستور Cross Sections> Section Plot را اجرا کنید. در این منو می‌توانید مقاطع را تک‌تک و یا در یک صفحه وارد کنید. تنظیمات را در قسمت Settings و Text Style انجام دهید تا شکل مربوطه مورد دلخواه شما باشد. همچنین می‌توانید در منوی Cross Sections> Section Utilities> Label Slope قرار گرفته و در جواب پیغام Type of text placement [Auto/Manual]: حرف A را در خط فرمان تایپ و Enter کنید. سپس روی نقطه‌ی پایین و بالای شیب شیروانی هر کدام از مقاطع عرضی که می‌خواهید کلیک کنید. شیب شیروانی در صفحه وارد می‌شود. همچنین در منوی Cross Sections> Section Utilities> Label Depth می‌توانید عمق خاکبرداری یا خاکریزی را مشخص کنید. به دلیل تعداد زیاد مقاطع عرضی، بهتر است آن‌ها را تیپ‌بندی کرده و هر تیپ را در یک صفحه پرینت بگیرید. برای پرینت هر شکل دلخواه می‌توانید فایل‌ها را با فرمت dwg در اتوکد ذخیره(Save As...) کنید و یا در نسخه‌های ۲۰۰۴ و به بعد، در منوی File> Export to AutoCAD می‌توانید این کار را انجام دهید.

۲۱- مراجع

[1]- AASHTO, “A Policy on Geometric Design of Streets and Highways,” Washington, DC, 1990, 1994, 2001 and 2004.
[2]- Chapter 33 “Vertical Alignment,” Bureau of Design and Environment Manual, IDOT, 2006.
[3]- Chapter 28 “Sight Distance,” Bureau of Design and Environment Manual, IDOT, 2006.
۴- طرح هندسی راه، دکتر حمید بهبهانی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۶۹
۵- راهسازی، دکتر سعید منجم، نشر انگیزه، تهران، ۱۳۷۹
۶- AutoCAD Land Development and Civil Design، مهندس مهدی اکرمی‌پویا، نشر زبان تصویر، تهران، ۱۳۸۴